**BỘ XÂY DỰNG**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM**

# BÁO CÁO TỔNG HỢP KẾT QUẢ THỰC HIỆN

## NHIỆM VỤ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP THÀNH PHỐ

## NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO THÉP HỢP KIM MANGAN THẤP, ỨNG DỤNG CHẾ TẠO CÁC CHI TIẾT LÀM VIỆC TRONG ĐIỀU KIỆN CHỊU MÀI MÒN

**Mã số: ĐT.CN.2023.958**

**Tổ chức chủ trì: Trường Đại học Hàng hải Việt Nam**

**Chủ nhiệm nhiệm vụ: Nguyễn Dương Nam**

**HẢI PHÒNG - 2026**

**BỘ XÂY DỰNG**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM**

# BÁO CÁO TỔNG HỢP KẾT QUẢ THỰC HIỆN
## NHIỆM VỤ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP THÀNH PHỐ

# NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO THÉP HỢP KIM MANGAN THẤP, ỨNG DỤNG CHẾ TẠO CÁC CHI TIẾT LÀM VIỆC TRONG ĐIỀU KIỆN CHỊU MÀI MÒN

**Mã số: ĐT.CN.2023.958**


**CHỦ NHIỆM NHIỆM VỤ** **TỔ CHỨC CHỦ TRÌ**

**Nguyễn Dương Nam**


**HẢI PHÒNG - 2026**

# DANH SÁCH NHỮNG NGƯỜI THAM GIA THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

| TT | Họ và tên,<br>học hàm, học vị | Chức danh nghiên cứu nhiệm vụ | Tổ chức công tác |
|---|---|---|---|
| 1 | PGS. TS. Nguyễn Dương Nam | Chủ nhiệm đề tài | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 2 | TS. Vương Thị Hương Thu | Thư ký | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 3 | PGS.TS. Nguyễn Tiến Dũng | Thành viên chính | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 4 | TS. Phạm Huy Tùng | Thành viên chính | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 5 | TS. Nguyễn Anh Xuân | Thành viên chính | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 6 | TS. Lê Thị Nhung | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 7 | ThS. Thân Hoàng Bảo Lâm | Thành viên | ĐH Bách Khoa Hà Nội |
| 8 | TS. Trần Pháp Đông | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 9 | ThS. Vũ Minh Quân | Thành viên | Văn phòng Đoàn Đại biểu Quốc hội và Hội đồng nhân dân thành phố |
| 10 | CN. Nguyễn Quốc Anh | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 11 | ThS. Nguyễn Đức Bình | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 12 | TS. Lê Khắc Nguyên Anh | Thành viên | Thành Đoàn Hải Phòng |
| 13 | ThS. Nguyễn Tùng Lân | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 14 | ThS. Nguyễn Đình Khiêm | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 15 | ThS. Bùi Quang Thuật | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 16 | ThS. Đoàn Xuân Trượng | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 17 | TS. Nguyễn Anh Đức | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 18 | ThS. Lê Tuyết Quỳnh Anh | Thành viên | Thành Đoàn Hải Phòng |
| 19 | ThS. Bùi Sỹ Hoàng | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 20 | ThS. Nguyễn Đức Sang | Thành viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 21 | CN. Bùi Thị Niên | Kỹ thuật viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 22 | ThS. Đào Văn Lập | Kỹ thuật viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |
| 23 | ThS. Trịnh Thị Phương Lan | Kỹ thuật viên | Trường ĐH Hàng hải Việt Nam |

# THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Đề tài đã đạt được các kết quả nghiên cứu sau:

Đề tài đã hoàn thành mục tiêu xây dựng quy trình công nghệ nấu luyện, đúc và xử lý nhiệt thép hợp kim mangan thấp phục vụ chế tạo răng gầu chịu mài mòn. Quy trình nấu luyện được thực hiện trên lò điện cảm ứng trung tần dung tích 1–1,5 tấn, bao gồm các công đoạn chuẩn bị nguyên liệu, nạp liệu, nấu chảy, tạo xỉ, hợp kim hóa, khử oxy, biến tính Al–Ti và kiểm soát thành phần hóa học. Quy trình đúc sử dụng khuôn cát–nước thủy tinh đóng rắn bằng khí $CO_2$, với hệ thống rót và đậu ngót phù hợp; nhiệt độ rót tối ưu được xác định trong khoảng 1.480–1.490°C, giúp kim loại điền đầy khuôn và hạn chế rỗ khí, co ngót. Đồng thời, đề tài đã xác lập quy trình xử lý nhiệt gồm thường hóa, tôi và ram nhằm tạo tổ chức bainite mịn kết hợp austenite dư, bảo đảm sự cân bằng giữa độ cứng, khả năng chống mài mòn và độ dai va đập. Sản phẩm sau xử lý nhiệt đạt độ cứng khoảng 43,7–50,3 HRC và độ dai va đập 57,5–69,7 J/cm², cho thấy quy trình có tính khả thi và có thể tiếp tục hoàn thiện để triển khai sản xuất.

# MỤC LỤC

1. DANH SÁCH NHỮNG NGƯỜI THAM GIA THỰC HIỆN ĐỀ TÀI.....1
2. THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU .....3
4. MỤC LỤC.....4
5. DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU.....9
6. DANH MỤC CÁC BẢNG.....10
7. DANH MỤC HÌNH ẢNH VÀ ĐỒ THỊ.....12
8. MỞ ĐẦU.....15
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU.....19
1.1. Giới thiệu chung về thép Mangan và thép Mangan thấp.....19
1.2. Đặc điểm điều kiện làm việc của chi tiết làm từ thép Mn thấp .....20
1.3. Tình hình nghiên cứu lĩnh vực này ở ngoài nước, trong nước và ở Hải Phòng. .....23
1.3.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước .....23
1.3.2. Tình hình nghiên cứu trong nước.....24
1.3.3 Tình hình nghiên cứu tại Hải Phòng .....25
1.4. Tổng quan về cơ chế hóa bền thép Mn thấp .....25
1.5. Ảnh hưởng của cacbit.....26
1.6. Kết luận chương .....29
CHƯƠNG 2. PHẠM VI, ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU .....30
2.1. Về đối tượng, phạm vi nghiên cứu và địa điểm thực hiện.....30
2.1.1. Đối tượng nghiên cứu.....30
2.1.2. Phạm vi nghiên cứu và địa điểm thực hiện.....30
2.1.3. Tính mới, tính sáng tạo và hiệu quả của nhiệm vụ .....31
2.2. Phương pháp nghiên cứu và kỹ thuật sử dụng.....32
2.2.1. Phương pháp và kỹ thuật cho từng nội dung nghiên cứu.....32
2.2.2. Luận cứ lựa chọn và tính độc đáo của phương pháp/kỹ thuật.....35
2.3. Các phương pháp phân tích, kiểm tra.....37
2.3.1. Nghiên cứu tổ chức tế vi.....37
2.3.4. Phân tích thành phần hóa học mẫu.....37
2.3.5. Phương pháp quang phổ phát xạ nguyên tử.....38
2.3.6. Phương pháp hiển vi quang học.....38
2.3.7. Phương pháp phổ nguyên tố phân tán năng lượng.....39

2.3.8. Phương pháp nhiễu xạ tia Rơnghen .....39
2.3.9. Phân tích cơ tính.....40
2.4. Kết luận chương 2 .....41
CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ TRONG CHẾ TẠO THÉP HỢP KIM Mn THẤP .....42
3.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim và đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp.....42
3.1.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim chính đến quá trình nấu đúc và kết tinh của thép Mn thấp.....42
3.1.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến đặc điểm giản đồ pha và tổ chức của thép Mn thấp.....44
3.1.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến cơ tính và một số tính chất khác của thép Mn thấp.....46
3.1.4. Nghiên cứu sự hình thành các pha liên kim đất hiếm với các nguyên tố kim loại đến quá trình đông đặc và kết tinh của thép Mn thấp .....46
3.1.5. Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tổ chức của thép Mn thấp.....47
3.1.6. Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp.....49
3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng và tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp .....49
3.2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến đặc tính nấu luyện của hợp kim nghiên cứu.....49
3.2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tổ chức của thép Mn thấp .....49
3.2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tính chất của thép Mn thấp .....50
3.2.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tổ chức của thép Mn thấp .....51
3.2.5. Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp .....53
3.2.6. Nghiên cứu lựa chọn các biện pháp hóa bền thép Mn thấp.....53
3.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình nấu luyện thép Mn thấp .....56
3.3.1. Nghiên cứu cơ sở lý luận của quá trình nấu luyện thép Mn thấp .....56
3.3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ nấu luyện đến quá trình hợp kim hóa thép Mn thấp .....63
3.3.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp hợp kim hóa đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp .....63

3.3.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp biến tính đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp ..... 70
3.3.5. Nghiên cứu phương pháp khử tạp chất khi nấu luyện thép Mn thấp ..... 70
3.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình đúc thép Mn thấp ..... 70
3.4.1. Nghiên cứu cơ sở lý luận về quá trình kết tinh và đông đặc thép Mn thấp ..... 70
3.4.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của khuôn đúc đến chất lượng chi tiết chế tạo từ thép Mn thấp ..... 70
3.4.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ rót đến chất lượng chi tiết làm từ thép Mn thấp ..... 73
3.4.4. Nghiên cứu phương pháp hợp kim hóa cho thép Mn thấp ..... 74
3.4.5. Nghiên cứu phương pháp biến tính bằng đất hiếm cho thép Mn thấp ..... 75
3.4.6. Nghiên cứu về sự hình thành các pha sau kết tinh và đông đặc ..... 75
3.5. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình xử lý nhiệt thép Mn thấp ..... 75
3.5.1. Xác định cơ chế chuyển pha khi xử lý nhiệt thép Mn thấp ..... 75
3.5.2. Xác định cơ chế, thông số của quá trình ủ đồng đều hóa sau đúc của thép Mn thấp ..... 75
3.5.3. Xác định cơ chế, thông số của quá trình tôi thép Mn thấp ..... 76
3.5.4. Xác định thông số môi trường tôi và sự ảnh hưởng các thông số của môi trường tôi đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp ..... 76
3.5.5. Xác định cơ chế, thông số của quá trình ram thép Mn thấp ..... 77
3.6. Kết luận chương 3 ..... 77
CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO THÉP HỢP KIM Mn THẤP ..... 79
4.1. Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ nấu luyện và đúc chế tạo thép Mn thấp ..... 79
4.1.1. Tính toán thành phần phối liệu để nấu luyện thép Mn thấp ..... 79
4.1.2. Nghiên cứu các giải pháp công nghệ khử khí thép Mn thấp ..... 81
4.1.3. Xây dựng quy trình công nghệ nấu luyện thép Mn thấp ..... 82
4.1.4. Nghiên cứu tính toán công nghệ đúc thép Mn thấp ..... 82
4.1.5. Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ đúc thép Mn thấp ..... 83
4.2. Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn ..... 88
4.2.1. Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ tôi thép Mn thấp ..... 88

4.2.2. Nghiên cứu lựa chọn tốc độ nung thép Mn thấp ..... 89
4.2.3. Nghiên cứu lựa chọn thời gian giữ nhiệt đến chất lượng thép Mn thấp ..89
4.2.4. Nghiên cứu thực nghiệm quá trình làm nguội thép Mn thấp trong một số môi trường nguội ..... 89
4.2.5. Tối ưu hóa quy trình tôi và ram ..... 89
4.2.6. Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ ram thép Mn thấp ..... 92
4.2.7. Nghiên cứu lựa chọn thời gian ram thép Mn thấp ..... 93
4.2.8. Tối ưu hóa quy trình ram đối với thép Mn thấp ..... 93
4.2.9. Đề xuất quy trình xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn ..... 94
4.3. Kết luận chương 4 ..... 103
CHƯƠNG 5. CHẾ TẠO THỬ NGHIỆM THÉP Mn THẤP, ĐÁNH GIÁ VÀ HOÀN THIỆN QUY TRÌNH ..... 105
5.1. Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá chất lượng và hoàn thiện quy trình công nghệ ..... 105
5.1.1. Thử nghiệm nấu luyện, đúc hợp kim thép Mn thấp ..... 105
5.1.2. Thử nghiệm xử lý nhiệt hợp kim thép Mn thấp ..... 116
5.1.3. Đánh giá chất lượng thép Mn thấp ..... 126
5.1.4. Hoàn thiện quy trình công nghệ chế tạo thép Mn thấp ..... 134
5.2. Chế tạo thử nghiệm sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp, đánh giá chất lượng sản phẩm ..... 140
5.2.1. Thiết kế bản vẽ đúc đối với răng gầu ..... 140
5.2.2. Phối liệu và nấu luyện thép Mn thấp cho sản phẩm răng gầu ..... 140
5.2.3. Tính toán thiết kế khuôn đúc cho sản phẩm răng gầu ..... 144
5.2.4. Tính toán quy trình đúc rót và biện pháp nâng cao chất lượng sản phẩm đúc răng gầu ..... 150
5.2.5. Tiến hành đúc, nấu luyện sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp ..... 164
5.2.6. Tiến hành xử lý nhiệt sản phẩm răng gầu ..... 167
5.2.7. Đánh giá phân tích chất lượng răng gầu theo các chỉ tiêu đánh giá sản phẩm ..... 169
5.3. Kết luận chương 5 ..... 170
CHƯƠNG 6. THỬ NGHIỆM SẢN PHẨM RĂNG GẦU VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ, XÂY DỰNG BÁO CÁO KINH TẾ KỸ THUẬT ..... 171
6.1. Kết quả thử nghiệm ..... 171
6.2. Xác định chi phí liên quan tới quá trình sản xuất răng gầu ..... 183

6.3. Kết luận chương 6 ..... 192
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ ..... 193
TÀI LIỆU THAM KHẢO ..... 197
PHỤ LỤC ..... 201

# DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

| | |
|---|---|
| $\Delta H$ | Biến thiên entanpi của phản ứng |
| $\Delta \Sigma$ | Biên thiên entropy của phản ứng |
| $E_A$ | Năng lượng hoạt hóa |
| G | Năng lượng tự do Gibbs |
| H | Entanpi của phản ứng |
| Ms | Nhiệt độ bắt đầu chuyển biến Mactenxit |
| Mf | Nhiệt độ kết thúc chuyển biến Mactenxit |
| SEM | Kính hiển vi điện tử quét |
| EDS | Phân tích phổ nguyên tố |
| CCF | Quy hoạch bề mặt đáp ứng trên mặt miền khảo sát |
| CCC | Quy hoạch bề mặt đáp ứng ngoài khối toàn phần |
| $A_{c1}$ | Nhiệt độ bắt đầu chuyển biến austenite |
| $A_{c3}$ | Nhiệt độ kết thúc chuyển biến austenite |
| HRC | Giá trị độ cứng |

# DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1. 1: Thành phần nguyên tố hợp kim chính của thép Mn thấp .....19
Bảng 1. 2: Thành phần thép Mn thấp nghiên cứu và một số thép đối chiếu cho đường ray .....21
Bảng 1. 3: Đặc tính cần xem xét của thép Mn thấp khi định hướng ứng dụng đường ray .....22
Bảng 1. 4: Một số chỉ tiêu cơ học tham khảo của thép bainit và thép ray peclit .....22
Bảng 1. 5: Các thông số đặc trưng của cacbit.....27

Bảng 3. 1: Tính chất vật lý của Crom.....44
Bảng 3. 2: Sự thay đổi nhiệt độ chuyển biến với các hàm lượng C và Mn khác nhau .....46
Bảng 3. 3: Sự sắp xếp hình học tương xứng giữa mặt xếp chặt (0001) $M_7C_3$ và mặt xếp chặt (1010) $Ce_2O_2S$ .....47
Bảng 3. 4: Độ cứng của mẫu ở các chế độ (Đơn vị: HRC) .....50
Bảng 3. 5: Kết quả kiểm tra độ dai va đập của mẫu.....51
Bảng 3. 6: Hiệu suất thu hồi các nguyên tố hợp kim khi nấu trong lò điện cảm ứng bazơ theo phương pháp không oxi hoá.....64
Bảng 3. 7: Thành phần phối liệu kim loại chính, %.....65
Bảng 3. 9: Lượng mất nhiệt độ trung bình ở nồi rót 1-2 tấn khi ra thép. .....69
Bảng 3. 10: Hệ số s phụ thuộc vào vị trí dẫn kim loại .....70
Bảng 3. 11: Trị số v bé nhất cho phép (cm).....70
Bảng 3. 12: Hệ số trở lực của khuôn $\mu$ đối với vật đúc gang và thép.....71

Bảng 4. 1: Thành phần các mác thép cần nấu.....79
Bảng 4. 2: Phối liệu và thành phần hóa học của các cấu tử trong mẻ liệu .....79
Bảng 4. 3: Các giai đoạn của quá trình nấu luyện.....82
Bảng 4. 4: Quy hoạch thực nghiệm các yếu tố ảnh hưởng đến xử lý nhiệt.....91

Bảng 5. 1: Phối liệu và thành phần hóa học của các cấu tử trong mẻ liệu .....106
Bảng 5. 2: Thành phần nguyên tố hợp kim chính .....108
Bảng 5. 3: Kết quả độ cứng các pha.....112
Bảng 5. 4: Độ cứng của mẫu ở các chế độ (Đơn vị: HRC) .....124
Bảng 5. 5: Kết quả kiểm tra độ dai va đập của mẫu.....125
Bảng 5. 6: So sánh mẫu M1 và M2 ở cùng nhiệt độ tôi 815 oC.....128
Bảng 5. 7: Bảng giá trị đáp ứng của trị số S/N cho độ cứng .....130
Bảng 5. 8: Bảng giá trị đáp ứng của trị số S/N cho độ dai va đập .....130
Bảng 5. 9: Phân tích ANOVA phương trình hồi quy độ cứng.....131
Bảng 5. 10:Phân tích ANOVA phương trình hồi quy độ dai va đập .....132
Bảng 5. 11: Thành phần các mác thép nghiên cứu.....141
Bảng 5. 12: Phối liệu và thành phần hóa học của các cấu tử trong mẻ liệu .....141
Bảng 5. 13: Thành phần nguyên tố hợp kim chính .....144
Bảng 5. 14: Hiệu suất thu hồi các nguyên tố hợp kim khi nấu trong lò điện cảm ứng bazơ theo phương pháp không oxi hoá.....159

Bảng 5. 15: Thành phần phối liệu kim loại chính, %.....160
Bảng 5. 17: Lượng mất nhiệt độ trung bình ở nồi rót 1-2 tấn khi ra thép. .....164

Bảng 6. 1: Độ cứng của mẫu ở các chế độ (Đơn vị: HRC) .....175
Bảng 6. 2: Kết quả kiểm tra độ dai va đập của mẫu.....177
Bảng 6. 3: Bảng giá trị đáp ứng của trị số S/N cho độ cứng .....178
Bảng 6. 4: Bảng giá trị đáp ứng của trị số S/N cho độ dai va đập.....178
Bảng 6. 5: Phân tích ANOVA phương trình hồi quy độ cứng.....179
Bảng 6. 6: Phân tích ANOVA phương trình hồi quy độ dai va đập .....180
Bảng 6. 7: Nhu cầu nguyên vật liệu .....185
Bảng 6. 8: Nhu cầu điện nước, xăng dầu.....186
Bảng 6. 9: Yêu cầu thiết bị, máy móc cho công đoạn xử lý nhiệt và kiểm tra chất lượng sản phẩm .....186
Bảng 6. 10: Yêu cầu thiết bị máy móc .....187
Bảng 6. 11: Khấu hao thiết bị máy móc .....187
Bảng 6. 12: Đầu tư cơ sở hạ tầng .....188
Bảng 6. 13: Chi phí lao động .....188
Bảng 6. 14: Chi phí khác.....189
Bảng 6. 15: Tổng chi phí và giá thành sản phẩm.....190

# DANH MỤC HÌNH ẢNH VÀ ĐỒ THỊ

Hình 1. 1: Tổ chức tế vi sau biến tính và có xử lý nhiệt (a); phân bố cacbit trên ảnh tổ chức (b) ..... 27

Hình 2. 1: Sản phẩm răng gầu xuất khẩu ..... 30
Hình 2. 2: Kính hiển vi điện tử quét JEOL JSM-7600F ..... 37
Hình 2. 3: Kính hiển vi quang học VHX6800 ..... 38
Hình 2. 4: Thiết bị nhiễu xạ Rơnghen AERIS ..... 40
Hình 2. 5: Kích thước mẫu để thực hiện kiểm tra độ dai va đập ..... 40

Hình 3. 1: Giản đồ Fe – Mn – C ..... 42
Hình 3. 2: Ảnh hưởng của Mn đến vùng α và γ trên giản đồ pha Fe-C ..... 43
Hình 3. 3: Ảnh hưởng của Cr đến vùng α và γ trên giản đồ pha Fe-C ..... 44
Hình 3. 4: Giản đồ pha Fe-Mn-C khi thay đổi hàm lượng Mn ..... 45
Hình 3. 5: Ảnh tổ chức tế vi sau đúc của mẫu không (a) và có (b) biến tính RE ..... 47
Hình 3. 6: Ảnh tổ chức tế vi sau nhiệt luyện của mẫu không (a) và có (b) biến tính RE ..... 48
Hình 3. 7: Ảnh tán xạ ngược sau nhiệt luyện của mẫu không (a) và có (b) biến tính ..... 48
Hình 3. 8: Ảnh TEM các hạt phân tán của mẫu có biến tính RE ..... 48
Hình 3. 9: Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc không có Ti (zoom x2000) ..... 49
Hình 3. 10: Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc có Ti (zoom x2000) ..... 50
Hình 3. 11: Nhiệt độ cân bằng pha lý thuyết $GT_0$ ..... 55
Hình 3. 12: Sự phụ thuộc của nhiệt độ $M_S$, $M_f$ vào hàm lượng cacbon trong thép ..... 55
Hình 3. 13: Sự phụ thuộc của nhiệt độ $M_S$ vào tốc độ làm nguội $v_r$ ..... 55
Hình 3. 14: Mô hình tạo mầm ký sinh ..... 61
Hình 3. 15: Mô hình cơ chế mầm lớn lên theo lớp nguyên tử không hoàn chỉnh ..... 62
Hình 3. 16: Mô hình mầm tạo ra theo cơ chế dựa vào lệch xoắn ..... 63
Hình 3. 17: Sơ đồ thiêu kết lò ..... 64
Hình 3. 18: Tổ chức tế vi của mẫu thép ở nhiệt độ rót $1510^0$C ..... 73
Hình 3. 19: Tổ chức tế vi của mẫu thép ở nhiệt độ rót $1470^0$C ..... 74
Hình 3. 20: Tổ chức tế vi của mẫu thép ở nhiệt độ rót $1430^0$C ..... 74

Hình 4. 1: Bản vẽ theo phương án 2 ..... 87
Hình 4. 2: Sơ đồ thực hiện thiết kế CCF ..... 90
Hình 4. 3: Tổ chức tế vi của mẫu M0 sau đúc ..... 94
Hình 4. 4: Tổ chức tế vi mẫu M0 chụp bằng kính hiển vi VHX ..... 95
Hình 4. 5: Phân tích kích thước hạt mẫu M0 ..... 96
Hình 4. 6: Phân tích điểm rỗ khí mẫu M0 ..... 96
Hình 4. 7: Kết quả phân tích XRD mẫu M0 ..... 97
Hình 4. 8: Phân tích pha sáng tại bên trong hạt ..... 97
Hình 4. 9: Phân tích pha sáng tại vùng biên giới hạt ..... 98
Hình 4. 10: Tổ chức tế vi mẫu M1 sau đúc ..... 99
Hình 4. 11: Phân tích độ hạt mẫu M1 ..... 100
Hình 4. 12: Phân tích tổ chức tế vi mẫu M2 sau đúc ..... 101
Hình 4. 13: Phân tích độ hạt mẫu M2 ..... 101
Hình 4. 14: Tổ chức tế vi hợp kim M2 sau xử lý nhiệt ..... 102
Hình 4. 15: Phân tích SEM hợp kim M2 sau xử lý nhiệt ..... 102
Hình 4. 16: Phân tích giá trị độ dai va đập ..... 103
Hình 4. 17: Phân tích giá trị độ cứng trên bề mặt ..... 103

Hình 5. 1: Cấu tạo nội hình lò ..... 105
Hình 5. 2:Tổ chức tế vi của mẫu M0 sau đúc ..... 109
Hình 5. 3: Tổ chức tế vi mẫu M0 chụp bằng kính hiển vi VHX ..... 110
Hình 5. 4: Kết quả phân tích XRD mẫu M0 ..... 111
Hình 5. 5: Phân tích pha sáng tại bên trong hạt ..... 112
Hình 5. 6: Tổ chức tế vi mẫu M1 sau đúc ..... 114
Hình 5. 7: Phân tích tổ chức tế vi mẫu M2 sau đúc ..... 115
Hình 5. 8: Phân tích độ hạt mẫu M2 ..... 115
Hình 5. 9: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau thường hóa (zoom x1000) ..... 116
Hình 5. 10: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau thường hóa (zoom x1000) ..... 116
Hình 5. 11: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau tôi (zoom x2000) ..... 117
Hình 5. 12: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau tôi (zoom x2000) ..... 117
Hình 5. 13: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau ram (zoom x2000) ..... 118
Hình 5. 14: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau ram (zoom x2000) ..... 118
Hình 5. 15: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti ..... 118
Hình 5. 16: Ảnh chụp EDS mẫu đúc không Ti ..... 119
Hình 5. 17: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti ..... 119
Hình 5. 18: Ảnh chụp EDS mẫu đúc có Ti ..... 119
Hình 5. 19: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti sau thường hóa ..... 120
Hình 5. 20: Ảnh EDS mẫu đúc không Ti sau thường hóa ..... 120
Hình 5. 21: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti sau thường hóa ..... 121
Hình 5. 22: Ảnh EDS mẫu đúc có Ti sau thường hóa ..... 121
Hình 5. 23: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti sau tôi ..... 122
Hình 5. 24: Ảnh EDS mẫu đúc không Ti sau tôi ..... 122
Hình 5. 25: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti sau tôi ..... 123
Hình 5. 26: Ảnh EDS mẫu đúc có Ti sau tôi ..... 123
Hình 5. 27: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti sau ram ..... 123
Hình 5. 28: Ảnh EDS mẫu đúc không Ti sau ram ..... 123
Hình 5. 29: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti sau ram ..... 124
Hình 5. 30: Ảnh EDS mẫu đúc có Ti sau ram ..... 124
Hình 5. 31: Đồ thị thể hiện độ cứng của mẫu ..... 125
Hình 5. 32: Đồ thị phân tích độ dai va đập ..... 126
Hình 5. 33: Tổ chức tế vi mẫu sau tôi ở 815$^{o}$C ..... 127
Hình 5. 34: Biểu đồ hiệu ứng của tỷ số S/N cho độ cứng ..... 130
Hình 5. 35: Biểu đồ hiệu ứng của tỷ số S/N cho độ dai va đập ..... 131
Hình 5. 36:Biểu đồ xác suất chuẩn và biểu đồ phần dư theo thứ tự quan sát ..... 132
Hình 5. 37: Biểu đồ ảnh hưởng Nhiệt độ tôi, ram lên độ cứng thép Mn trong a) 2 giờ, b) 4 giờ và c) 6 giờ ..... 132
Hình 5. 38: Biểu đồ xác suất chuẩn và biểu đồ phần dư theo thứ tự thí nghiệm độ dai va đập ..... 133
Hình 5. 39: Biểu đồ ảnh hưởng Nhiệt độ tôi, ram lên độ dai va đập thép Mn trong a) 2 giờ, b) 4 giờ và c) 6 giờ ..... 133
Hình 5. 40: Vùng thông số nhiệt độ ram và thời gian ram tại nhiệt độ tôi 893 $^{o}$C cho độ cứng lớn hơn 38 và độ dai va đập lớn hơn 65 ..... 134
Hình 5. 41: Sơ đồ tổng thể lò trung tần ..... 156
Hình 5. 42: Cấu tạo nội hình lò ..... 157
Hình 5. 43: Sơ đồ hệ thống nước làm mát lò ..... 158
Hình 5. 44: Sơ đồ thiêu kết lò ..... 158

Hình 6. 1:Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc không có Ti (zoom x2000)..... 171
Hình 6. 2: Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc có Ti (zoom x2000) ..... 171
Hình 6. 3: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau thường hóa (zoom x1000)..... 172
Hình 6. 4: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau thường hóa (zoom x1000) ..... 172
Hình 6. 5: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau tôi (zoom x2000)..... 172
Hình 6. 6: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau tôi (zoom x2000)..... 173
Hình 6. 7: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau ram (zoom x2000)..... 173
Hình 6. 8: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau ram (zoom x2000)..... 173
Hình 6. 9: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti..... 174
Hình 6. 10: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti..... 174
Hình 6. 11: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti sau ram..... 175
Hình 6. 12: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti sau ram..... 175
Hình 6. 13: Đồ thị thể hiện độ cứng của mẫu..... 176
Hình 6. 14: Đồ thị phân tích độ dai va đập ..... 177
Hình 6. 15: Biểu đồ hiệu ứng của tỷ số S/N cho độ cứng..... 178
Hình 6. 16: Biểu đồ hiệu ứng của tỷ số S/N cho độ dai va đập..... 179
Hình 6. 17: Biểu đồ xác suất chuẩn và biểu đồ phần dư theo thứ tự quan sát ..... 180
Hình 6. 18: Biểu đồ ảnh hưởng Nhiệt độ tôi, ram lên độ cứng thép Mn trong a) 2 giờ, b) 4 giờ và c) 6 giờ..... 180
Hình 6. 19: Biểu đồ xác suất chuẩn và biểu đồ phần dư theo thứ tự thí nghiệm độ dai va đập..... 181
Hình 6. 20: Biểu đồ ảnh hưởng Nhiệt độ tôi, ram lên độ dai va đập thép Mn trong a) 2 giờ, b) 4 giờ và c) 6 giờ..... 181
Hình 6. 21: Vùng thông số nhiệt độ ram và thời gian ram tại nhiệt độ tôi 893 $^{o}$C cho độ cứng lớn hơn 38 và độ dai va đập lớn hơn 65 ..... 182

# MỞ ĐẦU

## 1. Bối cảnh chung và tính cấp thiết của đề tài

Thép được chia thành thép cacbon và thép hợp kim. Theo hàm lượng cacbon, được chia thành thép cacbon thấp (<0,3% C), thép cacbon trung bình (0,3÷0,7%C) và thép cacbon cao (>0,7%C). Thép hợp kim thì tùy thuộc vào nguyên tố hợp kim mà phân thành thép crôm, thép mangan, thép crôm-niken, thép crôm-silic-mangan... Theo hàm lượng nguyên tố hợp kim, phân thành thép hợp kim thấp, thép hợp kim trung bình và thép hợp kim cao. Trong thép hợp kim thấp hàm lượng các nguyên tố hợp kim không vượt quá 5%, trong thép hợp kim trung bình hàm lượng các nguyên tố hợp kim 5÷10%, trong thép hợp kim cao hàm lượng các nguyên tố hợp kim lớn hơn 10%.

Thép HSLA thuộc nhóm thép hợp kim kết cấu có hàm lượng C thấp, các nguyên tố hợp kim là Mn, Si, Cr, Ni, Cu … và có thể thêm nguyên tố vi lượng như Ti, Nb, V …, tổng hàm lượng nguyên tố hợp kim nhỏ hơn 5%. Thép HSLA có độ bền khá, giới hạn bền từ 450-900 MPa, độ dẻo giảm cùng với sự tăng lên về độ bền, ở giới hạn bền khoảng 450 MPa, độ giãn dài đến 27%, còn khi giới hạn bền đến 900 MPa, độ giãn dài khoảng 10%.

Thép Mn thấp có nhiều ứng dụng trong thực tế; ngoài phân nhóm AHSS để chế tạo các chi tiết được biến dạng thì còn có nhóm chuyên dụng để chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn. Điển hình của nhóm chi tiết này là búa nghiền và hàm nghiền các loại khoáng sản có độ cứng thấp. Các chi tiết trong máy nghiền bao gồm  khối quay trục chính, đĩa, trục ống và búa. Phần chính làm việc của máy nghiền búa là roto và búa. Các ổ đĩa của động cơ Roto xoay nhanh trong khoang nghiền. Khi nạp nguyên liệu thô vào máy qua cửa cấp liệu do tác động của búa tốc độ cao, kích thước nguyên liệu được nghiền nhỏ. Dưới Rôto có đĩa sàng để sàng các vật liệu với kích thước nhỏ hơn so với lưới sàng sẽ được ra và giữ lại phần bột chưa đạt tiêu chuẩn cho việc nghiền tiếp cho đến khi đạt đến kích thước chuẩn. Vật liệu được nạp vào máy nghiền từ phía trên của máy, nhờ trọng lượng bản thân rơi hoặc trượt theo máng và vùng va đập của búa đang quay với tốc độ cao. Sau va đập, vật liệu bị vỡ thành nhiều mảnh và bay với góc phản chiếu khoảng 900, tạo thành một vùng đập nghiền. Khi bay, các mảnh vỡ đập vào các tấm lót (được gắn vào các tấm phản hồi) trên thành vỏ máy, bật ngược trở lại đầu búa để nghiền tiếp, cứ như vậy cho đến khi đủ nhỏ lọt qua mắt sàng ra ngoài. Các dạng mài mòn đặc trưng cho các chi tiết nhóm một là dạng hạt mài (bằng các hạt rắn chui vào vùng tiếp xúc), dạng dính kết, dạng ôxy hóa, dạng mỏi, dạng fretting (ăn mòn fretting). Đối với các chi tiết

nhóm hai điển hình là mài mòn dạng hạt mài (ví dụ, mòn do nền đất, dạng mài trong chất lỏng và khí (bằng các hạt rắn trộn với chất lỏng hoặc khí), dạng mòn khí quyển, dạng mòn khí quyển có nước và khí (bằng dòng chất lỏng hoặc khí), dạng bào mòn (do va đập của chất lỏng).

Nguyên nhân mài mòn các chi tiết tạo cặp là công của lực ma sát. Do tác động của lực đó mà các quá trình biến dạng vùng bề mặt tiếp xúc, quá trình hóa bền và thải bền, quá trình tỏa nhiệt, sự thay đổi cấu trúc, sự phát triển mỏi, sự ôxy hóa v.v., được lặp lại nhiều lần.

Với sản lượng búa đập quặng nội chỉ chiếm 10% thị phần búa trong nước, nếu cải thiện được chất lượng búa để tiến tới thay thế hoàn toàn búa nhập ngoại, thị phần búa đập quặng đối với các cơ sở sản xuất trong nước sẽ là rất lớn. Với nhu cầu hàng chục ngàn tấn búa/năm, đây sẽ là thị trường rộng lớn cho các doanh nghiệp sản xuất trong nước hoạt động, tạo nguồn thu đáng kể và tránh thất thoát ngoại tệ cho nền kinh tế nước nhà.

Tuy nhiên các loại búa sản xuất ở trong nước hiện nay chỉ sử dụng được khoảng 50 đến 70 giờ là phải thải loại. Điều đó dẫn đến việc giảm hiệu suất của các dây truyền khai thác và chế biến quặng và giảm hiệu quả kinh tế của doanh nghiệp. Nguyên nhân chủ yếu là chưa chế tạo ra được các mác thép có chất lượng tốt. Ngoài ra, công nghệ đúc rót và nhiệt luyện cũng chưa được quan tâm nghiên cứu một cách bài bản.

Chính vì vậy, nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ và chế tạo một số chi tiết từ thép Mn thấp làm việc trong điều kiện chịu mài mòn là một yêu cầu bức thiết hiện nay.

**2. Thông tin chung của đề tài**

Mục tiêu nghiên cứu: Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo một số chi tiết làm từ thép Mn thấp làm việc trong điều kiện chịu mài mòn.

Nội dung nghiên cứu:

- Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp
- Quy trình công nghệ nấu luyện thép Mn thấp
- Quy trình công nghệ đúc và nhiệt luyện thép Mn thấp
- Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá và hoàn thiện quy trình công nghệ

Địa điểm triển khai: Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Thời gian thực hiện: 12/2024 đến 8/2026

Kinh phí thực hiện: 2.164,880 triệu đồng, trong đó:

- Kinh phí từ NSNN: 1.957,48 triệu đồng

- Kinh phí từ nguồn khác: 207,40 triệu đồng

**3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

Ý nghĩa khoa học: Đề tài tiến hành phân tích và đưa ra đặc điểm điều kiện làm việc của chi tiết chịu mài mòn từ đó đưa ra được cơ chế hóa bền của nhóm thép Mn thấp. Thông qua cơ sở lý thuyết đề tài sẽ xây dựng được bộ quy trình công nghệ hoàn chỉnh từ hợp kim hóa, đúc và xử lý nhiệt để nâng cao chất lượng cho nhóm thép này. Tiến hành thực nghiệm để nghiên cứu chế tạo ra được mác thép có đặc tính làm việc phù hợp. Hoàn thiện các quy trình công nghệ để chế tạo mác thép này. Ngoài ra, bằng quy hoạch thực nghiệm đề tài sẽ tối ưu hóa được quy trình công nghệ cho mác thép nghiên cứu và sản phẩm thử nghiệm.

Ý nghĩa thực tiễn: Kết quả nghiên cứu của đề tài ứng dụng rộng rãi trong thực tiễn sản xuất sẽ góp phần nâng cao chất lượng và độ tin cậy của các sản phẩm chịu mài mòn từ thép Mn thấp. Kết quả nghiên cứu cũng góp phần tạo ra dòng sản phẩm ít sử dụng các nguyên liệu độc hại, góp phần giảm ảnh hưởng đến sức khoẻ của công nhân chế tạo và tác hại môi trường. Hơn nữa, kết quả của đề tài còn góp phần củng cố thêm tính khả thi về các quyết định, thông tư của Chính phủ, Bộ ban ngành về Chương trình hành động thực hiện Nghị quyết số 45-NQ/TW ngày 24/1/2019 của Bộ Chính trị về xây dựng và phát triển thành phố Hải Phòng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, đặc biệt là nhiệm vụ Xây dựng thành phố Hải Phòng trở thành trọng điểm phát triển khoa học - công nghệ biển của cả nước.

**4. Kết cấu của báo cáo**

Đề tài được trình bày trong 6 chương, bao gồm hình vẽ và đồ thị, bảng số liệu. Cấu trúc cụ thể của đề tài như sau:

**Phần Mở đầu:** Trình bày lý do chọn đề tài, mục tiêu, nội dung, phạm vi và ý nghĩa của nghiên cứu.

**Chương 1: Tổng quan tình hình nghiên cứu.**

**Chương 2: Phạm vi, đối tượng và phương pháp nghiên cứu**

**Chương 3: Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp**

**Chương 4: Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mn thấp**

**Chương 5: Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá và hoàn thiện quy trình**

**Chương 6: Thử nghiệm sản phẩm răng gầu và đánh giá hiệu quả, xây dựng báo cáo kinh tế kỹ thuật**

**Phần Kết luận và Kiến nghị**

**Tài liệu tham khảo**

# CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU

Thép hợp kim mangan thấp là nhóm vật liệu có khả năng kết hợp tương đối tốt giữa độ bền, độ cứng, độ dai va đập và khả năng chống mài mòn. Nhờ những đặc tính này, vật liệu được sử dụng để chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu tải trọng lớn, va đập và mài mòn mạnh, điển hình như răng gầu máy xúc, xích kéo, tấm lót và các bộ phận của thiết bị khai thác khoáng sản. Tuy nhiên, chất lượng và tuổi thọ của sản phẩm phụ thuộc chặt chẽ vào thành phần hóa học cũng như các thông số của quá trình nấu luyện, đúc và xử lý nhiệt.

Việc nghiên cứu thép mangan thấp cần tập trung làm rõ ảnh hưởng của các nguyên tố hợp kim, nguyên tố vi lượng và tạp chất đến quá trình kết tinh, sự hình thành tổ chức và cơ tính của vật liệu. Bên cạnh đó, việc lựa chọn phương pháp hợp kim hóa, biến tính và chế độ xử lý nhiệt phù hợp có ý nghĩa quan trọng trong việc làm nhỏ hạt, phân bố đồng đều các pha và cacbit, đồng thời tạo sự cân bằng giữa độ cứng chống mài mòn và độ dai chống phá hủy do va đập.

Vì vậy, chương này trình bày tổng quan về đặc điểm, điều kiện làm việc và phạm vi ứng dụng của thép hợp kim mangan thấp; phân tích cơ chế hóa bền, vai trò của cacbit và ảnh hưởng của các nguyên tố hợp kim đến tổ chức, tính chất của thép. Đồng thời, chương tổng hợp tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước, qua đó xác định những vấn đề còn tồn tại và xây dựng cơ sở khoa học cho việc nghiên cứu quy trình công nghệ nấu luyện, đúc, xử lý nhiệt và chế tạo thử nghiệm răng gầu chịu mài mòn trong các chương tiếp theo.

## 1.1. Giới thiệu chung về thép Mangan và thép Mangan thấp

Thép được chia thành thép cacbon và thép hợp kim. Theo hàm lượng cacbon, được chia thành thép cacbon thấp (<0,3% C), thép cacbon trung bình (0,3÷0,7%C) và thép cacbon cao (>0,7%C). Thép hợp kim thì tùy thuộc vào nguyên tố hợp kim mà phân thành thép crôm, thép mangan, thép crôm-niken, thép crôm-silic-mangan... Theo hàm lượng nguyên tố hợp kim, phân thành thép hợp kim thấp, thép hợp kim trung bình và thép hợp kim cao. Trong thép hợp kim thấp hàm lượng các nguyên tố hợp kim không vượt quá 5%, trong thép hợp kim trung bình hàm lượng các nguyên tố hợp kim 5÷10%, trong thép hợp kim cao hàm lượng các nguyên tố hợp kim lớn hơn 10% [1–4].

Thép mangan thấp là một loại thép chứa một lượng thấp cacbon (thường dưới 0,3%) và một lượng mangan (thường từ 0,5% đến 2,0%). Thép này được thiết kế để cung cấp một số lợi ích so với các loại thép khác, đặc biệt là trong các ứng dụng đòi hỏi độ bền cao và độ co ngót tốt [5–8].

*Bảng 1. 1: Thành phần nguyên tố hợp kim chính của thép Mn thấp*

| C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | Al | V | Sn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,255 | 0,887 | 1,631 | 1,676 | 0,251 | 0,040 | 0,053 | 0,016 | 0,008 |

Dưới đây là một số đặc điểm chính của thép mangan thấp:

**Độ cứng và độ bền cao:** Mặc dù chứa lượng cacbon thấp, nhưng việc thêm mangan giúp củng cố cấu trúc của thép và tăng cường độ cứng và độ bền. Điều này làm cho thép mangan thấp trở thành lựa chọn phổ biến cho các ứng dụng đòi hỏi độ cứng và độ bền, như trong sản xuất cầu, đường ống, và các thành phần cấu trúc.

**Độ co ngót tốt:** Thép mangan thấp thường có khả năng chịu biến dạng và đàn hồi cao, đặc biệt là ở nhiệt độ thấp. Điều này làm cho chúng thích hợp cho việc sử dụng trong điều kiện nhiệt độ thấp hoặc trong các ứng dụng đòi hỏi tính đàn hồi như trong ngành công nghiệp ô tô.

**Tính chất hàn tốt:** Thép mangan thấp thường có khả năng hàn tốt, điều này làm cho chúng phù hợp cho các quy trình sản xuất yêu cầu đến việc hàn. Điều này mở rộng lựa chọn cho các kỹ thuật gia công và làm tăng tính linh hoạt trong quá trình sản xuất.

**Chi phí thấp:** So với một số loại thép cao hơn, thép mangan thấp thường có giá thành thấp hơn. Điều này làm cho chúng trở thành sự lựa chọn phổ biến cho nhiều ứng dụng trong nhiều ngành công nghiệp.

Tùy thuộc vào cấp độ của mangan và các yếu tố hợp kim khác, có nhiều loại thép mangan thấp khác nhau, được chọn lựa cho các ứng dụng cụ thể. Thép mangan thấp thường được sử dụng trong các ngành công nghiệp xây dựng, sản xuất ô tô, cầu đường, và nhiều ứng dụng khác đòi hỏi tính chất cơ học và hàn đặc biệt.

## 1.2. Đặc điểm điều kiện làm việc của chi tiết làm từ thép Mn thấp

Các loại thép hợp kim thấp có chứa Vanadi, Niobi, Titan hoặc sự kết hợp của các nguyên tố này đã có sẵn trong nhiều năm. Những loại thép này được sản xuất thông qua một số quy trình cơ nhiệt, thể hiện sự kết hợp giữa độ bền cao và độ dẻo tốt do kích thước hạt Ferit mịn và độ cứng tốt. Cacbit giữ vai trò tạo hạt nhỏ mịn trong quá trình đông đặc austenit và góp phần tạo các hạt cacbit cứng phân tán trong quá trình đông đặc trong ferit hoặc sau quá trình biến đổi $\gamma - \alpha$.

Thép mangan thấp là loại thép cacbon thấp đến trung bình có hàm lượng mangan trong khoảng 0,5–2% và được bổ sung các nguyên tố hợp kim thông thường như Titanium, Niobium và Vanadi. Ngoài ra, một số loại thép đúc đặc biệt là các loại của Pháp cũng được hợp kim với niken. Ngày nay, các loại thép này đã tìm thấy nhiều ứng dụng trong sản xuất các bộ phận công nghiệp như: ống đúc ly tâm, giá đỡ máy móc, khung đỡ lò phản ứng hạt nhân, vỏ máy nén khí tự nhiên, khuôn phôi và thùng. Tất cả đều được sản xuất theo quy trình sản xuất đắt tiền bởi vì hầu hết các bộ phận này phải được xử lý nhiệt trước khi sử dụng nên ảnh hưởng của quá trình xử lý nhiệt khác nhau bao gồm ảnh hưởng của quá trình đồng nhất trước đó, thời gian và nhiệt độ austenit hóa, tốc độ làm nguội, xử lý nhiệt liên tới hạn, thời gian và nhiệt độ ủ đến các tính chất cơ học của thép đúc hợp kim là mục tiêu của nhiều nghiên cứu.

Tuy nhiên, ảnh hưởng của việc bổ sung các nguyên tố hợp kim lên các tính chất cơ học và tổ chức tế vi của thép đúc ở điều kiện đúc vẫn chưa được nghiên cứu. Do đó, việc nghiên cứu các tính chất cơ học của thép vi hợp kim đúc trong điều kiện đúc

là rất có giá trị để kiểm tra khả năng đạt được sự kết hợp tốt các đặc tính và thay thế một số bộ phận công nghiệp được sản xuất bằng các quy trình đắt tiền bằng các loại thép có chi phí thấp này.

Thép hợp kim Mn thấp có nhiều ứng dụng trong thực tế như phân nhóm AHSS để chế tạo các chi tiết được biến dạng còn có nhóm chuyên dụng để chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn bên cạnh đó cần đảm bảo độ dai nhất định. Những nhóm chi tiết cụ thể trong điều kiện làm việc ở trên là chi tiết răng cào tuyết, răng gầu xúc than,..

**Ứng dụng trong vật liệu đường ray và yêu cầu đối với đường sắt tốc độ cao**

Trong phạm vi đề tài, thép Mn thấp được xem xét chủ yếu dưới dạng thép đúc hợp kim thấp phục vụ chi tiết chịu mài mòn. Khi mở rộng sang đường sắt, cần phân biệt hàm lượng mangan với hàm lượng cacbon và dạng sản phẩm: thép ray C–Mn có thể chứa mangan ở mức tương đối thấp nhưng hàm lượng cacbon cao hơn đáng kể so với mẫu M0. Vì vậy, thuật ngữ "Mn thấp" không đồng nghĩa với một mác thép ray hoặc một tập hợp cơ tính cố định. Bảng 1.1a đối chiếu thành phần của mẫu nghiên cứu với một số thép sử dụng trong nghiên cứu và sản xuất ray [41,42].

Ray chịu tải tiếp xúc bánh xe–ray lặp lại, gây biến dạng dẻo tích lũy, mài mòn và mỏi tiếp xúc lăn (RCF). Đối với đường sắt tốc độ cao, vật liệu còn phải duy trì chất lượng bề mặt lăn và độ ổn định hình học trong quá trình khai thác. Ray peclit được xử lý nhiệt làm mịn tổ chức là một giải pháp đã được áp dụng, đặc biệt tại các đoạn cong; nhà sản xuất voestalpine nhấn mạnh đồng thời khả năng chống RCF của đầu ray, độ bền làm việc của chân ray và tính hàn [42,43].

Việc lựa chọn mác ray phải gắn với điều kiện tuyến. Ví dụ, voestalpine công bố ray tiết diện 60E1 mác R260 được sử dụng trên tuyến HSL của Hà Lan [44]. Điều này cho thấy tốc độ cao không tự động đồng nghĩa với một mác thép duy nhất hoặc độ cứng cao nhất. Cần đánh giá đồng thời tải trọng trục, bán kính đường cong, trạng thái tiếp xúc và chế độ bảo trì của từng tuyến.

*Bảng 1. 2:* ***Thành phần thép Mn thấp nghiên cứu và một số thép đối chiếu cho đường ray***

| Nguyên tố, % | M0 của đề tài | B360 [41] | B1400 [41] | R260 [42] | R350HT [42] |
|---|---|---|---|---|---|
| C | 0,255 | 0,269 | 0,363 | 0,62–0,80 | 0,72–0,80 |
| Mn | 0,887 | 1,547 | 0,934 | 0,70–1,20 | 0,70–1,20 |
| Si | 1,631 | 1,36 | 0,694 | 0,15–0,58 | 0,15–0,58 |
| Cr | 1,676 | 0,51 | 1,146 | — | — |
| Mo | 0,251 | 0,148 | 0,713 | — | — |

| Nguyên tố, % | M0 của đề tài | B360 [41] | B1400 [41] | R260 [42] | R350HT [42] |
|---|---|---|---|---|---|
| Ni | 0,040 | — | 0,223 | — | — |
| Al | 0,053 | — | — | — | — |

Ghi chú: Thành phần tính theo % khối lượng. M0 là mẫu nền của đề tài; B360 và B1400 là thành phần mẫu thép bainit trong nghiên cứu [41]; các khoảng R260, R350HT là số liệu tham chiếu được nêu ở Bảng 1 của [42]. Dấu "—" là không nêu trong bảng nguồn, không có nghĩa bằng 0. Đây là bảng đối chiếu một số nguyên tố, không thay thế yêu cầu đầy đủ về thành phần, tạp chất và nghiệm thu của từng mác.

*Bảng 1. 3:* ***Đặc tính cần xem xét của thép Mn thấp khi định hướng ứng dụng đường ray***

| Đặc tính | Đặc điểm của thép nghiên cứu | Ý nghĩa khi phát triển vật liệu ray |
|---|---|---|
| Thành phần và tổ chức | M0 có C thấp hơn các mác ray peclit đối chiếu, đồng thời chứa Si, Cr và Mo. Không suy ra tổ chức cuối cùng chỉ từ hàm lượng Mn. | Xác định tổ chức theo chế độ nhiệt luyện, tỷ phần pha và phân bố độ cứng trên tiết diện. |
| Độ bền và độ dẻo | Cơ tính phụ thuộc thành phần và trạng thái nhiệt luyện; không sử dụng giá trị của B360 hoặc B1400 thay cho M0. | Thử kéo và đánh giá khả năng chịu biến dạng theo trạng thái sản phẩm dự kiến. |
| Chống mài mòn | Kết quả làm việc của răng gầu phản ánh điều kiện mài mòn của sản phẩm đã thử. | Cần thử tiếp xúc lăn–trượt để đánh giá riêng cặp bánh xe–ray. |
| Mỏi và chống nứt | Độ cứng hoặc độ dai va đập đơn lẻ chưa mô tả đầy đủ khả năng làm việc dưới tải chu kỳ. | Đánh giá RCF, tốc độ phát triển vết nứt và độ dai phá hủy. |
| Khả năng hàn | Cần xét toàn bộ hệ hợp kim và biến đổi tổ chức vùng ảnh hưởng nhiệt của M0. | Thẩm định quy trình hàn, độ cứng và khuyết tật mối nối; không mặc định "Mn thấp" là dễ hàn. |

Ghi chú: Bảng 1.1b là các tiêu chí đánh giá đề xuất từ thành phần M0, phạm vi thử nghiệm của đề tài và vấn đề tải tiếp xúc bánh xe–ray trong [41,42]; không phải bảng cơ tính đã được chứng nhận cho ray M0.

*Bảng 1. 4:* ***Một số chỉ tiêu cơ học tham khảo của thép bainit và thép ray peclit***

| Mác và trạng thái | Giới hạn bền kéo, MPa | Chỉ tiêu độ dẻo, % | Độ cứng |
|---|---|---|---|
| B360-AR [41] | 1251 ± 13 | 19,9 ± 0,9 (*) | 380 ± 8 HV0,1 |
| B1400-AR [41] | 1394 ± 25 | 9,98 ± 0,9 (*) | 510 ± 15 HV0,1 |
| R260 [42] | ≥ 880 | A5 ≥ 10 | 260–300 HBW |

| Mác và trạng thái | Giới hạn bền kéo, MPa | Chỉ tiêu độ dẻo, % | Độ cứng |
|---|---|---|---|
| R350HT [42] | ≥ 1175 | A5 ≥ 9 | 350–390 HBW |

Ghi chú: AR là trạng thái nhận từ nhà sản xuất trong nghiên cứu [41]. (*) là biến dạng kỹ thuật khi đứt đo trên mẫu thử của nghiên cứu, không đồng nhất mặc nhiên với A5. HV0,1 và HBW là các thang độ cứng khác nhau, không so sánh trực tiếp các trị số. Các kết quả của B360, B1400 là số liệu thực nghiệm, còn R260 và R350HT là mức tham chiếu trong [42]. Chưa có bộ số liệu thử ray tương ứng để gán các chỉ tiêu này cho M0.

Các nghiên cứu trên thép bainit B360 và B1400 tạo cơ sở tham khảo cho hướng phát triển thép hợp kim có hàm lượng Mn tương đối thấp trong lĩnh vực đường sắt [41]. Tuy nhiên, mẫu M0 có C, Si, Cr và Mo khác các mẫu đối chiếu; sự gần nhau ở một vài nguyên tố không chứng minh tương đương vật liệu. Ứng dụng của thép M0 vào ray, nhất là ray tốc độ cao, vì vậy cần được xác định là hướng nghiên cứu tiếp nối, gắn với quy trình tạo phôi, cán, xử lý nhiệt và đánh giá sản phẩm ray riêng biệt.

## 1.3. Tình hình nghiên cứu lĩnh vực này ở ngoài nước, trong nước và ở Hải Phòng.

### 1.3.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Ngày nay, trải qua nhiều năm nghiên cứu và phát triển, thép Mangan đã có những ứng dụng rất nhiều trong các lĩnh vực công nghiệp. Đặc biệt là trong công nghiệp khai khoáng, công nghiệp xi măng, đường sắt… Đó là các chi tiết chịu mài mòn và chịu va đập dưới áp lực cao. Trong một số điều kiện làm việc thép cần được biến cứng ngay trong quá trình xử lý nhiệt do vậy việc tạo được tổ chức nền có độ cứng cao và các hạt cacbit phân tán là điều cần thiết. [9,10,19–22,11–18].

G. Golaěski và các tác giả khác đã trình bày những kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của các hạt cacbit như $M_3C$; $M_2C$, $M_{23}C_6$, MC, $M_7C_3$ đến tổ chức của thép đúc L21HMF và L17HMF sau khi xử lý nhiệt. Các nghiên cứu đã chỉ ra sự dịch chuyển về cấu trúc của thép trước và sau khi nhiệt luyện [23] .

Nghiên cứu của Y. A. Farzin và cộng sự về ảnh hưởng của xử lý nhiệt đến tổ chức và cơ tính của thép song pha ST52 đã chỉ ra cơ tính tốt nhất đạt được khi ủ ở 770$^o$C trong 105 phút và tôi trong nước. Tổ chức nhận được là các hạt peclit nhỏ mịn, một lượng austenite dư và giá trị giới hạn bền đạt tới 1331MPa với giá trị độ cứng là 316HV30 [23].

Nghiên cứu về sự phân tán của các hạt cacbit sau khi xử lý nhiệt và làm việc trong một thời gian dài đã được chỉ ra đối với thép đúc hợp kim thấp Cr-Mo-V [15,21,22,24–26].

Nghiên cứu của R. C. Voigt về ảnh hưởng của quá trình xử lý nhiệt đến tổ chức và cơ tính của thép hợp kim thấp Mn và thép HSLA. Bằng những phân tích của nhóm nghiên cứu đã xác định tổ chức của thép sau khi xử lý nhiệt là tổ

chức ferrit-mactenxit ram. Giá trị độ dai và độ bền của thép tăng lên khi thực hiện quy trình xử lý nhiệt hai bước [23].

Các nghiên cứu hiện nay mới tập trung chủ yếu vào dòng thép có hàm lượng Mn cao còn hàm lượng Mn thấp phục vụ chế tạo các chi tiết cần chịu mài mòn ngay bắt đầu làm việc và tiếp tục chuyển biến trong quá trình làm việc là chưa có.

### 1.3.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Từ đầu những năm 1960 và những năm tiếp theo, cùng với việc phát triển các nhà máy cơ khí, các phân xưởng thép có lò điện hồ quang cỡ nhỏ, lò tần số cũng được xây dựng. Các phân xưởng này đã nấu luyện các loại thép hợp kim và đúc rót ra nhiều chi tiết và một số thỏi nhỏ để rèn thay thế một phần cho thép mangan nhập ngoại. Qua gần 40 năm phát triển, ở những nhà máy cơ khí, công suất thiết bị nấu luyện và chủng loại sản phẩm thép hợp kim được tăng lên và mở rộng. Những sản phẩm trên đã góp phần khôi phục và phát triển kinh tế. Song việc sản xuất còn mang tính tự cung tự cấp trong từng ngành, từng cơ sở, và theo những yêu cầu riêng của từng thời kì, ít khi sản xuất được hàng loạt mang tính hàng hóa lâu dài [27–29].

Có một số công trình nghiên cứu về họ thép Mn này điển hình như sau:

Nghiên cứu của PGS.TS. Phạm Mai Khánh về Nâng cao chất lượng búa đập từ thép Mn cao và luận án TS của Nguyễn Dương Nam về vấn đề này nhưng mới chỉ dừng ở thép Mn cao chưa đề cập đến họ thép Mn thấp [5,30].

Nghiên cứu luyện và xử lý nhiệt một số mác thép độ bền cao tiên tiến. Tác giả Đinh Bá Trụ và cộng sự đăng trên Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam số 8B, năm 2019. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu về công nghệ luyện và tạo phôi một số mác thép độ bền cao tiên tiến (AHSS) lần đầu tiên tại Việt Nam từ sắt xốp (DRI) MIREX. Sắt xốp, sản phẩm của công nghệ hoàn nguyên trực tiếp phi cốc, có hàm lượng C thấp, P và S rất thấp, chưa được sử dụng rộng rãi tại Việt Nam do chưa có công nghệ chuyên dụng. Nghiên cứu này bước đầu giải quyết về công nghệ sử dụng sắt xốp luyện thành thép cácbon và hợp kim trong lò cảm ứng dung lượng đến 10 tấn. Đồng thời, một số phôi thép AHSS được luyện từ sắt xốp, có tính chất cơ học đặc biệt như thép S10C, DP800, TRIP800, CrMnSi và được nghiên cứu tích hợp các công nghệ như luyện và tinh luyện thép, biến dạng và xử lý nhiệt cho nhóm thép CMnSi (thép HSLA). Thép được sản xuất có tính chất cơ học tốt, vừa có độ bền cao vừa có tính dẻo tốt, hơn hẳn tính năng thép HSLA. Trong đó, mác thép dập sâu S10C-M đã được thử nghiệm ở hai nhà máy quân đội và được đánh giá đạt yêu cầu kỹ thuật.

Nghiên cứu chế tạo thép 25MnV làm xích kéo trong các hầm lò khai thác than. Do Viện luyện kim đen chủ trì, ThS. Lê Quang Hiếu chủ nhiệm, nghiệm thu năm 2007. Nội dung nghiên cứu: Tổng quan về thép hợp kim thấp và thép làm xích kéo mác 25MnV. Giới thiệu quy trình công nghệ sản xuất thép hợp kim mác 25MnV. Kiểm tra một số tính chất vật liệu như: thành phần hoá học, tính chất cơ lý, tổ chức tế vi...Chế tạo sản phẩm xích vòng và dùng thử để đánh giá chất lượng.

Đề tài nghiên cứu cấp trường của Nguyễn Dương Nam ở Trường Đại học Hàng hải Việt Nam về nghiên cứu vai trò của các nguyên tố hợp kim và chế độ xử lý nhiệt cho thép Mn thấp là tiền đề mở đầu cho việc đưa ra bộ quy trình công nghệ cho nhóm thép Mn thấp này. Ảnh hưởng biến tính và xử lý nhiệt độ đến tổ chức và cơ tính của thép đúc hợp kim thấp. Tác giả Nguyễn Dương Nam, đăng trên Tạp chí Khoa học công nghệ Hàng Hải, số 66 (4/2021). Bài báo trình bày những kết quả nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời Al và Ti kết hợp với quá trình xử lý nhiệt phù hợp đến tổ chức và cơ tính của thép đúc hợp kim thấp. Khi thực hiện biến tính thép đồng thời bằng Al và Ti kết hợp với chế độ xử lý nhiệt nung mẫu lên $650^0$C giữ nhiệt trong 02 giờ sau đó tiếp tục nung đến $920^0$C giữ nhiệt 03 giờ nguội nhanh trong nước; sau đó mẫu được ram ở $250^0$C trong 06 giờ cho giá trị độ dai va đập cao nhất là 57,5 J/cm$^2$ và giá trị độ cứng thu được là 50 HRC. Cấu trúc tổ chức được chỉ ra là tổ chức Bainite kết hợp với austenite dư; giá trị độ hạt tốt nhất là đạt độ hạt cấp 4. Những nghiên cứu ban đầu của chính tác giả đã đưa ra được những nhận định về sự thay đổi cơ tính của thép Mn thấp nghiên cứu. Tuy nhiên, nghiên cứu ban đầu này mới chỉ ra được xu thế có thể tăng cơ tính của thép Mn thấp nhưng chưa xây dựng được bộ quy trình hoàn thiện từ quy trình nấu luyện, quy trình đúc; quy trình xử lý nhiệt với các thông số tối ưu cho thép nghiên cứu làm việc trong điều kiện chịu mài mòn.

### 1.3.3 Tình hình nghiên cứu tại Hải Phòng

Hiện chưa có nhiệm vụ KH&CN cấp thành phố nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ và chế tạo một số chi tiết từ thép Mn thấp làm việc trong điều kiện chịu mài mòn. Tại trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã có một số nghiên cứu khoa học cấp trường liên quan như:

- *Nghiên cứu vai trò của các nguyên tố hợp kim và chế độ xử lý nhiệt đến tổ chức và cơ tính của thép Mn thấp phục vụ chế tạo chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn,* do Nguyễn Dương Nam làm chủ nhiệm, thực hiện năm 2021.

- *Nghiên cứu quá trình chuyển biến pha trong thép Mn thấp khi được xử lý cơ nhiệt,* do Nguyễn Dương Nam làm chủ nhiệm, thực hiện năm 2020.

Những nghiên cứu về thép Mn thấp là chưa được triển khai tại Hải Phòng ngoài những nghiên cứu bước đầu của tác giả và nhóm tác giả về hệ thép này. Ngay trong các nghiên cứu của chính tác giả cũng chưa có nghiên cứu hoàn thiện công nghệ về nhóm thép này để chế tạo chi tiết chịu mài mòn điển hình.

***Từ những tham khảo về tình hình nghiên cứu của chính nhóm tác giả cũng như của các tác giả khác cho thấy chưa có những nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ hoàn chỉnh để chế tạo chi tiết chịu mài mòn từ thép Mn thấp. Do vậy, vấn đề đặt ra của đề tài là thiết thực trong điều kiện hiện nay.***

## 1.4. Tổng quan về cơ chế hóa bền thép Mn thấp

Cơ chế hóa bền thép bằng chuyển biến mactenxit (hay còn gọi là cơ chế Bainite) là một quá trình quan trọng trong việc cải thiện tính chất cơ học của thép. Trong quá trình này, cấu trúc tinh thể của thép được biến đổi từ cấu trúc austenit (cấu trúc tinh

thể của thép ở nhiệt độ cao) sang cấu trúc bainit (cấu trúc tinh thể của thép ở nhiệt độ thấp hơn).

Quá trình chuyển biến mactenxit thường xảy ra khi thép được làm nguội từ nhiệt độ austenit (thường là từ khoảng 550°C-750°C) xuống nhiệt độ thấp hơn. Quá trình này thường điều chỉnh bằng cách tạo ra một môi trường làm nguội đồng thời duy trì áp lực, thường được thực hiện trong các quá trình làm nguội nhanh như tôi luyện hoặc tôi luyện giải nhiệt.

Kết quả của quá trình này là cấu trúc bainit, một cấu trúc tinh thể gồm các hạt kim loại nhỏ và pha cacbon. Cấu trúc này có thể cải thiện đáng kể tính chất cơ học của thép, bao gồm độ bền cao, độ dẻo dai và khả năng chịu va đập tốt hơn so với các cấu trúc khác như Peclit hay Ferrite. Điều này làm cho thép được hóa bền thông qua quá trình chuyển biến mactenxit trở nên hữu ích trong nhiều ứng dụng công nghiệp khác nhau [31–35].

Dưới đây là một số yếu tố chính liên quan đến cơ chế hóa bền của thép mangan thấp:

Cấu trúc tinh thể: Cấu trúc tinh thể của thép mangan thấp có thể bao gồm các hạt cacbit mangan và sự phân tán của các nguyên tố hợp kim khác như Silic, lưu huỳnh. Các hạt cacbit giúp cản trở sự di chuyển của biên tinh thể và cải thiện độ cứng và độ bền của thép.

Tương tác giữa mangan và cacbon: Sự hiện diện của mangan có thể giảm khả năng hình thành cacbit cacbon, do đó giảm lượng cacbon tan rã ra trong dạng cacbonitrit (nitrogen và cacbon) thay vì dạng cacbit. Điều này có thể cải thiện độ dẻo và tính co ngót của thép.

Quá trình tinh luyện: Quá trình nung chảy và làm nguội kiểm soát trong quá trình sản xuất thép mangan thấp cũng ảnh hưởng đến cấu trúc tinh thể và các tính chất cơ học của thép. Quá trình này có thể bao gồm làm lạnh kiểm soát, giúp định hình cấu trúc tinh thể và làm tăng độ đồng đều của các hợp kim.

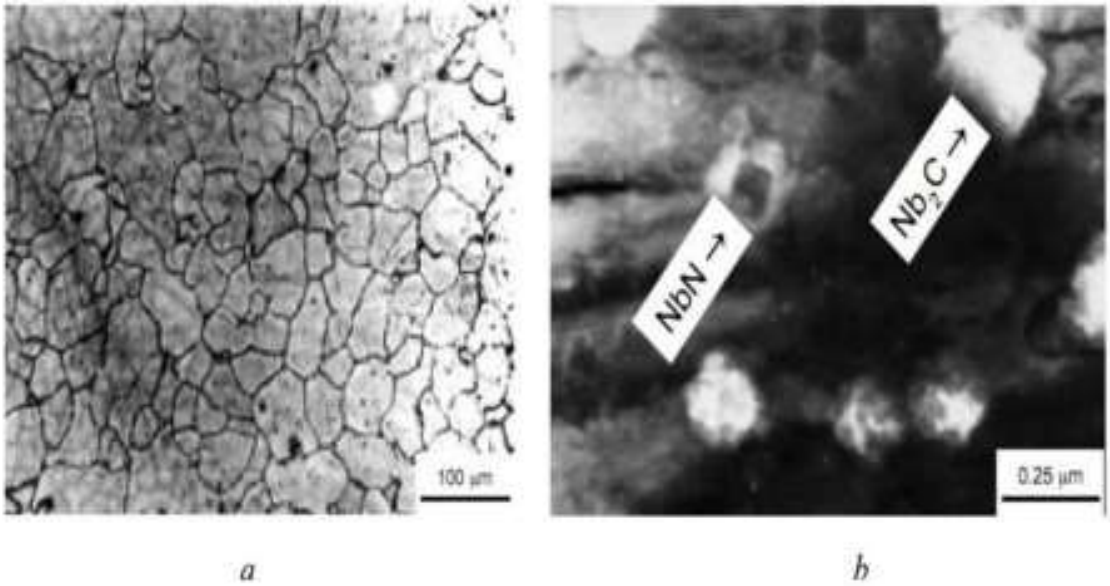
Xử lý nhiệt: Các quá trình xử lý nhiệt như rèn, cán nóng, cán nguội, và nung nóng kiểm soát có thể được sử dụng để điều chỉnh cấu trúc tinh thể và đặc tính cơ học của thép mangan thấp. Việc này giúp cải thiện tính chất cơ học như độ dẻo, độ cứng, và độ bền của thép.

Hợp kim khác: Ngoài mangan và cacbon, sự hiện diện của các nguyên tố hợp kim khác như silic, photpho, và lưu huỳnh cũng có thể ảnh hưởng đến cấu trúc và tính chất của thép.

## 1.5. Ảnh hưởng của cacbit

Sự xuất hiện của cacbit trong thép mangan thấp có thể ảnh hưởng đến tổ chức của nó, đặc biệt là về cấu trúc tinh thể và tính chất cơ học. Các nghiên cứu mới nhất chỉ ra rằng nếu trong tổ chức có cacbit thì khả năng chống mài mòn tăng, độ cứng và tuổi thọ cũng tăng. Cacbit chỉ gây ra giòn khi tập trung ở biên giới hạt. Nếu bằng quá trình nhiệt luyện, thay đổi sự phân bố cacbit đều trong hạt thì tính chống mài mòn của

thép tăng lên nhiều và tuổi thọ của chi tiết cũng tăng theo. Cacbit được tạo thành từ quá trình hợp kim hóa các nguyên tố tạo cacbit như Cr, Mn, V,…Với mỗi loại cacbit khác nhau thì cho độ cứng khác nhau.




*Hình 1. 1: Tổ chức tế vi sau biến tính và có xử lý nhiệt (a); phân bố cacbit trên ảnh tổ chức (b)*

Cacbit có độ cứng cao, modul đàn hồi cao, có nhiệt độ nóng chảy và có tính giòn cao. Cacbit mang đặc tính của kim loại, có độ dẫn nhiệt cao. Độ dẫn điện giảm khi giảm nhiệt độ. Khi tạo thành cacbit, các điện tử cacbon điền vào lớp vỏ 3d của nguyên tử kim loại làm cho cacbit có đặc tính như kim loại.

Nhiệt độ nóng chảy cao và độ cứng cao là những đặc tính quan trọng của cacbit. Điều đó có được do cacbit được tạo thành bởi lực liên kết đồng hóa trị mạnh từ một điện tử lớp p của nguyên tử cacbon và một nguyên tử lớp d của nguyên tử kim loại. Chỗ trống không được lấp đầy ở lớp vỏ d càng nhiều thì liên kết đồng hóa trị càng mạnh, điểm chảy và độ cứng càng cao.

*Bảng 1. 5: Các thông số đặc trưng của cacbit*

| **Cacbit** | **Loại mạng** | **Thông số mạng** | **Điểm chảy $^{o}$C** | **Độ cứng HV** |
|---|---|---|---|---|
| Fe3C | Hình thoi | a = 0,4514<br>b = 0,5087<br>c = 0,6728 | 1650 | 860 |
| Cr7C3 | Lục giác | a = 0,688<br>b = 0,454 | 1780 | 2100 |
| Cr23C3 | Đa lập phương | a = 1,064 | 1520 | 1650 |
| Mo2C | Lập phương | a = 0,30<br>c/a = 0,158 | 2600 | 1500 |

| Cacbit | Loại mạng | Thông số mạng | Điểm chảy $^{o}C$ | Độ cứng HV |
|---|---|---|---|---|
| W2C | Lập phương | a = 0,298<br>c/a = 0,178 | 2750 | 2060 |
| WC | BCC | a = 0,2901 | 2867 | 2400 |
| VC | FCC | a = 0,4130 | 2830 | 2800 |
| NbC | FCC | a = 0,4458 | 3500 | 2400 |
| TiC | FCC | a = 0,432 | 3150 | 3200 |
| ZrC | FCC | a = 0,4687 | 3530 | 2890 |

Nếu một cacbit hòa tan một nguyên tố khác thì độ cứng của chúng sẽ thay đổi. Từ đó cho thấy cacbit là thành phần quan trọng tạo nên độ cứng cho vật liệu. Các tổ chức cacbit phân bố đều trên nền sẽ tăng độ cứng, từ đó tăng chống mài mòn cho chi tiết. Từ bảng các thông số đặc trưng của cacbit, ta thấy rằng cacbit VC có kiểu mạng FCC trùng với kiểu mạng của austenit. Hơn nữa, giá trị độ cứng khá cao nên có khả năng phân tán trong nền austenit góp phần tăng độ cứng cho nền. Tuy nhiên, việc cacbit phân tán như thế nào còn phụ thuộc vào quy trình hợp kim hóa và quá trình xử lý nhiệt cụ thể. Tùy vào yêu cầu làm việc mà tạo cacbit và pha nền tương ứng [36–40].

Dưới đây là một số ảnh hưởng chính của cacbit đối với tổ chức của thép mangan thấp:

Cấu trúc tinh thể: Cacbit thường tạo ra cấu trúc tinh thể phức tạp trong thép mangan thấp. Kích thước, hình dạng và phân bố của các hạt cacbit có thể ảnh hưởng đến cấu trúc tinh thể và tính chất của thép.

Độ cứng và độ dẻo: Cacbit thường làm tăng độ cứng của thép, đặc biệt là khi chúng hình thành các hạt có kích thước lớn. Tuy nhiên, đối với các cacbit nhỏ, chúng có thể tạo ra các điểm tương đối mềm trong cấu trúc, có thể ảnh hưởng đến độ cứng tổng thể.

Khả năng chống mài mòn: Các cacbit có thể cung cấp khả năng chống mài mòn cho thép mangan thấp. Cấu trúc cacbit có thể làm tăng sự chịu mài mòn của vật liệu, đặc biệt là khi chúng tiếp xúc với các điều kiện môi trường khắc nghiệt.

Ảnh hưởng đến quá trình biến dạng: Cacbit có thể tương tác với quá trình biến dạng, có thể cản trở sự di chuyển của biên và quá trình trượt tinh thể. Điều này có thể ảnh hưởng đến tính chất cơ học tổng thể của thép.

Khả năng hàn và xử lý nhiệt: Cacbit có thể ảnh hưởng đến khả năng hàn và xử lý nhiệt của thép. Việc kiểm soát sự hình thành và phân bố của cacbit có thể làm tăng khả năng kiểm soát các quá trình này.

Ảnh hưởng đến tính chất cơ học đặc biệt: Cacbit có thể làm thay đổi các tính chất cơ học đặc biệt của thép, chẳng hạn như độ bền, độ cứng, và tính chất chống mài mòn.

***Từ những phân tích trên cho thấy cacbit là thành phần quan trọng tạo nên độ cứng cho vật liệu. Các tổ chức cacbit phân bố đều trên nền sẽ tăng độ cứng từ đó sẽ tăng khả năng chống mài mòn cho chi tiết. Tuy nhiên, việc cacbit phân tán như thế nào sẽ phụ thuộc vào quy trình hợp kim hóa và chế độ nhiệt luyện cụ thể.***

## 1.6. Kết luận chương

Thép hợp kim mangan thấp có thể kết hợp tương đối tốt độ bền, độ cứng, độ dai va đập và khả năng chống mài mòn, phù hợp chế tạo răng gầu và các chi tiết chịu mài mòn–va đập. Tính chất thép phụ thuộc chặt chẽ vào thành phần Mn, Cr, Mo, Si, Ti, sự hình thành và phân bố cacbit, phương pháp biến tính và chế độ nhiệt luyện. Hiện còn thiếu các nghiên cứu đồng bộ về nấu luyện, đúc và xử lý nhiệt thép Mn thấp trong điều kiện sản xuất tại Việt Nam; vì vậy cần xác định thành phần và thông số công nghệ phù hợp để xây dựng quy trình hoàn chỉnh. ***Vì vậy, cần tiếp tục nghiên cứu xác định thành phần vật liệu và các thông số công nghệ phù hợp, làm cơ sở xây dựng, hoàn thiện quy trình chế tạo thép mangan thấp có độ cứng, độ dai và khả năng chống mài mòn đáp ứng yêu cầu làm việc thực tế.***

# CHƯƠNG 2. PHẠM VI, ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

## 2.1. Về đối tượng, phạm vi nghiên cứu và địa điểm thực hiện

### 2.1.1. Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu của đề tài tập trung vào xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép Mn thấp làm việc trong điều kiện chịu mài mòn. Thành phần nghiên cứu của mẫu thép được thể hiện ở bảng sau:

*Bảng 2. 1. Thành phần hóa học của mẫu nghiên cứu*

| Mẫu | C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | Al | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **M0** | 0.255 | 0.887 | 1.631 | 1.676 | 0.251 | 0.040 | 0.053 | - |
| **M1** | 0.282 | 0.883 | 1.433 | 1.602 | 0.218 | 0.369 | 0.211 | - |
| **M2** | 0.249 | 0.869 | 1.479 | 1.579 | 0.219 | 0.365 | 0.192 | 0.151 |

Cụ thể đề tài tập trung vào một số vấn đề sau:

- Nghiên cứu tổng quan

Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp

Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mn thấp

Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá và hoàn thiện quy trình công nghệ

Thử nghiệm sản phẩm răng gầu và đánh giá hiệu quả, xây dựng báo cáo kinh tế kỹ thuật

Sản phẩm chế thử hướng tới có dạng như sau



*Hình 2. 1: Sản phẩm răng gầu xuất khẩu*

- Khối lượng sản phẩm: 24 kg
- Chiều dày dày nhất của sản phẩm: 40 mm

### 2.1.2. Phạm vi nghiên cứu và địa điểm thực hiện

Phạm vi nghiên cứu:

Phạm vi thời gian: trong thời gian nghiên cứu của đề tài

Phạm vi không gian: Đề tài được triển khai nghiên cứu tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Phạm vi nội dung:

Từ những vấn đề tổng quát ở trên đề tài tiến hành tập trung nghiên cứu một số vấn đề chính sau:

- Nghiên cứu tổng quan

Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp

Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mn thấp

Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá và hoàn thiện quy trình công nghệ

Thử nghiệm sản phẩm răng gầu và đánh giá hiệu quả, xây dựng báo cáo kinh tế kỹ thuật

Các nội dung nghiên cứu chính của đề tài tập trung vào việc nghiên cứu đưa ra được quy trình công nghệ chế tạo thép Mn thấp áp dụng cho một số chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn.

Cơ sở vật chất, thiết bị có sẵn của trường Đại học Hàng Hải Việt Nam: Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam có trung tâm thực hành cơ khí có thể đáp ứng được một số các nhu cầu cần thiết trong quá trình triển khai nội dung đề tài bao gồm một số thiết bị gia công chế tạo, thiết bị nấu luyện, xử lý nhiệt.

Cơ sở phối hợp thực hiện sẽ thực hiện mua sắm một số nguyên vật liệu phục vụ cho quá trình thử nghiệm trên một số sản phẩm và phần thuê một số thiết bị để chế tạo mẫu thử nghiệm.

Để thực hiện triển khai đề tài, trong nghiên cứu cần mua sắm, thuê khoán cụ thể bao gồm các mẫu thép, mẫu nhôm, mẫu đất hiếm, …

### 2.1.3. Tính mới, tính sáng tạo và hiệu quả của nhiệm vụ

Với quan điểm nghiên cứu công nghệ chế tạo và nâng cao chất lượng của thép Mn thấp làm việc trong điều kiện chịu mài mòn đề tài thực hiện một số ý tưởng như sau:

Đề tài tiến hành phân tích và đưa ra đặc điểm điều kiện làm việc của chi tiết chịu mài mòn từ đó đưa ra được cơ chế hóa bền của nhóm thép Mn thấp.

Thông qua cơ sở lý thuyết đề tài sẽ xây dựng được bộ quy trình công nghệ hoàn chỉnh từ hợp kim hóa, đúc và xử lý nhiệt để nâng cao chất lượng cho nhóm thép này. Tiến hành thực nghiệm để nghiên cứu chế tạo ra được mác thép có đặc tính làm việc phù hợp. Hoàn thiện các quy trình công nghệ để chế tạo mác thép này

Ngoài ra, bằng quy hoạch thực nghiệm đề tài sẽ tối ưu hóa được quy trình công nghệ cho mác thép nghiên cứu và sản phẩm thử nghiệm.

Đề tài được kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, có sử dụng các phương pháp thí nghiệm, phân tích hiện đại để đảm bảo đạt kết quả chính xác và độ tin cậy cao.

**Định hướng mở rộng kết quả nghiên cứu sang vật liệu đường ray tốc độ cao**

Về tính mới, giá trị mở rộng của nhiệm vụ nằm ở việc xây dựng cơ sở công nghệ trong nước cho hệ thép Mn thấp có thành phần và tổ chức được kiểm soát, từ đó đề xuất hướng nghiên cứu vật liệu chịu tiếp xúc lăn–trượt trong đường sắt. Hướng này kế thừa kiến thức về nấu luyện, hợp kim hóa, làm nhỏ tổ chức và xử lý nhiệt của đề tài. Không xem việc sử dụng thép mangan thấp trong đường sắt là phát hiện mới, vì thép ray C–Mn và các thép bainit đối chiếu đã được công bố [41–44].

Về tính sáng tạo, có thể phát triển chương trình tối ưu đồng thời thành phần C–Mn–Si–Cr–Mo, tổ chức sau nhiệt luyện và phản ứng của vật liệu dưới tải tiếp xúc. M0 được sử dụng làm thành phần xuất phát để khảo sát; lựa chọn mác đối chứng R260 hoặc R350HT phải phù hợp với điều kiện thử và mục tiêu ứng dụng. Cần đánh giá tương quan giữa mài mòn, biến dạng dẻo và khởi tạo nứt, thay vì chỉ tối đa hóa độ cứng. Đối với ray tốc độ cao, định hướng vật liệu phải đồng thời xem xét chất lượng mối hàn, độ ổn định bề mặt lăn và khả năng duy trì hình học của ray [42,43].

Để chuyển từ định hướng sang khả năng ứng dụng, đề xuất ba bước nghiên cứu tiếp theo: sàng lọc thành phần và chế độ nhiệt luyện bằng mẫu phòng thí nghiệm; chế tạo phôi và đoạn ray thử theo quy trình tạo hình phù hợp, kiểm tra tổ chức, độ sạch kim loại, khuyết tật, ứng suất dư và mối hàn; sau đó thử trên thiết bị mô phỏng tiếp xúc bánh xe–ray và triển khai thử tuyến có kiểm soát theo yêu cầu của đơn vị quản lý hạ tầng. Bộ phép thử cần bao gồm kéo, độ cứng, độ dai, mỏi tiếp xúc lăn và phát triển vết nứt. Kết quả thử răng gầu không thay thế các bước xác nhận này.

Về hiệu quả dự kiến, hướng nghiên cứu có thể mở rộng năng lực thiết kế hợp kim, kiểm soát chất lượng và chế tạo vật liệu đường sắt trong nước. Hiệu quả kinh tế cần được đánh giá theo vòng đời, bao gồm chế tạo, hàn nối, mài sửa, kiểm tra và thay ray, trên cơ sở số liệu thử nghiệm thực tế. Trong phạm vi nhiệm vụ hiện tại, sản phẩm đã nghiên cứu và thử nghiệm vẫn là răng gầu; nội dung đường ray tốc độ cao là định hướng phát triển tiếp theo, chưa phải kết quả chế tạo hoặc chứng nhận khả năng khai thác của mác M0.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu và kỹ thuật sử dụng

Để giải quyết triệt để các nội dung đặt ra, đề tài sử dụng kết hợp hệ thống đa phương pháp bao gồm: nghiên cứu lý thuyết, phương pháp mô phỏng, phương pháp thực nghiệm và phương pháp kế thừa.

### 2.2.1. Phương pháp và kỹ thuật cho từng nội dung nghiên cứu

***Nội dung 1: Nghiên cứu tổng quan***

*Phương pháp nghiên cứu:* Để đạt được các nội dung trong báo cáo trên; nhóm đề tài sử dụng phương pháp thu thập dữ liệu; phương pháp phân tích, đánh giá và

tổng hợp và phương pháp nghiên cứu lý thuyết. Từ việc sử dụng tổng hợp các phương pháp phân tích để tổng hợp được báo cáo nghiên cứu.

***Nội dung 2: Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp***

*Phương pháp nghiên cứu:* Để triển khai được các công việc đã đề ra của nội dung, nhóm đề tài sử dụng các phương pháp nghiên cứu:

Tổng hợp, phân tích đánh giá các tài liệu liên quan đến ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim chính và đất hiếm đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp.

Thực nghiệm phân tích đánh giá về ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim chính như Mn, Cr đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp. Các phân tích này cần có nghiên cứu riêng rẽ về ảnh hưởng của các nguyên tố cũng như ảnh hưởng tổng hợp của các nguyên tố. Các thực nghiệm này cần sử dụng phương pháp phân tích đánh giá về tổ chức như: hiển vi quang học; hiển vi điện tử; phân tích X-ray để đánh giá. Đối với đánh giá về cơ tính cần sử dụng các thiết bị thử bền; thử kéo; độ cứng để phân tích đánh giá các chỉ tiêu cơ tính. Đối với nhóm phương pháp về ảnh hưởng của mỗi nguyên tố cần sử dụng tối thiểu là 05 mẫu như vậy cần 10 mẫu cho nhóm này để đảm bảo tính lặp lại. Để đảm bảo chính xác mỗi mẻ nấu cần có khối lượng tối thiểu 05kg.

Thực nghiệm phân tích đánh giá về ảnh hưởng của đất hiếm đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp. Đất hiếm dự kiến sử dụng là đất hiếm Việt Nam. Các thực nghiệm này cần sử dụng phương pháp phân tích đánh giá về tổ chức như: hiển vi quang học; hiển vi điện tử; phân tích X-ray để đánh giá. Đối với đánh giá về cơ tính cần sử dụng các thiết bị thử bền; thử kéo; độ cứng để phân tích đánh giá các chỉ tiêu cơ tính. Đối với nhóm phương pháp cần sử dụng tối thiểu 05 mẻ nấu cho mỗi phương pháp biến tính. Dự kiến có 02 phương pháp biến tính nên cần 10 mẻ nấu để phân tích đánh giá. Mỗi mẻ nấu tối thiểu 05kg để đảm bảo chất lượng mẫu nấu.

Trong báo cáo sử dụng phương pháp phân tích tổng hợp lý thuyết và thực nghiệm để chỉ ra được vai trò của nguyên tố hợp kim chính và đất hiếm đến quá trình đúc.

***Nội dung 3: Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mn thấp***

*Phương pháp nghiên cứu* Để triển khai được các công việc đã đề ra của nội dung, nhóm đề tài sử dụng các phương pháp nghiên cứu:

Tổng hợp, phân tích đánh giá các tài liệu liên quan xây dựng bộ quy trình công nghệ nấu luyện và đúc thép Mn thấp.

Thực nghiệm phân tích đánh giá về việc xây dựng bộ quy trình công nghệ nấu luyện và đúc thép Mn thấp. Các thực nghiệm này cần sử dụng phương pháp phân tích đánh giá về tổ chức như: hiển vi quang học; hiển vi điện tử; phân tích X-ray để đánh giá. Đối với đánh giá về cơ tính cần sử dụng các thiết bị thử bền; thử kéo; độ cứng để phân tích đánh giá các chỉ tiêu cơ tính. Để minh chứng cho xây dựng bộ quy trình

công nghệ nấu luyện và đúc thép Mn thấp cần sử dụng tối thiểu là 05 mẫu như vậy cần 10 mẫu cho nhóm này để đảm bảo tính lặp lại. Để đảm bảo chính xác mỗi mẻ nấu cần có khối lượng tối thiểu 05kg.

Thực nghiệm phân tích đánh giá về việc xây dựng bộ quy trình công nghệ nấu luyện và đúc thép Mn thấp đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp. Các thực nghiệm này cần sử dụng phương pháp phân tích đánh giá về tổ chức như: hiển vi quang học; hiển vi điện tử; phân tích X-ray để đánh giá. Đối với đánh giá về cơ tính cần sử dụng các thiết bị thử bền; thử kéo; độ cứng để phân tích đánh giá các chỉ tiêu cơ tính. Dự kiến cần khoảng 10 mẻ đúc thép Mn thấp

Trong báo cáo sử dụng phương pháp phân tích tổng hợp lý thuyết và thực nghiệm để chỉ ra được vai trò của các thông số công nghệ đúc thép Mn thấp

***Nội dung 4. Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá và hoàn thiện quy trình công nghệ***

*Phương pháp nghiên cứu* Để triển khai được các công việc đã đề ra của nội dung, nhóm đề tài sử dụng các phương pháp nghiên cứu:

Tổng hợp, phân tích đánh giá các tài liệu liên quan xây dựng, tính toán quy trình công nghệ đúc cho sản phẩm cụ thể. Sản phẩm hướng tới là răng gầu xuất khẩu

Thực nghiệm phân tích đánh giá về việc xây dựng bộ quy trình công nghệ đúc cho sản phẩm răng gầu. Các thực nghiệm này cần sử dụng phương pháp phân tích đánh giá về tổ chức như: hiển vi quang học; hiển vi điện tử; phân tích X-ray để đánh giá. Đối với đánh giá về cơ tính cần sử dụng các thiết bị thử bền; thử kéo; độ cứng để phân tích đánh giá các chỉ tiêu cơ tính. Để minh chứng cho xây dựng bộ công nghệ đúc cho sản phẩm răng gầu cần sử dụng tối thiểu là 10 mẫu cho nhóm này để đảm bảo tính lặp lại. Khối lượng theo kết quả tính toán cho sản phẩm răng gầu

Thực nghiệm phân tích đánh giá về việc xây dựng bộ quy trình công nghệ đúc cho sản phẩm răng gầu đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp. Các thực nghiệm này cần sử dụng phương pháp phân tích đánh giá về tổ chức như: hiển vi quang học; hiển vi điện tử; phân tích X-ray để đánh giá. Đối với đánh giá về cơ tính cần sử dụng các thiết bị thử bền; thử kéo; độ cứng để phân tích đánh giá các chỉ tiêu cơ tính. Dự kiến cần khoảng 10 mẻ công nghệ đúc cho sản phẩm răng gầu; khối lượng theo kết quả tính toán thiết kế

Trong báo cáo sử dụng phương pháp phân tích tổng hợp lý thuyết và thực nghiệm để chỉ ra được vai trò của các thông số công nghệ đúc cho sản phẩm răng gầu

***Nội dung 5. Thử nghiệm sản phẩm răng gầu và đánh giá hiệu quả, xây dựng báo cáo kinh tế kỹ thuật***

*Phương pháp nghiên cứu* Để triển khai được các công việc đã đề ra của nội dung, nhóm đề tài sử dụng các phương pháp nghiên cứu:

Phân tích các kết quả quy trình công nghệ chế tạo sản phẩm răng gầu

Thực nghiệm phân tích đánh giá về việc xây dựng bộ quy trình công nghệ chế tạo sản phẩm răng gầu. Đối với đánh giá về cơ tính cần sử dụng các thiết bị thử bền;

thử kéo; độ cứng để phân tích đánh giá các chỉ tiêu cơ tính và phân tích siêu âm để đánh giá chất lượng răng gầu. Để minh chứng 10 bộ sản phẩm để đảm bảo tính lặp lại.

Trong báo cáo sử dụng phương pháp phân tích tổng hợp lý thuyết và thực nghiệm để chỉ ra được vai trò của các thông số công nghệ chế tạo cho sản phẩm răng gầu.

### 2.2.2. Luận cứ lựa chọn và tính độc đáo của phương pháp/kỹ thuật

***1. Nội dung 1: Nghiên cứu tổng quan***

Các phương pháp lựa chọn: Thu thập dữ liệu; phân tích, đánh giá và tổng hợp; nghiên cứu lý thuyết.

Luận cứ lựa chọn:

Cơ sở khoa học: Nghiên cứu tổng quan là bước nền tảng để xác định "khoảng trống nghiên cứu" (research gap), kế thừa các thành tựu lý thuyết và công nghệ đã có về thép hợp kim Mn thấp trên thế giới và tại Việt Nam.

Tính định hướng: Việc phân tích và tổng hợp tài liệu giúp đề tài định hình đúng các thông số công nghệ cần khảo sát, tránh trùng lặp công việc và tối ưu hóa chi phí thực nghiệm ở các giai đoạn sau.

***2. Nội dung 2: Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp***

Các phương pháp lựa chọn: Tổng hợp tài liệu; Thực nghiệm phân tích tổ chức (hiển vi quang học, hiển vi điện tử, nhiễu xạ tia X - XRD); Phân tích cơ tính (thử kéo, thử bền, đo độ cứng); Thiết kế thực nghiệm với số lượng mẫu/mẻ nấu cụ thể (mỗi mẻ $\geq$ 5kg; 10 mẫu cho nhóm hợp kim chính, 10 mẻ nấu cho đất hiếm).

Luận cứ lựa chọn:

Đánh giá đa chiều mối quan hệ "Thành phần – Tổ chức – Tính chất":

*Kính hiển vi quang học (OM)* cho cái nhìn tổng quan về kích thước hạt và các pha chính.

*Kính hiển vi điện tử (SEM/TEM)* và *Nhiễu xạ X-ray (XRD)* giúp quan sát sâu ở mức vi mô, xác định chính xác sự phân bố của các nguyên tố hợp kim (Mn, Cr), cơ chế biến tính của đất hiếm Việt Nam và sự xuất hiện/biến đổi của các pha gia cường hay tạp chất phi kim.

*Phân tích cơ tính (thử kéo, độ cứng, độ bền)* giúp kiểm chứng trực tiếp sự cải thiện chất lượng thép thu được.

Đảm bảo tính đại diện và độ lặp lại: Quy định dung tích mẻ nấu tối thiểu 5kg để đảm bảo điều kiện kết tinh và đông đặc phản ánh đúng bản chất công nghệ đúc (tránh sai số do hiệu ứng kích thước mẫu quá nhỏ). Số lượng 05 mẫu/mẻ cho mỗi điều kiện khảo sát (tổng 10 mẫu/mẻ) đảm bảo độ tin cậy về mặt thống kê.

Tính thực tiễn: Sử dụng đất hiếm Việt Nam đòi hỏi khảo sát riêng 02 phương pháp biến tính để tìm ra quy trình tối ưu hóa nguồn nguyên liệu nội địa.

***3. Nội dung 3: Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mn thấp***

Các phương pháp lựa chọn: Nghiên cứu tài liệu công nghệ; Thực nghiệm đúc và nấu luyện (10 mẻ đúc, 10 mẫu kiểm tra tổ chức và cơ tính, mẻ nấu ≥ 5kg); Phân tích tổng hợp lý thuyết và thực nghiệm.

Luận cứ lựa chọn:

Chuyển hóa từ thông số thành quy trình: Nếu Nội dung 2 xác định *thành phần/nguyên lý*, thì Nội dung 3 cần xác định *quy trình vận hành* (chế độ nấu luyện, nhiệt độ rót, tốc độ làm nguội, chế độ biến tính...).

Tối ưu hóa thông số đúc: Khảo sát 10 mẻ đúc giúp đánh giá tính ổn định của quy trình, từ đó rút ra mối quan hệ giữa thông số đúc và khuyết tật/tổ chức đúc.

Tính thống kê và độ tin cậy: Việc lặp lại thực nghiệm trên 10 mẫu/mẻ nấu giúp chuẩn hóa các bước công nghệ, làm cơ sở để xây dựng bộ quy trình chuẩn (SOP) trước khi đưa vào sản xuất thử nghiệm sản phẩm thực.

***4. Nội dung 4: Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá và hoàn thiện quy trình công nghệ***

Các phương pháp lựa chọn: Tính toán thiết kế công nghệ đúc cho sản phẩm cụ thể (răng gầu xuất khẩu); Phân tích thực nghiệm tổ chức & cơ tính trên sản phẩm thực; Thực nghiệm đúc thử nghiệm (10 mẻ công nghệ, 10 mẫu đại diện).

Luận cứ lựa chọn:

Tính ứng dụng và mục tiêu thương mại: Răng gầu xuất khẩu là sản phẩm chịu tải trọng động, va đập và mài mòn cao, có hình dạng hình học phức tạp. Việc chọn sản phẩm này giúp kiểm chứng toàn diện quy trình công nghệ trong điều kiện sản xuất thực tế.

Kiểm soát khuyết tật sản phẩm phức tạp: Khác với mẫu đúc phòng thí nghiệm, sản phẩm răng gầu cần tính toán thiết kế hệ thống rót, đậu ngót riêng. Số lượng 10 mẻ đúc thử nghiệm cho phép đánh giá và điều chỉnh quy trình nhằm loại bỏ các khuyết tật đúc (rỗ khí, ngót, nứt...).

***5. Nội dung 5: Thử nghiệm sản phẩm răng gầu và đánh giá hiệu quả, xây dựng báo cáo kinh tế kỹ thuật***

Các phương pháp lựa chọn: Phân tích quy trình; Kiểm tra cơ tính; Kiểm tra không phá hủy (Siêu âm - UT) trên 10 bộ sản phẩm; Phân tích tổng hợp kinh tế - kỹ thuật.

Luận cứ lựa chọn:

Đánh giá chất lượng toàn diện (Bên trong & Bên ngoài):

Bên cạnh các phép thử phá hủy (thử kéo, độ cứng) để xác định cơ tính, phương pháp siêu âm (UT) là bắt buộc đối với sản phẩm chịu lực như răng gầu nhằm phát hiện khuyết tật ẩn sâu bên trong (bọt khí, nứt ngầm, ngấu không đều) mà không làm hỏng sản phẩm.

Đánh giá độ ổn định hàng loạt: Thực nghiệm trên 10 bộ sản phẩm giúp đánh giá tỷ lệ đạt yêu cầu, tính lặp lại của dây chuyền chế tạo.

Cơ sở khoa học cho thương mại hóa: Phân tích tổng hợp kinh tế - kỹ thuật cung cấp số liệu về chi phí nguyên vật liệu, năng lượng, tỷ lệ phế phẩm... làm luận cứ vững chắc để khẳng định tính khả thi khi đưa công nghệ vào sản xuất công nghiệp.

## 2.3. Các phương pháp phân tích, kiểm tra

### 2.3.1. Nghiên cứu tổ chức tế vi

Hiển vi điện tử quét (SEM) là một loại kính hiển vi điện tử có thể tạo ra ảnh với độ phân giải cao của bề mặt mẫu cần phân tích bằng cách sử dụng một chùm điện tử hẹp quét trên bề mặt mẫu. Chùm điện tử sẽ tương tác với các nguyên tử nằm gần hoặc tại bề mặt mẫu phân tích và sinh ra các tín hiệu (bức xạ) chứa các thông tin về hình ảnh của bề mặt mẫu và các tính chất khác như tính dẫn điện. Hình dạng và cấu trúc vi mô của bã và các tinh thể Mg sản phẩm thu được sau hoàn nguyên được nghiên cứu trên thiết bị hiển vi điện tử quét phát xạ trường FESEM JEOL.JSM-7600F (**Error! Reference source not found.**) tại Viện tiên tiến Khoa học và Công nghệ - Đ ại học Bách Khoa Hà Nội.



*Hình 2. 2: Kính hiển vi điện tử quét JEOL JSM-7600F*

### 2.3.4. Phân tích thành phần hóa học mẫu

Phương pháp quang phổ tán xạ năng lượng EDS: Phương pháp này được dùng để xác định lượng nguyên tố hóa học tại một điểm hoặc một đường. Trong luận văn, EDS điểm được thực hiện nhằm xác định thành phần hóa học của các hạt hình thành trong bã phối liệu sau hoàn nguyên và các hạt tạp chất bám trên bề mặt của tinh thể Mg sản phẩm. Thiết bị phân tích được tích hợp trên máy hiển vi điện tử quét SEM JEOL.JSM-7600F tại Viện tiên tiến Khoa học và Công nghệ.

Phương pháp phân tích hóa học hay phương pháp phân tích thể tích theo TCVN 9191:2012 và ISO 16374:2016, dung dịch hòa tan là axit nitric và axit clohydric đậm đặc, các mẫu hòa tan có khối lượng từ 0.5 đến 2g, được sử dụng làm phương pháp

chính kiểm tra thành phần nguyên liệu ban đầu, đồng thời phân tích nhanh hàm lượng Mg trong sản phẩm hoàn nguyên để có định hướng cho thí nghiệm tiếp theo.

### 2.3.5. Phương pháp quang phổ phát xạ nguyên tử

Quang phổ phát xạ nguyên tử (AES) là một phương pháp phân tích hóa học sử dụng cường độ ánh sáng phát ra từ ngọn lửa, plasma, hồ quang hoặc tia lửa ở một bước sóng cụ thể để xác định số lượng của một nguyên tố trong một mẫu. Bước sóng của dải phổ nguyên tử cho phép nhận dạng nguyên tố trong khi cường độ của ánh sáng phát ra tỷ lệ thuận với lượng nguyên tố.

Phương pháp quang phổ phát xạ dùng để phân tích định tính và định lượng thành phần hóa học các nguyên tố trong hợp kim. Việc xác định chính xác lượng có của các nguyên tố hợp kim đóng vai trò quan trọng về sự có mặt của các pha và dự đoán khả năng chuyển biến pha. Phân tích quang phổ phát xạ được thực hiện trên thiết bị spectroLab LAVM11 (ESTM E415 - 17).

### 2.3.6. Phương pháp hiển vi quang học

Để xác định cấu trúc của mối hàn và các vùng ảnh hưởng nhiệt, mẫu sau hàn và xử lý nhiệt được phân tích tổ chức bằng phương pháp kim tương trên kính hiển vi quang học (Hình 2.3).

Các mẫu nghiên cứu được quan sát tổ chức tế vi trên hiển vi quang học LEICA MDS4000M (được thực hiện tại Trường Vật liệu - Đại học Bách Khoa Hà Nội) và VHX6800 (được thực hiện tại Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội). Mẫu nghiên cứu được tẩm thực bằng dung dịch 2 % HF + 6 % HNO3 + 91 % H2O.



*Hình 2. 3: Kính hiển vi quang học VHX6800*

### 2.3.7. Phương pháp phổ nguyên tố phân tán năng lượng

Phổ nguyên tố (EDX) là kỹ thuật phân tích thành phần hóa học của vật rắn dựa vào việc ghi lại phổ tia Rơnghen phát ra từ vật rắn do tương tác với các bức xạ mà chủ yếu là chùm điện từ có năng lượng cao trong các kính hiển vi điện tử.

Kết hợp EDX với SEM được sử dụng để phân tích phân bố thành phần trong mẫu. Một trong những ưu điểm của phương pháp EDX so với nhiễu xạ tia Rơn-ghen (XRD) là sử dụng chức năng ghi xung tia Rơnghen quét trên bề mặt của mẫu, qua đó có thể biết được sự phân bố tương đối của các nguyên tố có trong mẫu theo bất kì hướng nào. Việc khảo sát phân bố thành phần này thường kết hợp với chụp bề mặt mẫu (SEM) để đánh dấu vùng khảo sát. Trong đề tài đã sử dụng kính hiển vi điện tử quét JEOL JSM-7600F để phân tích nguyên tố trên phổ phân tán năng lượng (EDX) và khảo sát sự phân bố của các nguyên tố.

### 2.3.8. Phương pháp nhiễu xạ tia Rơnghen

Phương pháp nhiễu xạ tia Rơnghen (XRD) là một trong những phương pháp được sử dụng khá phổ biến để nghiên cứu vật liệu, đặc biệt là trong nghiên cứu cấu trúc tinh thể chất rắn.

Khi chiếu chùm tia Rơnghen sẽ xảy ra hiện tượng nhiễu xạ tại bề mặt tinh thể theo phương trình Vulf-Bragg.

$$2d.sin\theta = n\lambda \tag{2.1}$$

Phương trình này biểu thị mối liên hệ giữa khoảng cách giữa hai mặt phẳng nguyên tử song song (d), góc giữa chùm tia Rơnghen và mặt phẳng phản xạ (θ) và bước sóng của tia Rơnghen (λ), n (số nguyên) là bậc nhiễu xạ, là những nhóm vị trí ghi nhận tia Rơn-ghen nhiễu xạ từ mẫu có cường độ khác nhau, n = 1 tương ứng với vị trí ghi nhận cường độ tia Rơnghen lớn nhất. Đây là phương trình cơ bản cho việc xác định khoảng cách d hay khảo sát cấu trúc tinh thể.

Phương trình (2.1) có thể viết được dưới dạng bình phương bằng cách thay giá trị d vào cho từng dạng của hệ tinh thể.

Đối với hệ lập phương:

$$sin^2\theta = \frac{\lambda^2}{4a^2}(H^2 + K^2 + L^2) \tag{2.2}$$

Đối với hệ lục giác:

$$sin^2\theta = \frac{\lambda^2}{4a^2}\left(\frac{4}{3}\frac{H^2 + K^2 + L^2}{a^2} + \frac{L^2}{C^2}\right) \quad (2.3)$$

a: Thông số mạng tinh thể;

H, K, L: Chỉ số mạng tinh thể.

Máy phân tích Rơnghen AERIS được thực hiện tại Trường Vật liệu - Đại học Bách Khoa Hà Nội với vật liệu anốt là Cu để khảo sát sự có mặt của các pha trong mẫu nghiên cứu.




*Hình 2. 4: Thiết bị nhiễu xạ Rơnghen AERIS*

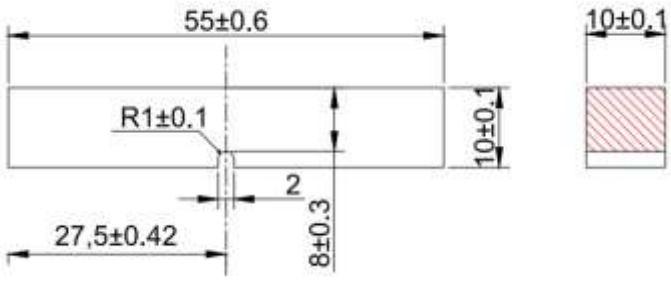
### 2.3.9. Phân tích cơ tính

Đo độ cứng

Trong quá trình thực hiện nghiên cứu này, sử dụng phép đo độ cứng Rock-well với máy đo độ cứng Brinell tại phòng thí nghiệm Vật liệu Đại học Công nghiệp Hà Nội.

Kiểm tra độ dai va đập

Độ dai va đập là khả năng chịu tải trọng va đập của vật liệu. Độ dai va đập được xác định thông qua năng lượng hấp thụ bởi vật liệu trong quá trình va đập. Thử nghiệm va đập thường được áp dụng với các vật liệu dùng để chế tạo các chi tiết hoặc cấu kiện chịu tải trọng động. Thử nghiệm va đập còn được áp dụng trong việc xác định nhiệt độ chuyển biến dẻo-giòn của vật liệu (DBTT). Từ đó xác định hoặc dự báo nguy cơ suy giảm sức bền của chi tiết hoặc cấu kiện khi làm việc ở nhiệt độ khắc nghiệt.




*Hình 2. 5: Kích thước mẫu để thực hiện kiểm tra độ dai va đập*

Tiêu chuẩn đánh giá là công va đập –hiệu năng lượng trước và sau phá hủy:

$$A_v = mg*(H-h) \quad (3.1)$$

Độ dai va đập: $a_k = A_v / S_0$ $(J.cm^{-2})$ (3.2)

*Trong đó: g là gia tốc trọng trường.*

*$S_0$: Diện tích mẫu tại rãnh khía*

## 2.4. Kết luận chương 2

Đối tượng nghiên cứu được xác định là thép hợp kim Mn thấp và sản phẩm răng gầu làm việc trong điều kiện đồng thời chịu mài mòn và tải trọng động. Hệ phương pháp nghiên cứu được xây dựng tương đối đầy đủ, kết hợp nghiên cứu lý thuyết, thực nghiệm nấu–đúc–nhiệt luyện, quy hoạch thực nghiệm và các phương pháp phân tích hiện đại như hiển vi quang học, SEM–EDS, XRD, phân tích thành phần hóa học và thử cơ tính. Đây là cơ sở để đánh giá có hệ thống mối quan hệ giữa thành phần, công nghệ, tổ chức tế vi và cơ tính của vật liệu.

# CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ TRONG CHẾ TẠO THÉP HỢP KIM Mn THẤP

## 3.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim và đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp

### 3.1.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim chính đến quá trình nấu đúc và kết tinh của thép Mn thấp

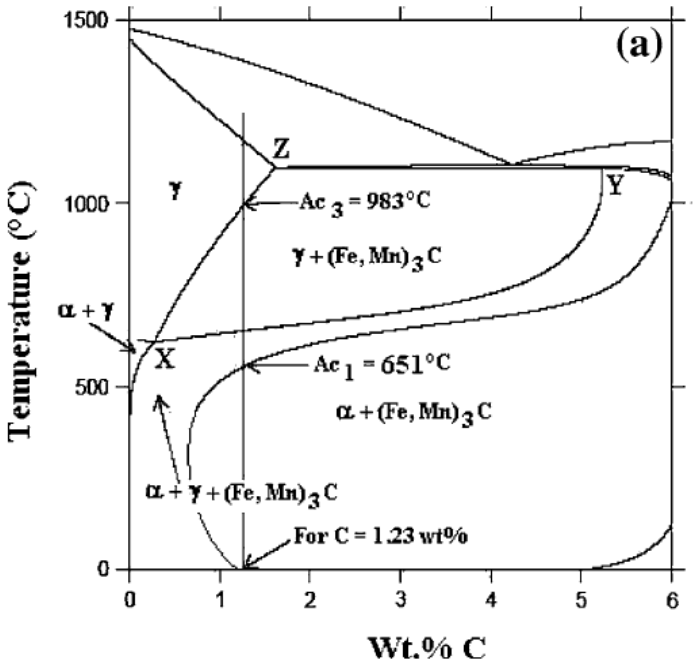
+ Nguyên tố Mangan (Mn)

Đặc tính và ứng dụng mangan:

Nhiệt độ nóng chảy: T=1244$^0$C

Nhiệt độ sôi: T= 2036 $^0$C

Tỉ trọng: g = 7,42g/cm$^3$




*Hình 3. 1: Giản đồ Fe – Mn – C*

Là nguyên tố mở rộng vùng ổn định Austenite.

Là nguyên tố dùng để khử oxy, khử lưu huỳnh

Hợp kim hóa thép để tạo ra pha cacbit, tăng độ cứng cho thép như loại cacbit Mn3C, Mn3C2 và (Fe,Mn)23C6…

Nâng cao đáng kể giới hạn chảy của thép, nhưng để làm nhỏ hạt phải đưa vào cùng với các nguyên tố tạo cacbit mạnh như Ti, V…

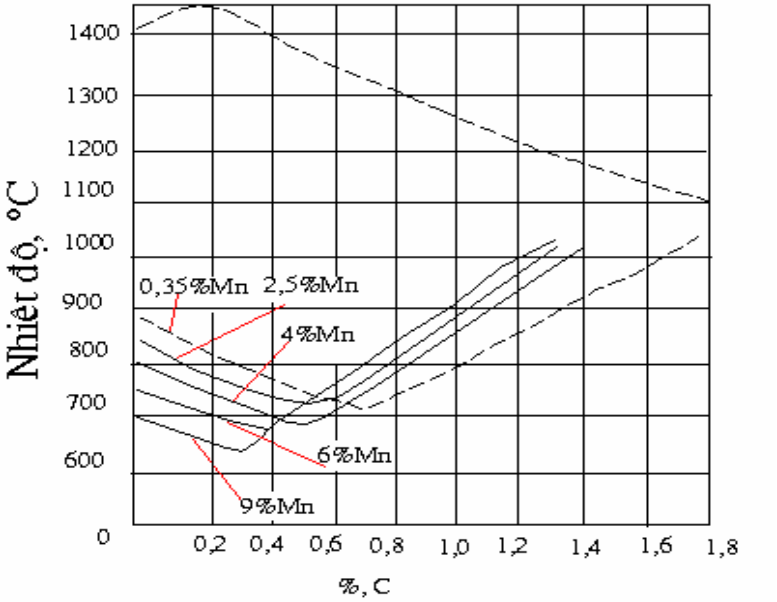
Thông thường FeMn được đưa vào thép ở nhiệt độ lớn hơn 1500$^o$C và ở đầu giai đoạn hoàn nguyên, hoặc đôi lúc cho vào thùng rót cùng FeSi.

Mn là nguyên tố khá rẻ, nhưng nó ít đóng vai trò hợp kim độc lập bởi nếu đi một mình thường có các nhược điểm:

Thúc đẩy tinh thể lớn nhanh khi nung.

Tăng tính giòn ram.

Giảm độ dẻo và độ dai theo phương vuông góc với phương cán.




*Hình 3. 2: Ảnh hưởng của Mn đến vùng α và γ trên giản đồ pha Fe-C*

+ Nguyên tố Silic (Si)

Số thứ tự nguyên tử: 14

Cấu hình electron lớp ngoài cùng: 3s23p2

Lý tính của Si:

- Nhiệt độ nóng chảy từ 1430 –14800C
- Nhiệt độ sôi: 32800C
- Tỷ khối: 2,33g/cm3

Là nguyên tố thu hẹp vùng ổn định Austenite.

Là nguyên tố có ái lực hóa học mạnh với oxy. Khi hòa tan trong kim loại hay tiết ra C tự do. Do đó Si cùng với Mn được dùng để khử oxy trong thép lỏng. Thông thường tỷ lệ Si/Mn từ 4 đến 7, ngoài ra Si còn dùng để hợp kim hóa thép.

Là nguyên tố không tạo cacbit, nâng cao mạnh giới hạn chảy, cản trở nhẹ sự thải bền của thép khi ram, giảm độ dai, nâng cao ngưỡng giòn nguội khi hàm lượng cao hơn 1%.

Do Si có tỷ trọng bé nên khi đưa vào hợp kim hóa phải thận trọng vì Si bị nổi lên bề mặt kim loại lỏng. Si gặp oxy trong không khí xảy ra hiện tượng cháy trên bề mặt xỉ, để đạt hiệu quả cao thường cho fero Si vào trong thép lỏng sau khi khử oxy, lưu huỳnh và trước khi ra lò khoảng 5 – 10 phút.

+ Nguyên tố Crôm (Cr)

Ký hiệu hóa học: Cr

Số thứ tự nguyên tử: 24

Cấu hình nguyên tử: [Ar] 3d54s1

Crom là kim loại nặng dẫn điện và nhiệt tốt, rất cứng , rất khó nóng chảy và có nhiệt độ sôi cao như thấy ở bảng sau:

*Bảng 3. 1: Tính chất vật lý của Crom*

| Nhiệt nóng chảy | Nhiệt độ sôi | Tỷ khối | Độ cứng (thang Moxơ) | Độ dẫn điện |
|---|---|---|---|---|
| 1875 $^0$C | 2197 $^0$C | 7,2 | 5 | 7,1 |

Tăng tính chống oxy hóa, tính chịu nhiệt, tính chống gỉ cho thép.

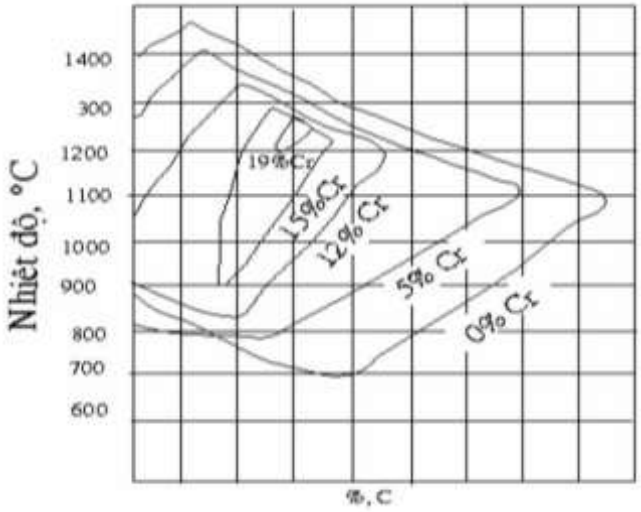
Là nguyên tố tạo cacbit mạnh $Cr_{26}C_6$, $Cr_7C_3$… khi ram cacbit crom nhỏ mịn tiết ra có tác dụng hóa bền tiết pha và tăng tính chống mài mòn tốt.

Cr tăng đáng kể độ thấm tôi, độ cứng của thép sau khi nhiệt luyện, hòa tan vào ferit và hóa bền nó, nhưng lại ít ảnh hưởng đến độ dẻo.

Chất hợp kim hóa là FeCr, SiCr

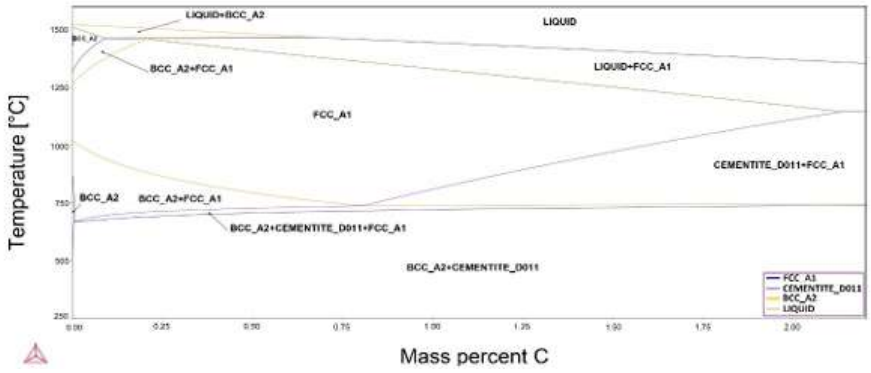
Cho FeCr vào phải đảm bảo:

- Nhiệt độ lớn hơn 1600$^0$C.
- Khử triệt để oxy và lưu huỳnh, khí trong thép.
- Lượng xỉ phải ít, độ bazo cao, độ loãng xỉ tốt.
- Cho ferro vào lò nhiệt, mỗi lần cách nhau 5-10 phút.

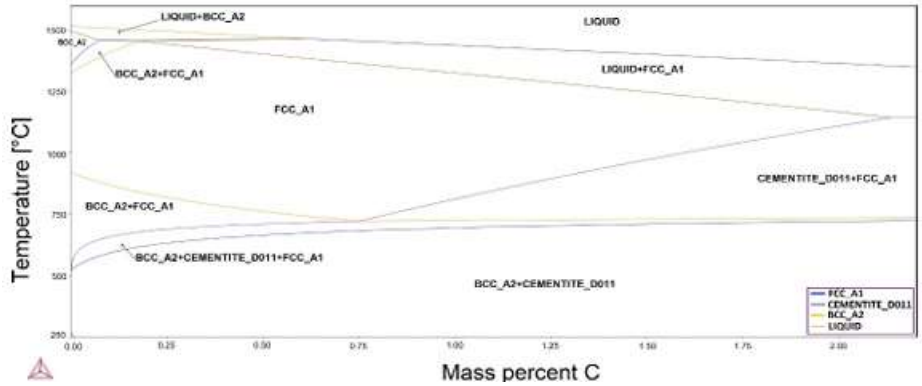



*Hình 3. 3: Ảnh hưởng của Cr đến vùng α và γ trên giản đồ pha Fe-C*

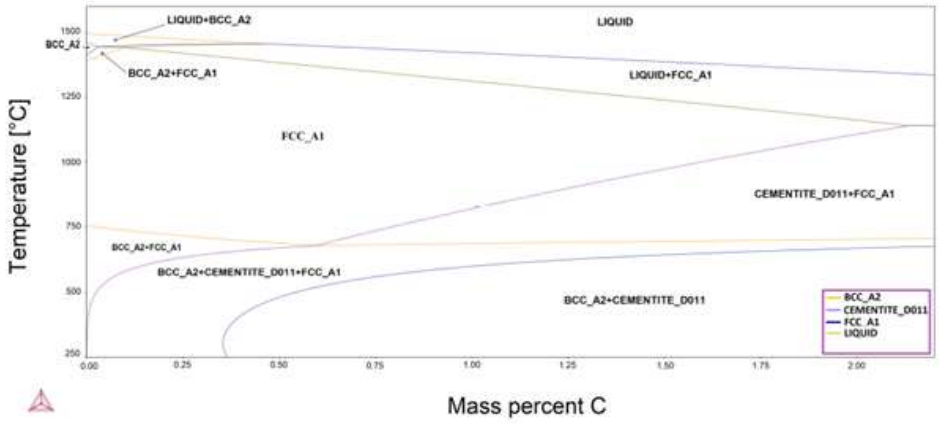
### 3.1.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến đặc điểm giản đồ pha và tổ chức của thép Mn thấp



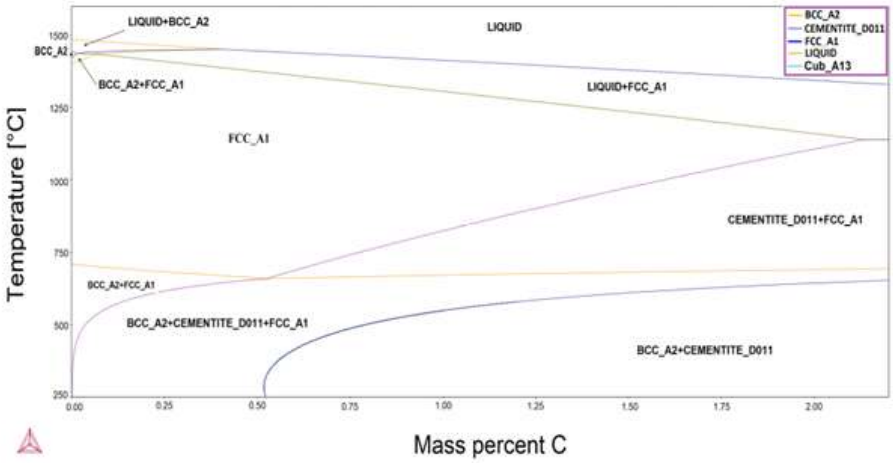

Fe-0.1C-2Mn-0.75Si-0.75Al




Fe-0.1C-3.5Mn-0.75Si-0.75Al




Fe-0.1C-8Mn-0.75Si-0.75Al




Fe-0.1C-10Mn-0.75Si-0.75Al

*Hình 3. 4: Giản đồ pha Fe-Mn-C khi thay đổi hàm lượng Mn*

Phân tích giản đồ pha khi có sự thay đổi hàm lượng Mn được thể hiện trên hình 3.4 cho thấy: tăng hàm lượng Mn có sự thay đổi về hàm lượng các pha (BCC_A2+CEMENTITE_D011+FCC_A1) trong hợp kim cũng như giảm nhiệt độ bắt đầu hình thành pha và hàm lượng cacbon cần thiết để hình thành các pha. Tăng hàm lượng Mn đến 3.5% cho thấy có sự biến mất của pha BCC-A2 và nhiệt độ hình thành austenite giảm từ 1100 xuống còn 900$^{o}$C. Tăng hàm lượng Mn đến 5% sẽ có sự giảm về ảnh hưởng của vùng BCC-A2 và vùng lỏng.

*Bảng 3. 2: Sự thay đổi nhiệt độ chuyển biến với các hàm lượng C và Mn khác nhau*

| Mn, wt% | 2 | | 3.5 | | 5 | | 8 | | 10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C, wt% | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| $A_{e1}$, °C | 705 | 720 | 640 | 700 | 620 | 670 | 575 | 625 | 520 | 620 |
| $A_{e3}$, °C | 955 | 900 | 875 | 850 | 820 | 780 | 750 | 740 | 730 | 720 |
| $A_{c1}$, °C | 702 | 716 | 661 | 686 | 627 | 660 | 578 | 620 | 557 | 601 |
| $A_{c3}$, °C | 947 | 897 | 882 | 846 | 829 | 802 | 746 | 731 | 703 | 692 |
| $M_s$, °C | 425 | 382 | 357 | 315 | 299 | 257 | 206 | 164 | 158 | 116 |

Khi thay đổi hàm lượng Mn và C cho thấy nhiệt độ bắt đầu và chuyển biến pha của hợp kim cũng có sự thay đổi. Cụ thể như sau: Cùng hàm lượng Mn khi tăng hàm lượng C nhiệt độ Ac1 tăng nhưng nhiệt độ Ac3 lại giảm; nhiệt độ bắt đầu chuyển biến Mactenxit cũng giảm xuống. Khi tăng hàm lượng Mn thì nhiệt độ Ac1; Ac3 và nhiệt độ bắt đầu chuyển biến mactenxit đều giảm.

### 3.1.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến cơ tính và một số tính chất khác của thép Mn thấp

### 3.1.4. Nghiên cứu sự hình thành các pha liên kim đất hiếm với các nguyên tố kim loại đến quá trình đông đặc và kết tinh của thép Mn thấp

Đất hiếm là những nguyên tố quý, hiếm có trong lòng đất bao gồm 17 nguyên tố và là những nguyên tố dạng hiếm như: scanđi, Ytri và lanthan… và các nguyên tố này khó tách ra thành nguyên tố riêng biệt. Việc đưa đất hiếm vào gang trắng crôm cao được rất nhiều nhà nghiên cứu quan tâm và nghiên cứu và đã chỉ ra rằng đưa đất hiếm vào gang sẽ có tác dụng làm nhỏ mịn cấu trúc và tăng độ dẻo dai cũng như độ dai va đập cho vật liệu này.

Các kim loại có trong đất hiếm có điểm nóng chảy thấp và bán kính nguyên tử lớn, $r_c$ = 0,182nm, có độ quá nguội rất mạnh trong quá trình đông đặc. Hơn nữa, các nguyên tố có trong đất hiếm RE có thể cũng được sử dụng như một chất khử oxy và chất khử lưu huỳnh của S và 0 do chúng có ái lực mạnh mẽ với các nguyên tố này, khi kết hợp chúng để tạo thành các oxit RE và sulfide RE thể hiện trong bảng 1. Mặt khác về cơ bản RE tách ra trước tinh thể austenit trong suốt quá trình đông đặc. Khi nguội đủ nhanh tạo ra đa tinh thể thay vì đơn tinh thể và với điều kiện như vậy nhiều nhánh austenit liên kết với nhau và ngăn cácbit cùng tinh lớn lên chúng đẩy mạnh sự phát triển cùng tinh riêng rẽ và làm mịn cấu trúc.

Lý thuyết không đồng nhất của tâm mầm đưa ra bởi Turnbull et al [17 ] về điều kiện tạo tâm mầm đối với các kim loại nóng chảy phụ thuộc chủ yếu vào hai điều kiện : Thứ nhất, các chất đưa vào để tạo ra các tâm mầm cần phải giữ lại một pha rắn trên điểm nóng chảy để hoạt động như một chất nền cho mầm; thứ hai, sự không phù hợp giữa các chỉ số của mặt tinh thể giữa hai pha, pha tạo tâm mầm và pha kim

loại lỏng (hạt nhân) phải không có sự cách biệt lớn, cũng theo lý thuyết Bramfitt [15] cho rằng khi sự không đồng nhất giữa mầm-hạt nhân δ= 6% thì ảnh hưởng của tâm mầm với hạt nhân lớn nhất còn khi δ có giá trị trong khoảng từ 6 đến 12%, ảnh hưởng của tâm mầm với hạt nhân ở mức độ vừa phải khi δ>12% là không có ảnh hưởng.

Các oxyt RE có thể là các tâm mầm không đồng nhất của cácbit $M_7C_3$ trong gang cao crom dựa vào nguyên lý Bramffit[15]

Mối quan hệ hình học tinh thể của oxyt $Ce_2O_2S$ và cácbit $M_7C_3$, vòng tròn rỗng mô tả cấu trúc sáu phương xếp chặt của $Ce_2O_2S$, còn vòng tròn đậm mô tả cấu trúc sáu phương xếp chặt của $M_7C_3$. Giá trị δ nhận được theo các hướng tương ứng giữa 02 loại mạng là r

Sự sắp xếp tinh thể theo mặt (0001) của $Ce_2O_2S$ và mặt (2110) $M_7C_3$ là gần như giống nhau và điều này được thể hiện ở bảng 3.3 dưới đây:

*Bảng 3. 3: Sự sắp xếp hình học tương xứng giữa mặt xếp chặt (0001) $M_7C_3$ và mặt xếp chặt (1010) $Ce_2O_2S$*

| $[uvw]_{Ce2O3}$ | [0001] | [02 21] | [ 12 10 ] |
|---|---|---|---|
| $[uvw])_{ɣ\text{-}Fe}$ | **[2110** | [ 1100] | [ 12 10 ] |
| $\theta$ | 0 | 19.6 | 30 |
| $d_{Ce2O3}$ | 6.833 | 10.533 | 8.016 |
| $d_{ɣ\text{-}Fe}$ | 6.787 | 11.755 | 6.787 |
| **δ/%** | **6,2** | | |

Bảng 3.4 ghi lại độ lệch mạng giữa hai pha (Pha cacbít $M_7C_3$ và pha oxyt đất hiếm $Ce_2O_2S$), δ= 6,2 như vậy có thể khẳng định oxyt đất hiếm $Ce_2O_2S$ hoạt động như một tâm mầm không đồng nhất cho pha $M_7C_3$ trong gang crôm cao.

### 3.1.5. Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tổ chức của thép Mn thấp



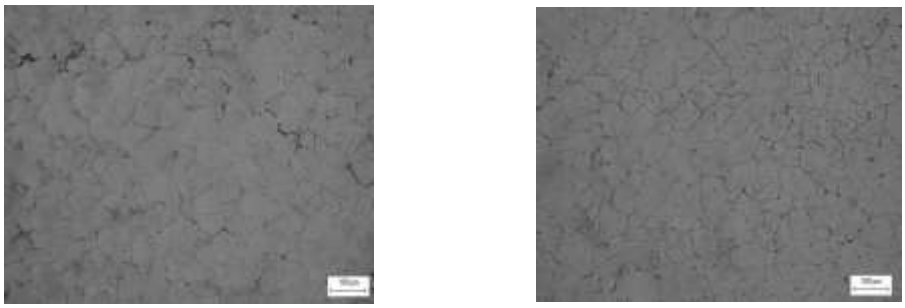
*Hình 3. 5: Ảnh tổ chức tế vi sau đúc của mẫu không (a) và có (b) biến tính RE*

Hình 3.5 là tổ chức tế vi của mẫu thép sau đúc khi không biến tính và có biến tính bằng đất hiếm. Mẫu có hàm lượng V là 1%, không biến tính có kích thước hạt sau đúc tương đương cấp 5 theo ASTM, kích thước hạt trung bình là 3.910μm$^2$. Ở mẫu có thực hiện biến tính sau đúc nhận thấy hạt cacbit phân bố ở biên giới không liên tục như đối với mẫu không biến tính.

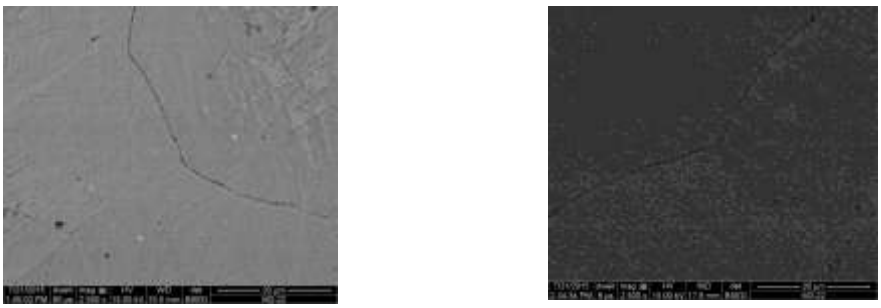
Hình 3.6 là ảnh tổ chức các mẫu sau khi nhiệt luyện. Có thể thấy rằng ở cả các mẫu biến tính và không biến tính, các hạt cacbit đều đã hòa tan hoàn toàn vào trong

nền austenite và kích thước hạt austenite đều đạt  cấp 6 theo ASTM. Tuy nhiên mẫu biến tính có tổ chức đồng đều hơn so với mẫu không biến tính.

Quan sát sâu hơn bằng phương pháp hiển vi điện tử quét tán xạ ngược (hình 3.7), có thể thấy rõ trong các mẫu không còn sự tập trung cacbit ở biên giới hạt (hình 3.8) tuy nhiên trong nền hạt austenite lại có các hạt nhỏ mịn. Việc xử lý để cacbit phân tán bên trong nền austenit sẽ góp phần làm tăng khả năng chống mài mòn và độ dai va đập cho thép.

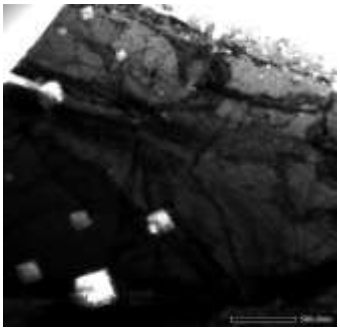


*Hình 3.  6: Ảnh tổ chức tế vi sau nhiệt luyện của mẫu không (a) và có (b) biến tính RE*



*Hình 3.  7: Ảnh tán xạ ngược sau nhiệt luyện của mẫu không (a) và có (b) biến tính*

Quan sát các ảnh hiển vi quang học, trong tổ chức tế vi sau nhiệt luyện của thép hầu như chỉ thấy austenite đồng nhất, Chỉ khi sử dụng TEM mới phát hiện ra rằng trong hạt austenite có tồn tại các hạt cacbit. Các hạt này có kích thước siêu nhỏ. Hình 3.8 là ảnh TEM của mẫu sau nhiệt luyện. Từ ảnh TEM có thể quan sát thấy  trong tổ chức mẫu biến tính và không biến tính đều có xuất hiện các hạt có kích thước rất nhỏ mịn cỡ khoảng vài chục nm. Các hạt này có vai trò tăng cứng và khả năng chịu mài mòn cho chi tiết. Trong mẫu biến tính các hạt có kích thước nhỏ mịn xuất hiện nhiều hơn, làm tăng giá trị cơ tính của mẫu biến tính so với mẫu không biến tính.



*Hình 3.  8: Ảnh TEM các hạt phân tán của mẫu có biến tính RE*

### 3.1.6. Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp

## 3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng và tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp

### 3.2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến đặc tính nấu luyện của hợp kim nghiên cứu

***Ảnh hưởng của molipden***

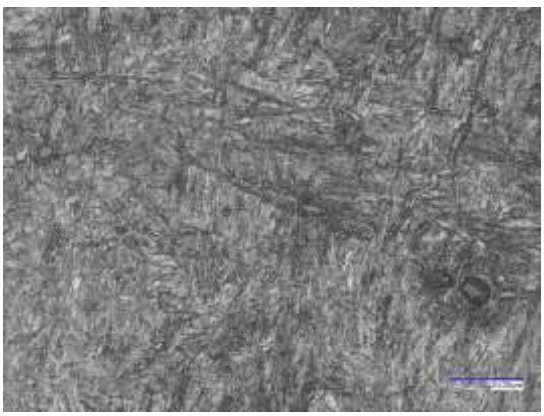
Lượng molypden (Mo) được đưa vào thép mangan cao khoảng 0,5-2% để tăng độ dai và khả năng chống nứt ở trạng thái đúc và tăng độ bền và độ dai cho các chi tiết lớn qua tôi và ram. Trong quá trình nung tôi vanadi một phần hòa tan vào dung dịch rắn, một phần tạo cacbit sơ cấp. Molipden hòa tan trong dung dịch rắn ngăn cản quá trình tạo ra các pha giòn, ngăn cản quá trình tiết pha ngay cả khi chi tiết bị nung nóng để hàn tới 275$^{o}$C. Molipden trong cacbit sơ cấp làm cho cacbit trở nên nhỏ mịn, làm thay đổi các dải vây quanh nhánh cây austenit. Điều đó làm giảm mức độ có hại của cacbit, nhất là khi molipden lớn hơn 1,5%.

***Ảnh hưởng của Titan***

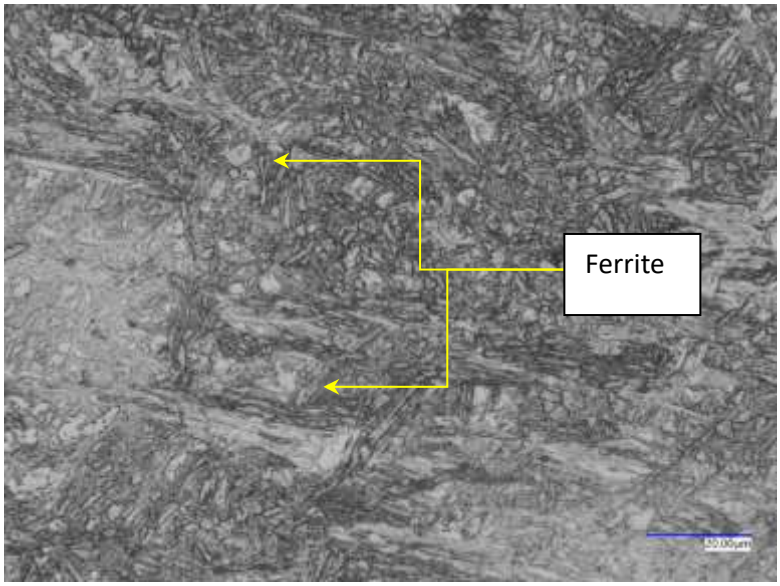
Titan (Ti) là nguyên tố tạo cacbit mạnh, cacbit titan rất ổn định nên Titan có thể làm giảm lượng cacbon trong austenit, điều đó làm cho thép tính chất của thép tương tự như thép có hàm lượng cacbon thấp hơn. Titan làm giảm tác hại của các tạp chất như photpho (P). Trên cơ sở đó trong các thép mangan cao số nước châu Âu có bổ sung vi lượng (<0,1%) titan, vanadi, bo, zieccon và nitơ. Tuy nhiên nếu lượng nguyên tố này quá lớn sẽ làm giảm mạnh tính dẻo. Lượng nitơ lớn hơn 0,2% có thể gây rỗ khí khi đúc. Các nguyên tố này làm nhỏ hạt và giảm nguy cơ nứt nóng.

### 3.2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tổ chức của thép Mn thấp

***Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc khi có Titan***



*Hình 3. 9: Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc không có Ti (zoom x2000)*




*Hình 3. 10: Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc có Ti (zoom x2000)*

Quy định mẫu:

Mẫu 1: mẫu sau đúc không chứa nguyên tố titan

Mẫu 2: mẫu sau đúc có chứa nguyên tố titan

Tổ chức của vật liệu quyết định trực tiếp đến tính chất và cơ tính của nó. So sánh tổ chức tế vi của hai mẫu sau đúc để xem việc bổ sung hàm lượng titan vào thép nó sẽ có ảnh hưởng như thế nào đến tổ chức tế vi của mẫu sau đúc. Quan sát tổ chức tế vi của hai mẫu sau đúc cho thấy độ hạt của hợp kim khá lớn, với chế độ này cũng không xác định được biên giới hạt của hợp kim nghiên cứu khi thêm nguyên tố titan vào thép thì số lượng hạt austenite xuất hiện nhiều hơn và nó được phủ rộng một cách đồng đều.

### 3.2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tính chất của thép Mn thấp

*Bảng 3. 4: Độ cứng của mẫu ở các chế độ (Đơn vị: HRC)*

| **Lần** | **Mẫu đúc** | | **Thường hóa** (900°C – 4h) | | **Tôi** (900°C – 2h) | | **Ram** (250°C – 2h) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti |
| **1** | 42 | 46,3 | 28,6 | 30,5 | 26,6 | 32,5 | 37,1 | 46,1 |
| **2** | 43,7 | 48,8 | 26,8 | 30,7 | 31,5 | 35,8 | 38,8 | 42,5 |
| **3** | 43,2 | 46,9 | 33,5 | 34,9 | 24,4 | 37,0 | 39,5 | 43,9 |
| **Trung bình** | **43,9** | **47,3** | **29,6** | **30,1** | **27,5** | **35,1** | **38,4** | **44,1** |

Có thể thấy độ cứng của mẫu được tăng lên khi thêm nguyên tố Ti vào thành phần của mác thép.

So sánh độ cứng của mẫu sau đúc cho thấy, khi bổ sung nguyên tố Ti vào hợp kim thì độ cứng đạt được là 47,3 HRC trong khi mẫu sau đúc không có nguyên tố Ti thì độ cứng chỉ đạt 43,9 HRC.

Sau quá trình xử lý nhiệt, độ cứng của mẫu cũng đã giảm một lượng nhỏ. Cụ thể, sau quá trình xử lý nhiệt ở bước cuối cùng (ram ở nhiệt độ 250$^{o}$C trong 2h) ta thấy:

Mẫu có Titan: Độ cứng giảm từ 47,3 HRC xuống còn 44,1 HRC tức là đã giảm 3,2 HRC.

Mẫu không có Ti: Độ cứng giảm từ 43,9 HRC xuống còn 38,4 HRC tức là đã giảm 5,5 HRC.

Sau quá trình ram, độ cứng đã được giảm bớt so với ban đầu, việc ram mẫu ở nhiệt độ 250$^{o}$C trong vòng 2h sau đó để nguội ngoài không khí sẽ làm tăng độ dẻo, độ dai, giảm hay khử bỏ ứng suất bên trong để cho cơ tính của thép phù hợp với điều kiện làm việc của chi tiết hay dụng cụ.

Độ dai va đập của mẫu

*Bảng 3. 5: Kết quả kiểm tra độ dai va đập của mẫu*

| **Loại mẫu** | **Đúc** (J/cm$^2$) | **Thường hóa** (J/cm$^2$) | **Tôi** (J/cm$^2$) | **Ram** (J/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| Không Ti | 25,4 | - | 26,3 | 33,8 |
| Có Ti | 27,3 | - | 27,5 | 34,5 |

So sánh giá trị độ dai va đập của mẫu sau đúc và sau quá trình xử lý nhiệt cho thấy: giá trị độ dai va đập đạt giá trị lớn nhất là 34,5 J/cm$^2$ khi mẫu được bổ sung thêm nguyên tố Ti và trải qua quá trình thường hóa 900$^{o}$C giữ nhiệt trong 04 giờ sau đó tôi với nhiệt độ 900$^{o}$C trong vòng 02 giờ và làm nguội nhanh bằng nước; sau đó mẫu được ram ở nhiệt độ 250$^{o}$C trong 02 giờ để đảm bảo các chuyển biến xảy ra hoàn toàn. Quá trình xử lý nhiệt được thực hiện trong lò nung có hỗ trợ hút chân không để đảm bảo mẫu khi nhiệt luyện không bị oxy hóa. Với chế độ trên thu được giá trị độ dai va đập lớn nhất trong các chế độ xử lý. Với tổ chức đặc trưng là bainite xen kẽ đó là austenite dư thì nó vẫn đảm bảo được giá trị độ dai va đập của mẫu thép nghiên cứu.

### 3.2.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tổ chức của thép Mn thấp

Tạp chất có hại

- Phốt pho

Ở nhiệt độ thường Fe($\alpha$) hoà tan lượng P cao tới 1,2% vượt quá giới hạn này tạo nên $Fe_3P$ dòn. Song trong hợp kim Fe - C lượng P hoà tan trong Fe($\alpha$) giảm đi mãnh liệt, chỉ còn vài phần nghìn, do vậy trong thép dễ xuất hiện $Fe_3P$ nâng cao độ bền, đặc biệt là độ dòn của nhiệt độ thường. Vì vậy phốt pho nâng cao tính dòn nguội của thép. Giới hạn hoà tan của P trong ferit gây ra dòn là 0,1% nhưng do nó là nguyên

tố thiên tích mạnh trong quá trình kết tinh nên thông thường chỉ cho phép có đến 0,05%.

Mặt khác P ảnh hưởng tốt đến tính gia công cắt cho nên trong thép dễ cắt người ta đưa hàm lượng P cao tới 0,08 - 0,15%.

- Lưu huỳnh

Lưu huỳnh không tan ở cả trong Fe(α) và Fe(γ), nó tạo nên hợp chất FeS. Cùng tinh (Fe + FeS) tạo thành ở nhiệt độ thấp (988°C), nên nó kết tinh sau cùng và nằm bên dưới hạt. Khi nung nóng thể cán kéo hay rèn, cùng tinh này chảy ra và có quá trình đứt ở bên dưới hạt, làm cho thép bị dòn. Vì vậy lưu huỳnh nâng cao tính dòn nóng của thép. Cho Mn vào thép làm giảm được tác dụng có hại của lưu huỳnh so với sắt nó có ái lực với S mạnh hơn, tạo nên MnS.

MnS nóng chảy ở nhiệt độ cao đến 1620°C, khi làm nguội nó kết tinh dưới dạng các hạt nhỏ phân bố rời rạc, do đó không gây hiệu ứng (dòn nóng) khi gia công áp lực nóng.

Các sunfua dẻo và biến dạng được ở trạng thái nóng, ở trong thép cán nó bị kéo dài ra theo phương pháp biến dạng làm cơ tính của thép khác nhau theo chiều dọc và ngang vật cán.

Cũng giống P, S là nguyên tố có ảnh hưởng tốt đến tính gia công cắt, trong thép dễ cắt chứa đến 0,15 - 0,30%S.

- Các khí oxy, nitơ và hyđrô

Các nguyên tố này ảnh hưởng xấu đến cơ tính của thép ở chỗ làm giảm độ dẻo, tăng khuynh hướng phá huỷ.

Oxy hoà tan rất ít trong ferit (Ví dụ ở 500°C độ hoà tan chỉ là 0,001%), vượt quá giới hạn này oxy ở dạng các oxyt $Fe_3O_4$, FeO, MnO, $Mn_2O_4$, $Al_2O_3$... thường gọi là vật lẫn phi kim loại, các vật lẫn oxyt này gây ra dòn nóng và dòn nguội, làm giảm độ bền, đặc biệt là giới hạn mỏi.

Nitơ cũng hoà tan rất ít trong ferit, ở 590°C độ hoà tan là 0,10%, nhưng đáng chú ý là độ hoà tan này giảm rất nhanh theo nhiệt độ, ở nhiệt độ thường chỉ còn 10-5%, ngoài ra nitơ cũng ở dạng nitrit. Khi làm nguội thép với lượng chứa nitơ cao, các nguyên tử nitơ trong thép biến dạng nguội tích tụ ở vùng lệch tạo nên khí quyển Cottrell ngăn trở chuyển động của lệch. Do vậy thép có độ bền tăng lên, độ dẻo giảm đi mạnh. Đó là hiện tượng hoá già biến dạng. Hiện tượng này thể hiện rất rõ trong thép tấm cacbon thấp (C < 0,1%) để rập nguội: do hoá già, khi rập thép thường bị đứt.

Hyđrô có ảnh hưởng đặc biệt xấu đến thép, nhất là trong thép có độ bền cao, thép tôi có tổ chức mactenxit. Các nguyên nhân dòn do hyđrô gây ra như sau: Hyđrô hoà tan trong dung dịch rắn, ở chỗ lệch, làm xô lệch mạng, gây ra dòn; độ hoà tan của hyđrô trong thép giảm đi rất nhanh, hyđrô thoát ra với lượng lớn, gây ra các vết nứt tế vi thể hiện ở các đốm trắng trên mặt gẫy.

Các khí hoà tan trong thép lỏng quá nhiều, làm xuất hiện các rỗ khí trong thỏi đúc, do đó làm giảm cơ tính. Trong một số thép hợp kim, nitơ có tác dụng tốt, lúc đó nó được coi là nguyên tố hợp kim.

### 3.2.5. Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp

- Phốt pho

Ở nhiệt độ thường Fe($\alpha$) hoà tan lượng P cao tới 1,2% vượt quá giới hạn này tạo nên $Fe_3P$ dòn. Song trong hợp kim Fe - C lượng P hoà tan trong Fe($\alpha$) giảm đi mãnh liệt, chỉ còn vài phần nghìn, do vậy trong thép dễ xuất hiện $Fe_3P$ nâng cao độ bền, đặc biệt là độ dòn của nhiệt độ thường. Vì vậy phốt pho nâng cao tính dòn nguội của thép.

- Lưu huỳnh

Khi nung nóng thể cán kéo hay rèn, cùng tinh này chảy ra và có quá trình đứt ở bên dưới hạt, làm cho thép bị dòn. Vì vậy lưu huỳnh nâng cao tính dòn nóng của thép. Cho Mn vào thép làm giảm được tác dụng có hại của lưu huỳnh so với sắt nó có ái lực với S mạnh hơn, tạo nên MnS.

MnS nóng chảy ở nhiệt độ cao đến $1620^0$C, khi làm nguội nó kết tinh dưới dạng các hạt nhỏ phân bố rời rạc, do đó không gây hiệu ứng (dòn nóng) khi gia công áp lực nóng.

- Các khí oxy, nitơ và hyđrô

Các nguyên tố này ảnh hưởng xấu đến cơ tính của thép ở chỗ làm giảm độ dẻo, tăng khuynh hướng phá huỷ.

Hyđrô có ảnh hưởng đặc biệt xấu đến thép, nhất là trong thép có độ bền cao, thép tôi có tổ chức mactenxit. Các nguyên nhân dòn do hyđrô gây ra như sau: Hyđrô hoà tan trong dung dịch rắn, ở chỗ lệch, làm xô lệch mạng, gây ra dòn; độ hoà tan của hyđrô trong thép giảm đi rất nhanh, hyđrô thoát ra với lượng lớn, gây ra các vết nứt tế vi thể hiện ở các đốm trắng trên mặt gẫy.

### 3.2.6. Nghiên cứu lựa chọn các biện pháp hóa bền thép Mn thấp

Khi ta tiến hành làm nguội nhanh Austenit sao cho véc tơ tốc độ nguội không cắt đường cong chữ "C" khi đó cacbon trong Austenit không kịp khuếch tán để phân bố lại thành phần và chuyển biến xảy ra theo cơ chế trượt mạng trực tiếp từ lập phương diện tâm thành lập phương thể tâm. Dạng chuyển biến như vậy được gọi là chuyển biến Mactenxit.

Đặc điểm chuyển biến Mactenxit

Với đặc trưng làm nguội của mình, chuyển biến Mactenxit có một số đặc điểm khác biệt như sau:

- Chuyển biến Mactenxit là chuyển biến không khuếch tán, Mactenxit thu được khi nguội nhanh Austenit từ nhiệt độ $A_1$. Do đó thành phần hoá học của Mactenxit trùng với của Austenit.

- Chuyển biến Mactenxit chỉ bắt đầu xảy ra ở một nhiệt độ nhất định ($M_S$ là nhiệt độ bắt đầu chuyển biến). Nhiệt độ $M_S$ không phụ thuộc vào tốc độ làm nguội,

đồng thời chuyển biến cũng kết thúc khi nguội xuống thấp hơn một nhiệt độ xác định ($M_f$ là nhiệt độ kết thúc chuyển biến), cả $M_f$ cũng không phụ thuộc tốc độ nguội. Đoạn [$M_S$ - $M_f$] là khoảng nhiệt độ chuyển biến Mactenxit.

- Chuyển biến Mactenxit chỉ xảy ra khi làm nguội liên tục Austenit, khi nguội đến $M_S$ kim Mactenxit bắt đầu hình thành, muốn lượng Mactenxit tăng lên phải tiếp tục làm nguội. Nếu trong đoạn [$M_S$ - $M_f$], ta dừng lại ở bất kỳ nhiệt độ nào, chuyển biến lập tức dừng lại. Chuyển biến Mactenxit không bao giờ xảy ra hoàn toàn, luôn luôn có tồn tại một lượng Austenit dư.

- Chuyển biến Mactenxit là chuyển biến xảy ra tức thời (thời gian phôi thai bằng không), cứ với nhiệt độ nhỏ hơn $M_S$ chuyển biến lập tức xảy ra.

- Các kim Mactenxit hình thành với tốc độ rất lớn (xấp xỉ 1 km/s), tốc độ hình thành và phát triển kim Mactenxit hầu như không phụ thuộc vào nhiệt độ chuyển biến.

- Giữa mạng tinh thể Mactenxit tạo ra và mạng Austenit ban đầu có mối quan hệ chặt chẽ. Theo nghiên cứu ở các thép có %C = (0,5 ÷ 1,4)% thì mặt (1, 1, 1) của Austenit song song với mặt (1, 1, 0) của Mactenxit và phương [1,1,2] của Austenit song song với phương [1,0,1] của Mactenxit, ngoài ra các nghiên cứu của Nishiyama cũng chỉ ra mối quan hệ phương mạng giữa hai tổ chức. Mặt phân pha khi chuyển biến (gọi là mặt Mabit) luôn cố định theo từng họ hợp kim, với thép cacbon cao là họ mặt {2,2,5} và {2,5,9} của Austenit, với thép cacbon thấp là họ mặt {1,1,1} của Austenit, trong hợp kim sắt - niken là họ mặt {3, 10,15} của Austenit.

- Với những mẫu ban đầu là phẳng, nhẵn, sau chuyển biến Mactenxit, xuất hiện các gờ nổi trên bề mặt.

Ngày nay chuyển biến Mactenxit còn được phát hiện ở nhiều hệ hợp kim khác ngoài sắt như hợp kim đồng - nhôm, đồng - kẽm, đồng - thiếc, niken - titan … Như vậy chuyển biến Mactenxit là dạng chuyển biến có nhiều tính chất đặc biệt, đòi hỏi phải có các nghiên cứu riêng, để có thể sử dụng một cách hiệu quả chuyển biến.

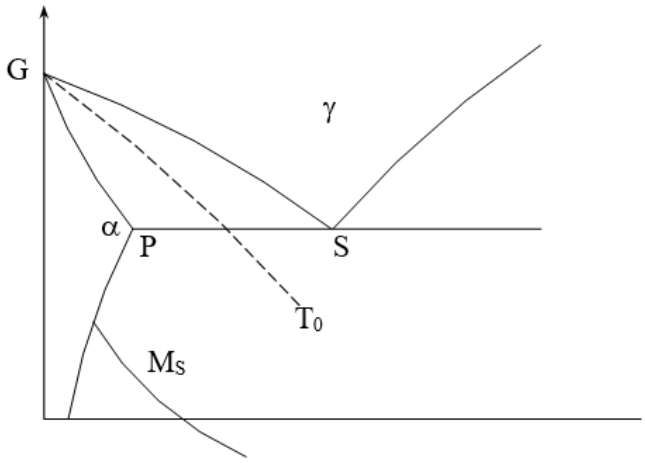
***Nhiệt độ bắt đầu chuyển biến Mactenxit***

Sự biến thiên năng lượng tự do khi xảy ra chuyển biến Mactenxit cũng giống như chuyển biến pha thể rắn, nghĩa là:

$$\Delta F = - \Delta F_V + \Delta F_S + \Delta F_{đàn\ hồi} \qquad (1)$$

Nhưng với chuyển biến Mactenxit $\Delta F_{đàn\ hồi}$ rất lớn, vì vậy công để khắc phục $\Delta F_{đàn\ hồi}$ cao, điều này được giải thích bởi thể tích riêng của Mactenxit lớn hơn thể tích riêng của Austenit cỡ (2 ÷ 3)%, do đó sự chèn ép khi tạo pha mới mạnh, ứng suất dư tăng nên năng lượng đàn hồi lớn. Vì vậy, để chuyển biến Mactenxit xảy ra cần độ quá nguội lớn, thông thường:

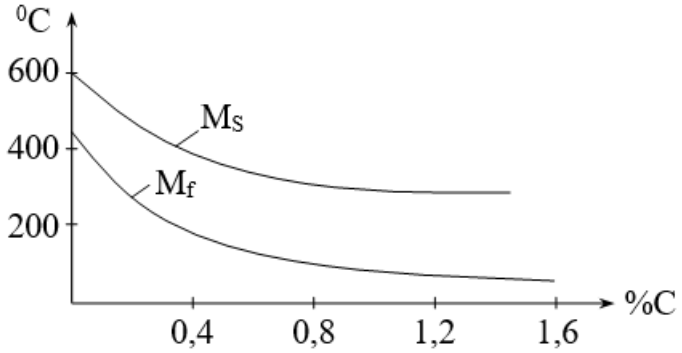
$$M_S = T_0 - (200 \div 250)^0C \qquad (2)$$




*Hình 3. 11: Nhiệt độ cân bằng pha lý thuyết $GT_0$*

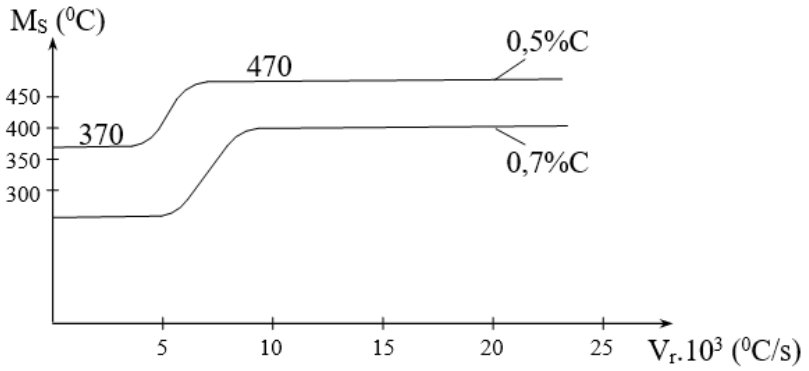
và nhiệt độ bắt đầu chuyển biến Mactenxit thực tế $M_S$

Như vậy ta thấy rằng nhiệt độ bắt đầu ($M_S$) và kết thúc ($M_f$) khi xảy ra chuyển biến Mactenxit hầu như chỉ phụ thuộc vào thành phần hoá học của thép. Sự phụ thuộc này được chỉ ra trên hình vẽ. Lúc đầu khi hàm lượng cacbon tăng lên, nhiệt độ $M_S$ giảm rất nhanh, sau đó tốc độ giảm của $M_S$ chậm dần.




*Hình 3. 12: Sự phụ thuộc của nhiệt độ $M_S$, $M_f$ vào hàm lượng cacbon trong thép*

Các nhiệt độ bắt đầu và kết thúc chuyển biến Mactenxit không phụ thuộc vào tốc độ nguội trong một khoảng rất rộng như trên hình vẽ.




*Hình 3. 13: Sự phụ thuộc của nhiệt độ $M_S$ vào tốc độ làm nguội $v_r$*

Sự phụ thuộc này được giải thích như sau: khi ở tốc độ nguội cỡ vài nghìn độ trên một giây, thời gian để Austenit lưu lại trên nhiệt độ chuyển biến Mactenxit là cỡ nhỏ hơn một giây. Thời gian này đủ để cho các tạp chất và các nguyên tử cacbon tập trung về xung quanh các khuyết tật mạng làm ổn định hoá Austenit, đòi hỏi độ quá nguội lớn nên nhiệt độ $M_S$ tương đối thấp (bằng thực nghiệm cho thấy với thép 0,5%C với $v_r < 6600^0C$ thì nhiệt độ $M_S = 370^0C$). Khi tốc độ nguội vượt qua một giá trị giới hạn nào đó, thời gian để Austenit lưu lại trên $M_S$ quá ngắn, cacbon và tạp chất không đủ thời gian tụ tập về khuyết tật mạng, dẫn đến giảm độ ổn định của Austenit và nhiệt độ $M_S$ tăng lên. Với tốc độ nguội tiếp tục tăng vượt quá một giới hạn nào đó, thời gian của Austenit ở trên nhiệt độ $M_S$ càng nhỏ hơn, quá trình khuếch tán hầu như không xảy ra làm ổn định hoá Austenit và nhiệt độ $M_S$ lại cố định. Trong thực tế vì dải phạm vi không tác động đến nhiệt độ $M_S$ của tốc độ nguội rất lớn, chính vì vậy khi nhiệt luyện thông thường, ta coi $M_S$ là cố định với các tốc độ nguội.

## 3.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình nấu luyện thép Mn thấp

### 3.3.1. Nghiên cứu cơ sở lý luận của quá trình nấu luyện thép Mn thấp

Cấu tạo kim loại lỏng có một số đặc điểm sau:

- Ở gần nhiệt độ kết tinh, thể tích kim loại ở trạng thái lỏng xấp xỉ với thể tích kim loại ở trạng thái rắn.
- Nhiệt dung riêng đẳng áp của kim loại lỏng xấp xỉ bằng nhiệt dung riêng đẳng áp cũng của kim loại đó ở trạng thái rắn.
- Cả kim loại lỏng và kim loại ở trạng thái rắn vẫn dẫn điện và dẫn nhiệt tốt.

Từ các đặc điểm trên, chúng ta có thể rút ra một số kết luận cơ bản sau:

- Thứ nhất là khoảng cách các nguyên tử kim loại trong trạng thái lỏng và trạng thái rắn là xấp xỉ nhau (do thể tích gần giống nhau), như vậy là có sự ổn định về mặt sắp xếp nguyên tử kim loại ở trạng thái lỏng.
- Thứ hai là dao động nhiệt của các nguyên tử kim loại quanh vị trí cân bằng ở hai trạng thái là gần giống nhau (do nhiệt dung riêng xấp xỉ nhau), do đó có mức độ ổn định của các nguyên tử là gần giống nhau.
- Thứ ba là trong kim loại lỏng vẫn tồn tại mây điện tử tự do (thể hiện qua tính dẫn điện).
- Thứ tư là nhiệt độ nóng chảy nhỏ hơn rất nhiều nhiệt hóa hơi.

Với các kết luận cơ bản kể trên, được rút ra khi xét đặc điểm cấu tạo của kim loại lỏng cho chúng ta thấy rằng, như vậy trong kim loại lỏng tồn tại cấu tạo và liên kết kim loại và do đó trật tự sắp xếp nguyên tử vẫn theo một trật tự xác định. Vấn đề cần phải đặt ra là trật tự sắp xếp nguyên tử trong kim loại lỏng và trạng thái rắn có gì khác biệt ? Các nghiên cứu đã chỉ ra trong kim loại lỏng là trật tự gần, ở trạng thái này có thể liên tục bắt gặp những vùng có cấu tạo tinh thể trong kim loại lỏng, đồng thời cũng luôn có sự hoà tan các phần cấu tạo tinh thể trở lại kim loại lỏng. Xác suất bắt gặp nguyên tử theo vị trí không gian có dạng dao động quanh giá trị ổn định.

***Điều kiện năng lượng của quá trình kết tinh***

Như đã xét, chúng ta thấy về mặt cấu trúc, ở gần nhiệt độ kết tinh kim loại lỏng có cấu tạo gần ở trạng thái rắn, như vậy khi kết tinh (chuyển từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn), việc đầu tiên chúng ta thấy đây là quá trình xảy ra theo sự giảm nhiệt độ và do đó nó là một quá trình nhiệt động. Chính vì vậy, để nghiên cứu quá trình kết tinh chúng ta sẽ áp dụng các quy luật nhiệt động. Trước hết chúng ta xét điều kiện năng lượng của sự kết tinh.

Năng lượng tự do đẳng áp của hệ (năng lượng Gibbs) được tính bằng biểu thức:

$$G = H - T.S \qquad (3.1)$$

Trong đó:

G: Năng lượng tự do đẳng áp của hệ; T: Nhiệt độ ($^0$K);

H: Entanpi (nhiệt hàm) của hệ; S: Entropi của hệ.

Biến thiên năng lượng tự do của hệ:

$$dG = dH - T.dS - S.dT \qquad (3.2)$$

Do quá trình đẳng áp (P = const) nên ta có:

$$dH = Cp.dT$$

$$dS = Cp.\frac{dT}{T} \qquad (3.3)$$

Thay (3.3) vào (3.2) ta có:

$$dG = -S.dT = -\left[\int_0^T Cp.\frac{dT}{T}\right]dT \qquad (3.4)$$

$$G = G_0 - \int_0^T\left[\int_0^T Cp.\frac{dT}{T}\right]dT \qquad (3.5)$$

Từ phương trình (3.5) với các kim loại ta có đồ thị thay đổi năng lượng tự do của hai pha lỏng và pha rắn

Trên đồ thị ta thấy hai đường cong cắt nhau tại một điểm có nhiệt độ là $T_0$. Từ đồ thị này chúng ta thấy rằng: Khi nhiệt độ của hệ nhỏ hơn nhiệt độ $T_0$, lúc đó năng lượng tự do của pha rắn nhỏ hơn của pha lỏng, vì vậy trạng thái rắn sẽ là ổn định và kim loại sẽ tồn tại ở trạng thái rắn. Ngược lại khi nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ $T_0$, năng lượng tự do của pha lỏng sẽ nhỏ hơn của pha rắn và do đó trạng thái lỏng trở nên ổn định hơn, kim loại sẽ tồn tại ở trạng thái lỏng.

Tại nhiệt độ $T_0$ ta có:

$$G_{lỏng} = G_{rắn} \qquad (3.6)$$

Tức là:

$$H_{lỏng} - T_0.S_{lỏng} = H_{rắn} - T_0.S_{rắn} \qquad (3.7)$$

$$H_{rắn} - H_{lỏng} = T_0(S_{rắn} - S_{lỏng}) \qquad (3.8)$$

$$T_0 = \frac{\Delta H}{\Delta S} \qquad (3.9)$$

ΔH: Độ chênh nhiệt hàm giữa trạng thái rắn và trạng thái lỏng của kim loại, chính là nhiệt nóng chảy của kim loại đó và được ký hiệu là $L_{n/c}$. Ta suy ra:

$$T_0 = \frac{L_{n/c}}{\Delta S} \quad (3.10)$$

Nhiệt độ $T_0$ gọi là nhiệt độ kết tinh lý thuyết của kim loại, tại nhiệt độ này tồn tại trạng thái cân bằng động giữa pha lỏng và pha rắn, chưa xảy ra quá trình kết tinh, cứ có bao nhiêu phần tử rắn xuất hiện thì lại có sự hoà tan trở lại kim loại lỏng bấy nhiêu phần tử rắn.

Như vậy, muốn quá trình kết tinh kim loại lỏng xảy ra ta phải có điều kiện:

$$\Delta G = G_{rắn} - G_{lỏng} < 0 \quad (3.11)$$

Tức là nhiệt độ thực tế của hệ $T_k$ phải thoả mãn:

$$\Delta T = T_0 - T_k > 0 \quad (3.12)$$

Giá trị ΔT gọi là độ quá nguội khi kết tinh. Và như vậy điều kiện kết tinh xảy ra chỉ khi $\Delta T > 0$. Ta thấy về mặt năng lượng, quá trình kết tinh kim loại lỏng sẽ xảy ra khi tồn tại độ quá nguội $\Delta T > 0$, song sự kết tinh xảy ra theo các giai đoạn thế nào, điều này sẽ được trình bày trong các phần tiếp theo.

Quá trình tạo mầm và phát triển mầm khi kết tinh

***Quá trình tạo mầm***

Khi thực hiện kết tinh, không phải ngay tức khắc toàn bộ thể tích kim loại lỏng chuyển sang trạng thái rắn mà phải trải qua các giai đoạn khác nhau theo thời gian. Ban đầu trong lòng kim loại lỏng có sự xuất hiện ra những phần tử rắn đầu tiên, mà không bị hoà tan trở lại kim loại lỏng. Người ta gọi đó là quá trình tạo mầm, quá trình tạo mầm có hai dạng cơ bản khác nhau là tạo mầm tự sinh (đồng pha) hoặc tạo mầm ký sinh (không đồng pha).

*Tạo mầm tự sinh*

Mầm tự sinh là những mầm được tạo ra từ bản thân kim loại lỏng, không chịu sự tác động của các yếu tố bên ngoài. Quá trình tạo mầm tự sinh xảy ra khi một nhóm nguyên tử có trật tự, cố định lại tạo cấu tạo mạng tinh thể cùng kiểu với mạng tinh thể kim loại đó. Khi trong lòng kim loại lỏng có sự xuất hiện một phần tử rắn ta thấy hệ có hai sự thay đổi năng lượng ngược chiều nhau là:

- Sự giảm năng lượng khi một thể tích pha lỏng chuyển sang trạng thái rắn (do khi kết tinh ở nhiệt độ nhỏ hơn $T_0$, lúc này năng lượng tự do của pha rắn nhỏ hơn pha lỏng).

- Khi pha rắn tạo ra, xuất hiện một bề mặt pha mới và có năng lượng bề mặt, dẫn đến làm tăng năng lượng của hệ.

Hai sự thay đổi này được mô tả qua biểu thức toán học như sau:

$$\Delta G = - \Delta G_{thể\ tích} + \Delta G_{bề\ mặt} \quad (3.13)$$

Trong đó:

ΔG: Sự thay đổi năng lượng tự do của hệ;

$\Delta G_{thể\ tích}$: Sự giảm năng lượng khi chuyển từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn;

$\Delta G_{bề\ mặt}$: Sự tăng năng lượng do năng lượng bề mặt của pha rắn mới tạo ra.

Ta có:

$$\Delta G_{thể\ tích} = G_{lỏng} - G_{rắn} \quad (3.14)$$

Hay:

$$(H_{lỏng} - H_{rắn}) - T_k(S_{rắn} - S_{lỏng}) = \Delta G_{thể\ tích}$$

$$\Leftrightarrow L_{n/c} - T_k.\ \Delta S = \Delta G_{thể\ tích} \quad (3.15)$$

Từ (3.10) và (3.15) ta có:

$$\Delta G_{thể\ tích} = L_{n/c} - T_k.\frac{L_{n/c}}{T_0}$$

$$\Leftrightarrow \Delta G_{thể\ tích} = \frac{L_{n/c}.\Delta T}{T_0} \quad (3.16)$$

Biểu thức (3.16) là năng lượng giảm đi của hệ khi tạo một đơn vị thể tích pha rắn. Giả sử mầm ban đầu tạo ra là có dạng hình cầu với bán kính r (thoả mãn điều kiện năng lượng bề mặt nhỏ nhất), ta có biểu thức tính độ giảm năng lượng của hệ khi tạo mầm pha mới là:

$$\Delta G_{thể\ tích} = \frac{4}{3}\pi r^3.L_{n/c}.\frac{\Delta T}{T_0} \quad (3.17)$$

Vậy biến thiên năng lượng tự do của hệ là:

$$\Delta G = -\frac{4}{3}\pi r^3.L_{n/c}.\frac{\Delta T}{T_0} + 4\pi r^2.\sigma \quad (3.18)$$

Trong đó:

$\sigma$: Sức căng bề mặt đơn vị của bề mặt mầm.

Từ biểu thức (2.18) ta có thể vẽ đồ thị mô tả sự biến thiên năng lượng của hệ theo sự thay đổi của bán kính mầm pha rắn mới tạo ra (hình 3.4).

Từ đồ thị chúng ta thấy sẽ tồn tại một giá trị $r_{th}$ tại đó ứng với giá trị biến thiên năng lượng ÄG là cực đại. Do đó khi các mầm tạo ra có bán kính nhỏ hơn $r_{th}$ sẽ không phát triển được, mà bị hoà tan trở lại kim loại lỏng. Chỉ có những mầm có bán kính lớn hơn $r_{th}$ mới tiếp tục phát triển được, thay thế dần pha lỏng để thực hiện quá trình kết tinh.

Ta có thể tính bán kính mầm tới hạn ($r_{th}$) như sau:

$$\left.\frac{\partial(\Delta G)}{\partial}\right|_{r=r_{th}} = 0$$

$$\Leftrightarrow -4\pi r_{th}^2.L_{n/c}.\frac{\Delta T}{T_0} + 8\pi r_{th}.\sigma = 0$$

$$\Leftrightarrow 4\pi r_{th}\left(2\sigma - r_{th}.L_{n/c}.\frac{\Delta T}{T_0}\right) = 0 \quad (3.19)$$

$$\Leftrightarrow r_{th} = \frac{2\sigma.T_0}{L_{n/c}.\Delta T}$$

Từ biểu thức (3.19) ta thấy giá trị của bán kính mầm tới hạn tỷ lệ nghịch với độ quá nguội khi kết tinh ΔT. Khi giá trị ΔT càng lớn (tức là nhiệt độ kết tinh càng nhỏ), sẽ dẫn đến $r_{th}$ càng nhỏ và do đó quá trình tạo mầm xảy ra nhanh hơn, các mầm tạo ra có khả năng phát triển được có bán kính nhỏ hơn. Ngoài ra giá trị bán kính mầm tới hạn còn phụ thuộc vào tính chất vật lý của bản thân kim loại kết tinh. Biểu thức (3.19) cũng khẳng định rằng, khi ở nhiệt độ $T_0$ (ΔT = 0) quá trình kết tinh là không thể xảy ra do $r_{th} = \infty$.

Thay biểu thức (3.19) vào biểu thức (3.18) ta có năng lượng tới hạn để tạo mầm có bán kính tới hạn là:

$$\begin{aligned}
\Delta G_{th} &= -\frac{4}{3}\pi r_{th}^3.L_{n/c}.\frac{\Delta T}{T_0} + 4\pi r_{th}^2.\sigma \\
&= 4\pi r_{th}^2\left(-\frac{\Delta T}{3T_0}L_{n/c}.r_{th} + \sigma\right) \\
&= 4\pi r_{th}^2\left(\sigma - \frac{L_{n/c}}{T_0}\Delta T.\frac{1}{3}r_{th}\right) \\
&= 4\pi r_{th}^2\left(\sigma - \frac{L_{n/c}}{T_0}\Delta T.\frac{1}{3}\frac{2\sigma.T_0}{L_{n/c}.\Delta T}\right) \\
&= 4\pi r_{th}^2\left(\sigma - \frac{2\sigma}{3}\right) \qquad (3.20) \\
&= \frac{1}{3}\sigma.F_{th}
\end{aligned}$$

Trong đó:

$F_{th}$: Diện tích bề mặt mầm tới hạn.

Như vậy biến thiên năng lượng tự do của hệ là:

$$\Delta G_{th} = \frac{1}{3}4\pi r_{th}^2.\sigma = \frac{1}{3}\Delta G_{\text{bề mặt}} \qquad (3.21)$$

Ta thấy sự giảm năng lượng do yếu tố thể tích chỉ đủ để tạo 2/3 diện tích bề mặt mầm tới hạn, như vậy để tạo mầm cần phải có sự cấp thêm năng lượng từ các nguồn khác. Nguồn cấp năng lượng này dựa vào sự ba động năng lượng của hệ, giá trị năng lượng của kim loại lỏng khi kết tinh phải hiểu là giá trị trung bình. Năng lượng của các phần thể tích nhỏ khác nhau ở những thời điểm khác nhau có sự thay đổi, có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị trung bình. Nếu phần năng lượng tăng thêm do ba động năng lượng đủ để cung cấp phần năng lượng còn thiếu để tạo bề mặt, khi đó quá trình tạo mầm sẽ xảy ra. Do đó quá trình tạo mầm liên quan chặt chẽ đến sự

ba động năng lượng và xác suất tạo mầm chính là xác suất ba động năng lượng với trị số $\Delta G_{th}$.

Ta có:

$$P_1(x) = c_1 \exp\left(-\frac{\Delta G_{th}}{K.T}\right) = c_1 \exp\left(-\frac{16\pi}{3K}\frac{T_0^2.\sigma^3}{L_{n/c}^2}\frac{1}{T.\Delta T^2}\right) = c_1 \exp\left(-\frac{c_2.\sigma^3}{T.\Delta T^2}\right) \quad (3.22)$$

Trong đó:

$P_1(x)$: Xác suất tạo mầm tới hạn;

K: Hằng số Boltzmann.

Biểu thức (3.22) cho thấy xác suất tạo mầm phụ thuộc rất mạnh vào $\Delta T$. Các thí nghiệm thực tế đã chỉ ra rằng, kim loại nếu có độ sạch cao khi kết tinh xảy ra với $\Delta T$ khá lớn (tới 0,2 $T_0$), nhưng với các kim loại thông thường quá trình kết tinh lại bắt đầu với những độ quá nguội rất nhỏ (từ 1 ÷ 10 $^0$C), điều này được giải thích bởi sự ảnh hưởng của các tạp chất có mặt trong kim loại lỏng và là cơ chế tạo mầm khác pha.

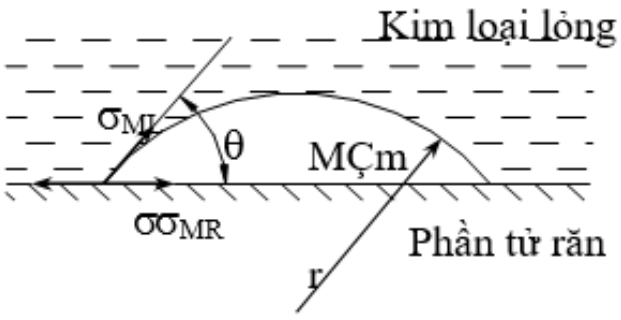
*Tạo mầm ký sinh*

Mầm ký sinh là những mầm được tạo ra trên cơ sở các "hạt rắn có sẵn" trong kim loại lỏng. Khái niệm về "hạt rắn có sẵn" gồm các yếu tố cơ bản sau:

- Thành khuôn chứa kim loại lỏng khi kết tinh.
- Các tạp chất khó chảy lẫn trong kim loại lỏng (ví dụ: $Al_2O_3$, $Cr_2O_3$, ... lẫn trong kim loại lỏng).
- Bụi tường lò lẫn trong kim loại lỏng.

Với sự xuất hiện của các hạt rắn có sẵn, sự thay đổi năng lượng tự do khi tạo mầm trong trường hợp này có các đặc điểm riêng của mình.

Chúng ta khảo sát mô hình tạo mầm, một cách đơn giản như sau: Giả sử trên bề mặt của hạt rắn có sẵn có một mầm được tạo ra có dạng chỏm cầu với bán kính r (hình 3.14). Góc θ là góc tiếp xúc giữa mầm và bề mặt vật rắn.




*Hình 3. 14: Mô hình tạo mầm ký sinh*

Bán kính tới hạn của mầm là:

$$r_{th} = \frac{2\sigma_{ML}.T_0}{L_{n/c}.\Delta T} \quad (3.17)$$

Và năng lượng cần thiết để tạo mầm ký sinh có bán kính tới hạn là:

$$\Delta G_{th} = \frac{1}{3} C.\sigma_{ML}.4\pi r_{th}^2 \quad (3.18)$$

Biểu thức (3.18) cho thấy, năng lượng cần thiết để tạo mầm ký sinh phụ thuộc vào góc θ. Và chỉ khác năng lượng cần thiết để tạo mầm tự sinh bởi hệ số $C=2-3\cos\theta-\cos^3\theta$

Chúng ta thấy rằng, cosθ có thể nhận các giá trị từ -1 đến +1, để thấy rõ ảnh hưởng của góc θ chúng ta xét các trường hợp:

Khi cosθ = - 1, góc $\theta = 180^0$, hệ số C=1 tức là mầm tạo ra có dạng hình cầu, lúc đó quá trình tạo mầm trở về mầm tự sinh và vai trò của vật rắn trong quá trình kết tinh là không còn, vì khi đó tạo mầm trên pha rắn sẽ có năng lượng cao hơn khi tạo mầm trong lòng pha lỏng.

Khi cosθ = 1, góc $\theta = 0^0$, hệ số C=0 tức là $\Delta G_{th} = 0$, đây là trường hợp lý tưởng khi đó quá trình tạo mầm ký sinh lợi hơn rất nhiều so với quá trình tạo mầm tự sinh

Trong tất cả các trường hợp khác khi cos θ luôn lớn hơn -1 và nhỏ hơn 1 thì hệ số C luôn lớn hơn 0 và nhỏ hơn 1. Năng lượng tạo mầm ký sinh sẽ nhỏ hơn năng lượng tạo mầm tự sinh. Khi đó bề mặt của vật rắn có sẵn thúc đẩy quá trình kết tinh nhanh h¬n.

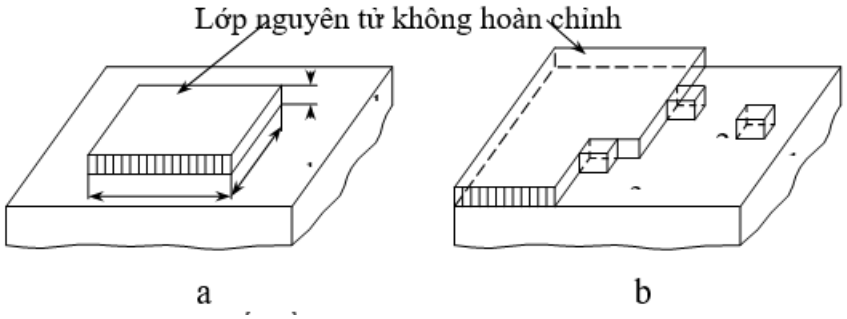
Quá trình phát triển mầm

Quá trình phát triển mầm là sự phát triển về mặt kích thước của các phần tử rắn để dần dần chiếm chỗ thể tích pha lỏng.

Có hai lý thuyết về quá trình lớn lên của mầm là: cơ chế mầm lớn lên theo lớp nguyên tử không hoàn chỉnh và mầm lớn lên theo bề mặt lệch xoắn.

Cơ chế mầm lớn lên theo lớp nguyên tử không hoàn chỉnh

Lớp nguyên tử không hoàn chỉnh là các phần có cấu tạo tinh thể xuất hiện và mất đi trong kim loại lỏng ở gần nhiệt độ kết tinh.




*Hình 3. 15: Mô hình cơ chế mầm lớn lên theo lớp nguyên tử không hoàn chỉnh*

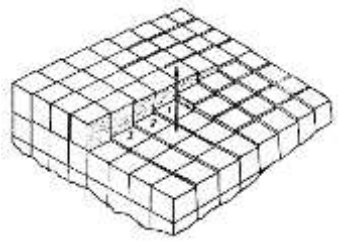
Xét trên bề mặt pha rắn, đầu tiên lớp nguyên tử không hoàn chỉnh có sắp xếp trật tự với kích thước a x b và chiều cao bằng một đường kính nguyên tử gắn lên bề

mặt pha rắn (hình a). Tiếp theo đó, những nguyên tử riêng biệt từ pha lỏng điền dần vào để đạt được lớp nguyên tử hoàn chỉnh (hình b). Sau đó lại một lớp nguyên tử không hoàn chỉnh khác gắn vào và quá trình lớn lên của mầm cứ tiếp tục theo đó.

Các khối lập phương biểu diễn các nguyên tử, chúng có thể gắn vào tinh thể theo các vị trí 1, 2, 3 trong đó vị trí 3 là ổn định nhất vì nó cho phép nguyên tử tiếp xúc với tinh thể theo ba mặt, vị trí 2 kém ổn định hơn và vị trí 1 là bất lợi nhất vì nguyên tử chỉ tiếp xúc với tinh thể theo hai và một mặt.

Mầm tạo ra theo cơ chế dựa vào lệch xoắn

Ở pha rắn luôn tồn tại lệch có chứa lệch xoắn. Vì tinh thể có chứa lệch xoắn nên bề mặt trực giao với trục của lệch có dạng xoắn, trên nó đã có sẵn những bậc cấp đóng vai trò như lớp nguyên tử không hoàn chỉnh. Tinh thể lớn lên bằng cách các nguyên tử bám vào bề mặt ở những nơi có bậc cấp như hình vẽ.



*Hình 3. 16: Mô hình mầm tạo ra theo cơ chế dựa vào lệch xoắn*

Cả hai cơ chế lớn lên của mầm đều có những giá trị riêng của mình và nói lên hai khả năng thực tế của sự phát triển tinh thể. Điểm giống nhau của chúng là trên bề mặt tinh thể đang lớn lên phải có những bậc cấp để nguyên tử từ pha lỏng gắn vào. Đó cũng là hai khả năng thực tế trong quá trình kết tinh.

### 3.3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ nấu luyện đến quá trình hợp kim hóa thép Mn thấp

### 3.3.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp hợp kim hóa đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp

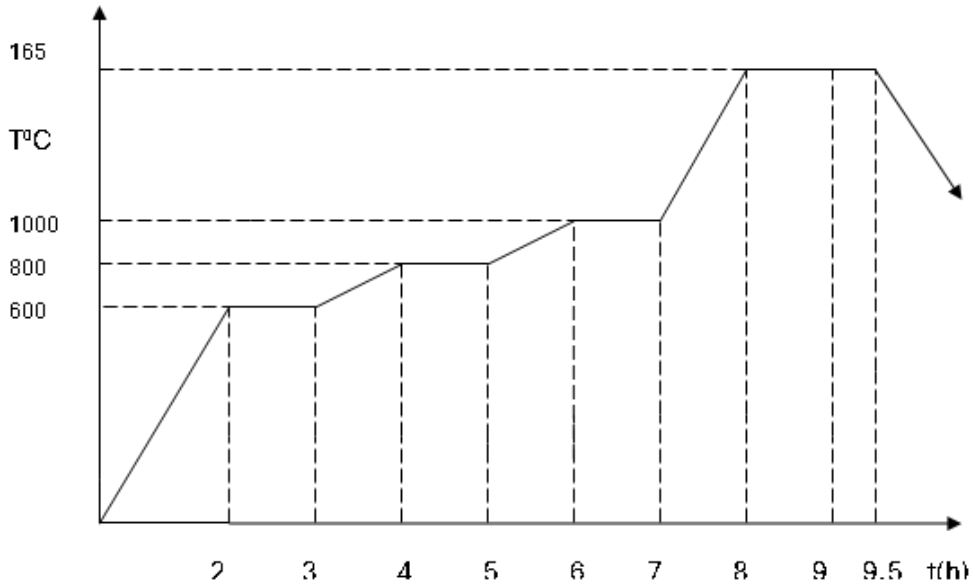
Quy trình nấu thép trong lò điện cảm ứng trung tần phải trải qua những giai đoạn sau:

a) Chuẩn bị lò nấu

Kiểm tra nội hình lò đảm bảo.

Vá lại lò nếu mẻ nấu bắt đầu khi lò nguội theo tiêu chuẩn công ty

Vá sửa nồi rót, sấy nóng 700 - 800$^0$C




*Hình 3. 17:* Sơ đồ thiêu kết lò

b) Chuẩn bị nguyên liệu

Yêu cầu kỹ thuật:

Yêu cầu kỹ thuật các vật liệu: thép vụn, fero, chất tăng cacbon, vật liệu tạo xỉ, chất oxi hoá theo tiêu chuẩn.

Với thép vụn tổng các tạp không khử được không vượt quá thành phần quy định của các mác thép (có tính đến tạp đưa vào từ fero), %P, S < 0,04%

Tính phối liệu:

Căn cứ thành phần yêu cầu và tỉ lệ cháy hao hợp kim khi nấu

Với thép hợp kim thấp %C tính giới hạn dưới mác thép

Với gang %C tính giới hạn trên của mác

Với Ni, Mo, Cu tính giới hạn dưới hoặc giữa mác thép. % Ti tính giới hạn trên mác thép.

Với Mn, Cr tính giới hạn giữa mác thép.

*Bảng 3. 6:* Hiệu suất thu hồi các nguyên tố hợp kim khi nấu trong lò điện cảm ứng bazơ theo phương pháp không oxi hoá

| Nguyên tố | Thời điểm hợp kim | Dạng vật liệu | Hiệu suất (%) |
|---|---|---|---|
| C | Nạp liệu | Vụn điện cực | 95 |
| C | " | Than cốc | 70 |
| Mn | " | Phế thép chứa Mn | 40 (85*) |
| Si | " | Phế thép chứa Si | 10 - 20 |
| Ni | " | Ni kim loại | 100 |
| Mo | " | FeMo | 100 |
| Cr | " | FeCr | 80 - 90 |
| Ti | " | Phế thép chứa Ti | 5 - 10 |
| V | " | Phế thép chứa V | 10 - 20 |

| Nguyên tố | Thời điểm hợp kim | Dạng vật liệu | Hiệu suất (%) |
|---|---|---|---|
| C | Hoàn nguyên | Than cốc | 80 |
| C | “ | Điện cực vụn | 95 |
| Mn | Đầu thời kỳ hoàn nguyên | FeMn | 80 – 90 |
| Mn | Cuối thời kỳ hoàn nguyên | FeMn | 95 |
| Si | Đầu thời kỳ hoàn nguyên | FeSi | 60 |
| Si | Cuối thời kỳ hoàn nguyên | FeSi | 90 |
| Cr | Đầu thời kỳ hoàn nguyên | FeCr | 95 |
| Ti | Trước khi ra thép 3 phút | FeTi | 80 - 90 |
| V | Cuối thời kỳ hoàn nguyên | FeV | 90 |

Tính toán phối liệu:

Có 2 phương án:

Mẻ liệu gồm thép phế C, gang luyện thép.

Mẻ liệu có hồi liệu thép vụn, thép vụn và gang thỏi.

II.3. Cơ sở tính toán phối liệu cho mẻ luyện thép Mn thấp

Thành phần nguyên liệu giả định dùng thống nhất cho phép tính được trình bày ở Bảng 3.7; đơn vị % khối lượng.

*Bảng 3. 7: Thành phần phối liệu kim loại chính, %*

| **Nguyên liệu** | **C** | **Mn** | **Si** | **Cr** | **Mo** | **Ni** | **Al** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thép vụn CT3 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Gang xám | 3,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMn C thấp | 1,00 | 70,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeCr C thấp | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeSi75 | 0,00 | 0,00 | 75,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMo60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ni kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,90 | 0,00 |

| Nguyên liệu | C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Al kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,70 |

Tính phối liệu cho thép Mn thấp có thành phần đích như Bảng 3.8.

Bảng 3. 8: Thành phần đích của thép Mn thấp dùng tính phối liệu, %

| C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,255 | 0,887 | 1,631 | 1,676 | 0,251 | 0,040 | 0,053 |

Thành phần đích của thép Mn thấp dùng để tính phối liệu (mẫu nền M0): C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Cơ sở tính giả định: giữ các giá trị đã nêu cho CT3 (0,20% C; 0,02% Cr), gang xám (3% C), FeMn (1% C; 0,6% Si; 70% Mn) và FeCr (1% C; 60% Cr). Bổ sung giả thiết FeSi75 chứa 75% Si, FeMo60 chứa 60% Mo, Ni kim loại chứa 99,9% Ni và Al kim loại chứa 99,7% Al. Các ô 0 là giả thiết bỏ qua đóng góp, không phải kết quả phân tích; phần còn lại quy ước là Fe.

Hiệu suất thu hồi giả định: C 85%; Mn 90%; Si 90%; Cr 95%; Mo 100%; Ni 100%; Al 50%. C, Mn, Cr kế thừa tỷ lệ cháy hao đã chọn trong báo cáo; Si lấy theo trường hợp FeSi bổ sung cuối kỳ hoàn nguyên; Mo, Ni theo bảng hiệu suất của báo cáo. Al 50% là giả thiết tính thử cần xác nhận. Giả thiết Fe thu hồi 100%, chưa xét tổn thất cơ học và kim loại cuốn theo xỉ.

Quy ước M = 100 kg là khối lượng thép lỏng sau cháy hao, không phải tổng lượng nạp và không phải khối lượng vật đúc sau cắt hệ thống rót. Khối lượng từng nguyên liệu $m_j$ tính bằng kg; $a_{ij}$ là phần khối lượng nguyên tố i trong nguyên liệu j; $c_i$ là phần khối lượng đích; $\eta_i$ là hiệu suất thu hồi.

Cân bằng đồng thời từng nguyên tố: $\eta_i \times \Sigma(a_{ij} \times m_j) = M \times c_i$. Cân bằng khối lượng thép lỏng: $\Sigma m_j - \Sigma_i[(1 - \eta_i) \times \Sigma_j(a_{ij} \times m_j)] = M$. Các hàm lượng trong phương trình dùng dạng phần khối lượng (ví dụ 0,255% = 0,00255).

Đặt t, g, f, r, s, u, n, a lần lượt là khối lượng CT3, gang xám, FeMn, FeCr, FeSi75, FeMo60, Ni và Al. Hệ phương trình gồm:

C: 0,85 × (0,002t + 0,03g + 0,01f + 0,01r) = 0,00255M.

Mn: 0,90 × 0,70f = 0,00887M; Si: 0,90 × (0,006f + 0,75s) = 0,01631M.

Cr: 0,95 × (0,0002t + 0,60r) = 0,01676M; Mo: 0,60u = 0,00251M.

Ni: 0,999n = 0,00040M; Al: 0,50 × 0,997a = 0,00053M.

Khối lượng: 0,99969t + 0,9955g + 0,9279f + 0,9685r + 0,925s + u + n + 0,5015a = M.

Giải hệ cho M = 100 kg thu được lượng nạp dự kiến như sau (kg):

| **Nguyên liệu** | **Khối lượng nạp, kg** |
|---|---|
| Thép vụn CT3 | 90,661663 |
| Gang xám | 2,516534 |
| FeMn C thấp | 1,407937 |
| FeCr C thấp | 2,910130 |
| FeSi75 | 2,405033 |
| FeMo60 | 0,418333 |
| Ni kim loại | 0,040040 |
| Al kim loại | 0,106319 |
| Tổng lượng nạp | 100,465988 |

Kiểm tra khối lượng: 100,465988 − 0,465988 = 100,000000 kg thép lỏng. Phần hao hụt trên chỉ gồm cháy hao các nguyên tố theo giả thiết.

Kiểm tra thành phần sau thu hồi: C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Đây là phối liệu tính toán theo giả thiết, chưa phải định mức nạp đã được xác nhận thực nghiệm. Trước mỗi mẻ phải thay các giả thiết bằng chứng chỉ/kết quả phân tích nguyên liệu và hiệu suất thu hồi thực tế, tính lại đồng thời cả hệ, cân theo độ chính xác thiết bị và kiểm tra quang phổ để hiệu chỉnh. Al nạp bao gồm phần bị oxy hóa và phần còn lại trong thép; không cộng thêm tùy ý lượng Al khử oxy ngoài cân bằng này.

Quy đổi cho 1.000 kg thép lỏng sau cháy hao (kg): Thép vụn CT3 906,6166; Gang xám 25,1653; FeMn C thấp 14,0794; FeCr C thấp 29,1013; FeSi75 24,0503; FeMo60 4,1833; Ni kim loại 0,4004; Al kim loại 1,0632. Tổng lượng nạp 1004,6599 kg. Cần kiểm tra dung tích và khối lượng nạp cho phép của lò; đây là quy đổi tính toán, không mặc định cho phép nạp vượt công suất lò.

II.4. Quy trình nấu trong lò điện cảm ứng

Quy trình nấu trong lò điện cảm ứng được chia ra làm nhiều thời kỳ :

Nạp liệu

Nấu chảy

Oxi hóa và tinh luyện

a) Quá trình nạp liệu

Nạp liệu:

Nạp lót khoảng 50 kg thép vụn loại nhỏ nhằm bảo vệ đáy lò.

Nạp chất tăng C (nạp vảy rèn và đá vôi nếu cần oxi hoá Si, khử P)

Nạp fero, liệu thép vụn, Ni, FeMo…

Xếp các cục liệu to sát tường lò, chèn liệu nhỏ cho đầy lò, các liệu nhỏ tập trung ở giữa và phía trên.

Chiều cao xếp liệu ở mức 2/3 chiều cao của lò

b) Quá trình nấu luyện

Nấu chảy:

Khi lò nguội đóng điện 50% công suất sấy lò khoảng 20 - 30 phút

Nâng công suất cao cho chảy liệu

Tiến hành bổ sung dần liệu vào lò, ấn liệu xuống, thường xuyên cho thép lỏng dâng lên và liệu đi xuống.

Trong quá trình nấu luyện thì các lớp liệu phía trên chảy rất chậm vì vậy thường hay xuất hiện hiện tượng treo liệu. Để khắc phục cần chú ý thường xuyên đẩy liệu chưa chảy xuống phía dưới vùng kim loại lỏng.

Khi cục liệu cuối cùng chìm vào kim loại lỏng thì tiến hành tạo xỉ che phủ bề mặt để kim loại lỏng không bị hút khí và đỡ tổn nhiệt. Nếu nấu trong lò axit thì dùng vật liệu tạo xỉ là vụn thủy tinh, còn nấu trong lò bazo dùng hỗn hợp 60% vôi +20% cát mannhehit + 20% huỳnh thạch, lượng xỉ dùng trên dưới 3% trọng lượng kim loại lỏng.

Tuy nhiên khi cho chất tạo xỉ vào thì những chất này rất khó nóng chảy, đồng thời lớp kim loại lỏng tiếp xúc với lớp này nhiệt độ cũng không cao do đó dễ bám vào tường lò gây hỏng và bào mòn nhanh tường lò, vì vậy cần nung nóng xỉ. Có 2 cách nung nóng xỉ:

Dùng nắp đậy graphit để dòng cảm ứng nung nóng xỉ

Dùng 2 điện cực graphit nhúng vào xỉ để nung nóng xỉ

Khi liệu chảy hoàn toàn ở mức lò 80 - 90% trọng lượng mẻ nấu tiến hành vớt sạch xỉ, dùng que thép khuấy đều lò và lấy mẫu phân tích thành phần.

c) Oxi hóa

Thông thường chỉ áp dụng khi cần oxi hoá Si, P. Nếu thành phần mẻ liệu đạt giới hạn mác thép thì bỏ qua giai đoạn này.

Căn cứ thành phần mẫu phân tích tiến hành oxi hoá

Nâng nhiệt lên 1550 -1600$^{o}$C

Định kỳ 7 - 10 phút vớt sạch xỉ, nạp mỗi lần (0,7 - 1%) vảy rèn và (0,7 - 1%) đá vôi tính theo trọng lượng mẻ nấu.

Lấy mẫu kiểm tra thành phần lần 2. Nếu thành phần C, Mn, Si ≤ mác thép (có tính đến lượng đưa vào khi hoàn nguyên) thì dừng oxi hoá chuyển sang giai đoạn hoàn nguyên.

d) Hoàn nguyên

Vớt sạch xỉ tạo xỉ mới.

Dùng bột than cốc khô rắc mỏng trên bề mặt.

Căn cứ mẫu phân tích hợp kim hoá các loại fero cho đủ yêu cầu mác thép. Thành phần mác thép điều chỉnh < giới hạn dưới mác thép ~ 0,2%

Nâng nhiệt đạt nhiệt độ yêu cầu của công nghệ đúc

T0ra thép = T0rót + ΔTnồi rót

Khử oxi trực tiếp bằng FeSi, tính toán đưa vào lượng 0,2 - 0,3% Si

Khử oxi lần cuối bằng Al (0,7- 0,8 kg/tấn) nhúng vào kim loại lỏng

Nếu mẻ nấu có hợp kim hoá bằng Ti thì khử oxi sơ bộ sau đó hợp kim hóa bằng FeTi.

e) Ra thép

Cho Al thường dùng 0,5 kg/ tấn vào nồi rót sau đó ra thép.

Lấy mẫu kiểm soát thành phần.

Khi ra lò lượng nhiệt mất đi ta tham khảo bảng giá trị sau:

*Bảng 3. 8: Lượng mất nhiệt độ trung bình ở nồi rót 1-2 tấn khi ra thép.*

| **Nhóm mác thép** | **T$^o$ thép lỏng khi ra lò, $^0$C** | **Lượng mất nhiệt ở nồi rót ΔT,$^0$C** | |
|---|---|---|---|
| | | **Nồi 1 tấn** | **Nồi 2 tấn** |
| Thép cacbon, kết cấu hợp kim | 1630 - 1700 | 100 - 120 | 60 - 80 |
| Thép Cr cacbon cao | 1530 - 1650 | 80 - 100 | 50 - 70 |
| Thép không gỉ, chịu nhiệt | 1650 - 1720 | 110 - 130 | 70 - 90 |
| Thép mangan | 1550 - 1650 | 80 - 100 | 50 - 70 |
| Gang | 1420 - 1480 | 70 - 100 | 50 - 70 |

II.5. Ra lò và rót

Kim loại lỏng sau khi được nâng nhiệt lên nhiệt độ cao đạt nhiệt độ ra lò, tiến hành tắt nguồn điện lò và đưa gầu rót vào để rót. Trước đó phải tiến hành quá trình sấy gầu rót thật kỹ, đưa nhiệt độ bên trong gầu rót lên xấp xỉ nhiệt độ của kim loại lỏng tránh hiện tượng sôi kim loại lỏng khi đưa sang gầu rót. Gầu rót được cần trục đưa đến các khu vực làm khuôn và rót, khi rót tốc độ dòng chảy không được cao quá hoặc thấp quá. Bởi tốc độ dòng chảy ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng vật đúc, khi dòng chảy kim loại cao đi vào khuôn tạo lực mạnh tác dụng lên thành khuôn gây vỡ khuôn, bong cát tại những nơi khuôn có độ bền kém hoặc những nơi thành mỏng, đồng thời kim loại đi vào khuôn chưa kịp điền đầy bên trong khuôn thì đã đầy bát rót hoặc điền đầy khuôn nhưng do tốc độ nguội lớn nên gây ra lõm co và ngót co. Khi tốc độ dòng chảy thấp kim loại chưa kịp điền đầy khuôn thì đã có phần nguội trước. Vì vậy mà khi rót tốc độ dòng chảy đảm bảo là dòng chảy tầng, đảm bảo được các yếu tố trên.

### 3.3.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp biến tính đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp

### 3.3.5. Nghiên cứu phương pháp khử tạp chất khi nấu luyện thép Mn thấp

## 3.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình đúc thép Mn thấp

### 3.4.1. Nghiên cứu cơ sở lý luận về quá trình kết tinh và đông đặc thép Mn thấp

### 3.4.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của khuôn đúc đến chất lượng chi tiết chế tạo từ thép Mn thấp

Để tính hệ thống rót cho vật đúc, trước hết ta xác định thời gian rót có lợi nhất đối với vật đúc đã cho và sau đấy xác định tiết diện của các thành phần của hệ thống rót đảm bảo được thời gian rót quy định.

Thời gian rót hợp lý được xác định theo công thức thực nghiệm sau:

$t = s\sqrt[3]{gG}$

trong đó: g – chiều dày chính hay trung bình của thành vật đúc (mm)

G – khối lượng vật đúc cùng hệ thống rót, ngót (kg)

s – hệ số

*Bảng 3. 9: Hệ số s phụ thuộc vào vị trí dẫn kim loại*

| Nhiệt độ và độ chảy loãng của kim loại | Cách dẫn kim loại | | |
|---|---|---|---|
| | Rót xi phông Vào thành dày của khuôn | Vào một nửa chiều cao của vật đúc | Rót trên xuống Rót vào chỗ thành mỏng của vật đúc |
| Bình thường | 1,3 | 1,4 | 1,5 – 1,6 |
| Cao | 1,4 – 1,5 | 1,5 – 1,6 | 1,6 – 1,8 |

*Chú thích:* 1. Trường hợp có nguy cơ tạo thành ứng suất đúc, hay rỗ ngót trong vật đúc, hệ số s tăng 0,1-0,2.

2. Khuôn kim loại hay khuôn cát có nhiều vật làm nguội phải rót nhanh do đó hệ số giảm 0,1- 0,2.

Xác định thời gian rót kim loại vào khuôn cần tính đến tốc độ dâng của kim loại trong khuôn khi rót. Tốc độ này không được quá bé vì sẽ làm thành vật đúc nhăn nheo do kim loại bị nguội, cũng như bị bẩn do ôxit hay tạp chất phi kim loại tạo thành trên bề mặt kim loại.

Đối với vật đúc có chiều cao C (cm), đo từ điểm thấp nhất đến điểm cao nhất theo vị trí khi rót.

*Tốc độ dâng kim loại được tính theo công thức:*

$v = \frac{C}{t}$ (cm/s)

*Bảng 3. 10: Trị số v bé nhất cho phép (cm)*

| Chiều dày thành vật đúc (mm) | Vật đúc thép |
|---|---|

| | |
|---|---|
| < 4 | – |
| 4 – 10 | 2 |
| 10 – 40 | 1 |
| > 40 | 0,8 |

Sau khi xác định thời gian rót khuôn hợp lý t, ta tính diện tích tiết diện ở chỗ hẹp nhất của hệ thống rót $F_{min}$ xác định lượng kim loại chảy trong một đơn vị thời gian qua hệ thống rót theo công thức:

$$F_{min} = \frac{G}{0{,}31\mu\sqrt{h_{tb}t}} = \frac{1}{0{,}31\mu\sqrt{h_{tb}}}\frac{G}{t}$$

Trong đó: G – khối lượng vật đúc kể cả hệ thống rót, ngót (kg)

$\mu$ – hệ số trở lực chung của khuôn

$H_{tb}$ – cột áp suất thủy tĩnh trung bình của kim loại (cm)

$\frac{G}{t}$ – tốc độ cung cấp kim loại từ thùng rót (kg/s)

Trở lực của khuôn phụ thuộc vào mức độ phức tạp của vật đúc. Vật đúc hình dáng đơn giản có trở lực bé (hệ số $\mu$ lớn), vật đúc hình dáng phức tạp có trở lực lớn (hệ số $\mu$ bé).

*Bảng 3. 11: Hệ số trở lực của khuôn $\mu$ đối với vật đúc gang và thép*

| Loại vật đúc | Loại khuôn | Trở lực khuôn | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lớn | Trung bình | Nhỏ |
| Gang | Tươi | 0,35 | 0,42 | 0,5 |
| | Khô | 0,41 | 0,48 | 0,6 |
| Thép | Tươi | 0,25 | 0,32 | 0,42 |
| | Khô | 0,3 | 0,38 | 0,5 |

Cột áp suất thủy tĩnh trung bình của kim loại $h_{tb}$ (tính bằng cm) trong thời gian rót khuôn, được tính theo công thức:

$$H_{tb} = H_0 - \frac{p2}{2C} \quad (2.4)$$

Trong đó: $H_0$ – áp suất thủy tĩnh ban đầu lớn nhất (cm)

P – chiều cao của vật đúc trên rãnh dẫn (cm)

C – chiều cao của vật đúc ở vị trí khi rót (cm)

2.5. Thiết kế đậu ngót

*Vị trí đặt đậu ngót*

Cách xác định vị trí đậu ngót dựa theo nguyên tắc sau:

Đậu ngót được đặt trên phần dày nhất của vật đúc.

Đậu ngót không làm cản trở sự co tự do của vật đúc. Để tránh nứt có khi phải đặt ruột xốp ở vùng cản co.

Đậu ngót phải dễ cắt ra và dễ làm sạch vết cắt.

Đậu ngót còn có thể làm nhiệm vụ đậu hơi để thoát khí và chất bẩn ra khỏi khuôn. Vì vậy nếu có thể nên bố trí đậu ngót ở chỗ cao của vật đúc.

Tránh đặt đậu ngót quá sát thành của vật đúc tạo nên khe cát mỏng, khi rót bị nung nóng nhiều, dễ sinh rỗ ngót ở thành vật đúc.

*Các loại đậu ngót*

Theo kết cấu thì có hai loại đậu ngót trên và đậu ngót bên hông ở dạng kín và hở.

Đậu ngót trên được dùng phổ biến nhất, được đặt trực tiếp trên nút nhiệt. Những loại đậu ngót này ngoài nhiệm vụ bổ sung kim loại cho vật đúc còn làm vai trò đậu hơi. Việc bổ sung kim loại bằng đậu ngót trên so với đậu ngót bên hông đạt được hiệu quả tốt hơn do lợi dụng được cột áp suất thủy tĩnh cao hơn.

Đậu ngót hở trên có những ưu điểm sau: Dễ ráp khuôn, có thể kiểm tra khuôn trước lúc rót và quan sát được kim loại chảy qua khuôn trong lúc rót.

Khuyết điểm của đậu ngót hở là chiều cao đậu ngót phụ thuộc vào chiều cao hòm khuôn sử dụng, tốn nhiều kim loại và khuôn dễ bị bẩn do bụi rơi vào do đậu ngót hở.

Đậu ngót kín trên được áp dụng trong những trường hợp sau:

Khi hòm khuôn quá cao, nếu sử dụng đậu ngót hở thì tốn kim loại cho đậu ngót.

Khi làm khuôn trên máy bằng tấm mẫu, phần mẫu nhô ra của đậu ngót hở sẽ làm cản trở sự đầm chặt hỗn hợp bằng máy.

Đậu ngót bên hông sử dụng trong những trường hợp cần bổ sung kim loại cho những nút nhiệt của vật đúc nằm ở phần dưới của khay hay trong trường hợp không thể đặt đậu ngót ở phần trên của vật đúc do kết cấu của vật đúc (vật đúc bị biến dạng hay khó cắt đậu ngót). Trong một số trường hợp nếu sử dụng đậu ngót bên hông sẽ dễ thực hiện được nguyên tắc đông đặc có hướng và giảm chi phí lao động để cắt đậu ngót và làm sạch vết cắt còn lại.

Đậu ngót bên hông có những đặc điểm sau:

Tác dụng kém hơn so với đậu ngót trên.

Tăng kích thước của khuôn.

Tạo thành những chỗ cát yếu giữa đậu ngót và thành vật đúc, dễ bị dòng kim loại xói lở.

*Tính toán kích thước đậu ngót*

Tính toán theo phương pháp của GS. Psibưn (Tiệp Khắc):

$$H = D = 1{,}085.\sqrt[3]{\frac{x^{\beta}}{1-x^{\beta}}}.V$$

Hay $$H = D = 1{,}085.\sqrt[3]{\frac{x^{\beta}}{1-x^{\beta}}}.G$$

Trong đó: D – đường kính đậu ngót (dm)

H – chiều cao đậu ngót (dm)

V – thể tích phần vật đúc cần bổ sung ($dm^3$)

G – khối lượng phần vật đúc cần bổ sung (kg)

β – độ co của kim loại theo % trong khoảng từ nhiệt độ rót đến nhiệt độ đông đặc.

Đối với thép có: 0,1%C β = 0,02

0,3% C β = 0,03

0,45%C β = 0,043

0,7%C β = 0,053

x – hệ số "không kinh tế" của đậu ngót, bằng tỉ số thể tích đậu ngót với thể tích rỗ ngót tập trung trong đậu.

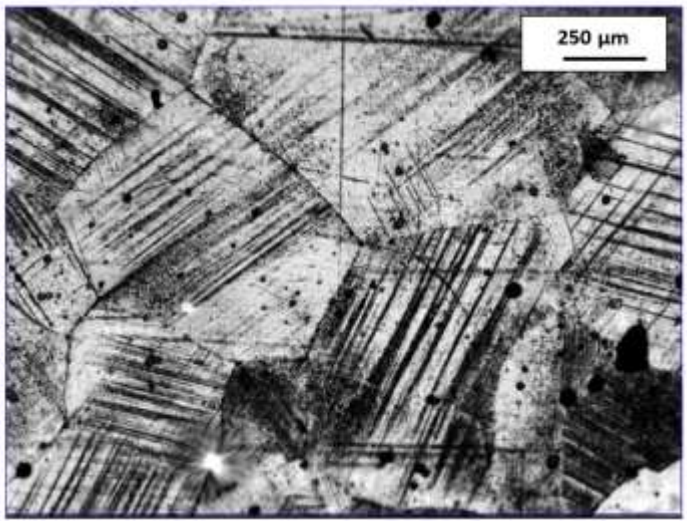
*Vật làm nguội*

Vật làm nguội là một trong những phương tiện để chống rỗ ngót, đặc biệt thường sử dụng ở những nơi không thể đặt đậu ngót. Đôi khi vật làm nguội thường được dùng như một phương tiện chống nứt trong vật đúc.

Những vật làm nguội chế tạo bằng những hỗn hợp đặc biệt có tính truyền nhiệt cao và nhiệt dung lớn. Thường thành phần chính của hỗn hợp này là manhezit có tính truyền nhiệt gấp 5 lần hỗn hợp làm khuôn thường. Đôi khi sử dụng vật làm nguội bằng graphit và cả hỗn hợp "nửa kim loại" gồm 60 – 80% mạt gang với cát đất sét.

### 3.4.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ rót đến chất lượng chi tiết làm từ thép Mn thấp

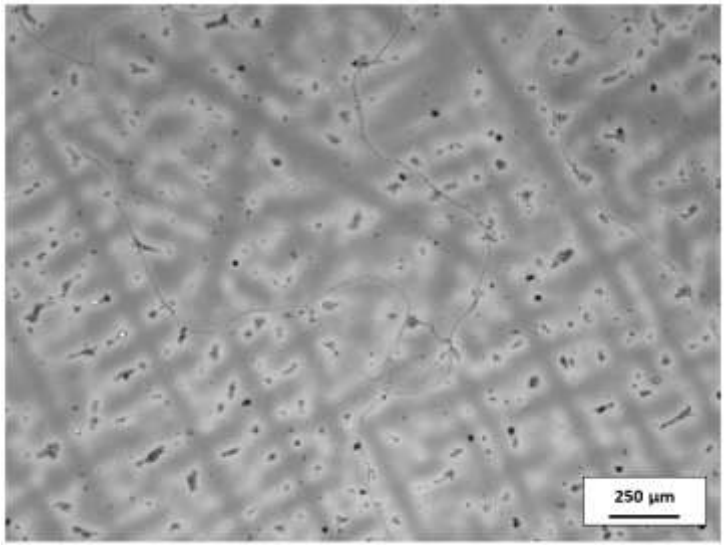
Thép Mn được nấu theo một thành phần cố định trong lò điện cảm ứng. Sau khi nấu chảy, nâng độ quá nhiệt lên cao trên $1510^0$C rồi rót thép vào khuôn cát nước thủy tinh để lấy mẫu. Thay đổi nhiệt độ rót từ $1510^0$C xuống $1470^0$C rồi thấp nhất là $1430^0$C. Mẫu sau đó được đem đi soi tổ chức tế vi để xét ảnh hưởng của nhiệt độ đúc rót. Các kết quả chụp ảnh tổ chức tế vi có thể xem ở hình dưới.




*Hình 3. 18: Tổ chức tế vi của mẫu thép ở nhiệt độ rót $1510^0$C*




*Hình 3. 19: Tổ chức tế vi của mẫu thép ở nhiệt độ rót 1470$^0$C*




*Hình 3. 20: Tổ chức tế vi của mẫu thép ở nhiệt độ rót 1430$^0$C*

Nhận xét:

Ở nhiệt độ rót cao nhất (hình 3.18), tuy thành phần vật đúc đồng đều, vật đúc điền đầy tốt và có bề mặt mịn, nhẵn nhưng có thể thấy tổ chức tế vi thô đại hơn rất nhiều so với tổ chức tế vi khi rót ở nhiệt độ thấp hơn (hình 3.19). Ở hình 3.20, khi rót với nhiệt độ rất thấp, lúc này thấy xuất hiện khá nhiều các vệt xương cá trong toàn bộ bề mặt mẫu. Đó chính là các thiên tích do các nguyên tố tạo carbite trong thép chưa tan hết tạo thành. Những mẫu với khuyết tật như vậy sẽ làm giảm cơ tính và rất dễ nứt vỡ khi làm việc. Các khuyết tật đó là hoàn toàn không thể loại trừ được bằng phương pháp xử lý nhiệt.

### 3.4.4. Nghiên cứu phương pháp hợp kim hóa cho thép Mn thấp

Bằng các biện pháp thực nghiệm chuyên đề đã phân tích và xác định được ảnh hưởng của một số nguyên tố vi lượng đến tổ chức và cơ tính của thép Mn thấp. Đã xác định được ảnh hưởng của V; Ti trong quá trình làm nhỏ mịn hạt của thép nghiên cứu.

Để thực hiện quá trình hợp kim hóa được thép Mn thấp; các nguyên tố hợp kim cần được cho dưới dạng các ferro và thực hiện quá trình biến tính đất hiếm được thực hiện ngoài lò

### 3.4.5. Nghiên cứu phương pháp biến tính bằng đất hiếm cho thép Mn thấp

Bằng cơ sở lý luận và thực nghiệm nội dung đã xác định được ảnh hưởng và vai trò của đất hiếm đến tổ chức và tính chất của thép nghiên cứu

Bằng các phương pháp phân tích cấu trúc hiện đại đã phân tích và xác định được ảnh hưởng và vai trò của đất hiếm trong sự hình thành các pha liên kim đất hiếm; sự phân bố của pha sau khi nấu luyện.

Xác định được phương pháp biến tính ngoài lò là phương pháp phù hợp để nâng cao chất lượng quá trình biến tính thép Mn thấp.

### 3.4.6. Nghiên cứu về sự hình thành các pha sau kết tinh và đông đặc

Nội dung đã tiến hành phân tích và xác định được sự hình thành của các pha liên kim; các pha cacbit trong tổ chức của thép sau khi hợp kim hóa và biến tính. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra kích thước của các pha cacbit VC có kích thước cỡ nano. Với kích thước nhỏ mịn phân tán góp phần làm tăng khả năng hóa bền của thép nghiên cứu.

Các kết quả nghiên cứu về lý thuyết và thực nghiệm cũng chứng minh vai trò của các pha liên kim hoặc cacbit có vai trò kìm hãm sự phát triển của tổ chức thép nghiên cứu.

## 3.5. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình xử lý nhiệt thép Mn thấp

### 3.5.1. Xác định cơ chế chuyển pha khi xử lý nhiệt thép Mn thấp

Nội dung đã tổng hợp và phân tích được các cơ chế hình thành austenit khi nung thép Mn thấp; xác định được bản chất của quá trình hình thành pha austenit và cơ chế tạo mầm của thép austenit khi nung thép Mn thấp. Ngoài ra, chuyên đề cũng xác định được độ hạt của austenit nói chung và độ hạt của austenit khi nung thép Mn thấp.

Các kết quả nghiên cứu về lý thuyết cũng đã chỉ ra cơ chế của quá trình chuyển biến pha khi làm nguội thép từ nhiệt độ austenit hóa của thép Mn thấp. Cơ chế cũng xác định được quá trình làm nguội chậm cũng như quá trình làm nguội liên tục đối với thép nghiên cứu. Xác định được các dạng sản phẩm hình thành là peclit đối với quá trình làm nguội chậm; mactenxit hay các dạng khác khi làm nguội liên tục.

### 3.5.2. Xác định cơ chế, thông số của quá trình ủ đồng đều hóa sau đúc của thép Mn thấp

Những kết quả nghiên cứu của công trình này đã cho thấy sự ảnh hưởng của chất biến tính Al và Ti và chế độ ram đến tổ chức và cơ tính của thép Mn thấp ứng dụng trong điều kiện mài mòn và đảm bảo độ dai nhất định. Chế độ xử lý của thép nghiên cứu như sau: sử dụng đồng thời hai chất biến tính là Al và Ti kết hợp với quy trình xử lý nhiệt phù hợp. Tổ chức tế vi của thép sau biến tính kết hợp với xử lý nhiệt

là tổ chức bainite kết hợp với austenite dư. Khoảng cách giữa các tấm Ferrite là từ 0,36 đến 0,56μm. Giá trị độ hạt hiệu quả khi xử lý nhiệt với quy trình trên là cấp 4.

Tuy nhiên, nghiên cứu về cấu trúc pha cũng như việc xác định cụ thể vai trò từng pha và ảnh hưởng nhiệt độ austenite hóa là chưa được nghiên cứu trong công trình này. Ngoài ra, đối với mác thép nghiên cứu mới chỉ sử dụng một công nghệ đúc. Ngoài ra, ảnh hưởng nhiệt độ làm việc cũng chưa được quan tâm. Đây là những gợi ý tiếp theo cho sự phát triển của hướng nghiên cứu này.

### 3.5.3. Xác định cơ chế, thông số của quá trình tôi thép Mn thấp

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh rõ ảnh hưởng của các nguyên tố biến tính Al và Ti cũng như chế độ ram đến tổ chức và cơ tính của thép Mn thấp trong điều kiện làm việc chịu mài mòn, đồng thời vẫn đảm bảo độ dai cần thiết. Chế độ xử lý tối ưu được xác định là: sử dụng đồng thời hai nguyên tố biến tính Al và Ti, kết hợp với quy trình xử lý nhiệt gồm nung đến 650°C giữ nhiệt 2 giờ, tiếp tục nung đến 920°C giữ nhiệt 3 giờ, sau đó tôi nước và ram ở 250°C trong 6 giờ. Với quy trình này, thép thu được giá trị độ dai va đập cao nhất là 57,5 J/cm² và độ cứng bề mặt đạt 50,3 HRC. Tổ chức tế vi sau biến tính và xử lý nhiệt chủ yếu là bainite kết hợp với austenite dư, khoảng cách giữa các tấm ferrite nằm trong khoảng 0,36–0,56 μm, và độ hạt hiệu quả đạt cấp 4.

Tuy vậy, nghiên cứu hiện tại vẫn còn một số hạn chế. Cấu trúc pha và vai trò cụ thể của từng pha, cũng như ảnh hưởng của nhiệt độ austenit hóa, chưa được xem xét chi tiết. Đồng thời, đối với mác thép nghiên cứu mới chỉ áp dụng một công nghệ đúc và chưa đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ làm việc thực tế. Đây sẽ là những định hướng quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm hoàn thiện và mở rộng ứng dụng của loại thép này.

### 3.5.4. Xác định thông số môi trường tôi và sự ảnh hưởng các thông số của môi trường tôi đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp

Dung dịch tôi polyme có nhiều ưu điểm như không bắt cháy, an toàn hơn với môi trường và người công nhân. Tốc độ nguội đa dạng, có thể thay đổi theo từng loại polyme hoặc thay đổi nồng độ polyme trong dung dịch.

Khi nồng độ PSA trong dung dịch tăng từ 5 đến 20%, tốc độ nguội lớn nhất giảm đi $\frac{2}{3}$ (từ 125°C/s xuống còn 45°C/s) và nhiệt độ đạt được tăng từ 600°C đến 700°C. Đồng thời khi tốc độ nguội giảm, tốc độ nguội tại vùng chuyển biến maxtenxit cũng giảm (hình 17).

Tương tự trong dung dịch tôi PAG, tốc độ nguội cũng giảm khi nồng độ polyme tăng lên trong dung dịch. Khi nồng độ dung dịch tăng lên đến 20% thì tốc độ nguội không tăng nữa, đồng thời tốc độ nguội lớn nhất đạt được không thay đổi nhưng tại nhiệt độ có xu hướng giảm dần. Cụ thể trong dung dịch 20 và 25% PAG đều có tốc độ nguội lớn nhất khoảng 85°C/s nhưng ở nhiệt độ là 620°C ứng với dung dịch PAG 25% và 640°C ứng với dung dịch PAG 20%.

Trong dung dịch PAG 13% có sự tăng nhanh của tốc độ nguội tại vùng nhiệt độ hòa tan nghịch đảo, nhưng sau đó lại giảm dần khi nhiệt độ của mẫu về cân bằng với nhiệt độ môi trường.

Tốc độ nguội trong dung dịch PVP cũng giảm khi nồng độ của dung dịch tăng lên. Mặt khác khi tăng nồng độ PVP trong dung dịch từ 20 lên 30%, ta thấy nhiệt độ mà tại đó tốc độ nguội là lớn nhất tăng đáng kể, cụ thể là ở nồng độ 20% nhiệt độ là 570$^{o}$C, trong khi đó ở nồng độ 30% nhiệt độ là 670$^{o}$C.

### 3.5.5. Xác định cơ chế, thông số của quá trình ram thép Mn thấp

Qua quá trình nghiên cứu và các kết quả từ thực nghiệm cho ta thấy được sự đóng góp quan trọng của chất biến tính Titan và quá trình xử lý nhiệt trong việc nâng cao các tính chất và tổ chức của thép mangan thấp ứng dụng trong điều kiện mài mòn và đảm bảo độ dai nhất định.

Chế độ xử lý của mẫu thép nghiên cứu như sau: Cả hai mẫu thép đều được xử lý nhiệt cùng một chế độ để từ đó ta có thể so sánh được tổ chức và tính chất. Quy trình xử lý nhiệt là nung đến nhiệt độ 900$^{o}$C giữ nhiệt trong 4h sau đó để nguội ngoài không khí, tiếp tục nung đến nhiệt độ 900$^{o}$C giữ nhiệt trong vòng 2h rồi làm nguội nhanh bằng nước. Cuối cùng thực hiện ram mẫu ở nhiệt độ 250$^{o}$C giữ nhiệt trong vòng 2h rồi làm nguội từ từ ngoài không khí. Với quy trình xử lý nhiệt như trên thì cơ tính đạt được là:

Giá trị độ cứng bề mặt của mẫu 1 (không Ti) là 38,4 HRC và của mẫu 2 (có Ti) là 44,1 HRC.

Độ dai va đập của mẫu 1 (không Ti) là và của mẫu 2 (có Ti) là

Tổ chức tế vi của thép sau khi bổ sung nguyên tố Ti kết hợp với quy trình xử lý nhiệt là tổ chức bainite kết hợp với austenite dư. Sau nhiệt luyện, cacbit đã được hòa tan vào nền tạo nên một tổ chức đồng nhất, kích thước hạt nhỏ mịn hơn góp phần làm tăng cơ tính và tổ chức cho thép.

So với mẫu sau đúc thì qua quá trình xử lý nhiệt, độ cứng của thép bị giảm một lượng nhỏ. Điều này cho thấy việc xử lý nhiệt là vô cùng quan trọng trong việc nâng cao độ dẻo dai của chi tiết. Đồng thời nó còn góp phần làm giảm hay khử bỏ ứng suất bên trong, làm cơ tính của thép có thể phù hợp với những điều kiện làm việc khác nhau trong các môi trường khác nhau.

## 3.6. Kết luận chương 3

Các nguyên tố hợp kim và vi hợp kim, đặc biệt là Ti kết hợp Al, có tác dụng làm nhỏ hạt, hạn chế ferit biên hạt và tạo các hạt/cacbit nhỏ mịn góp phần hóa bền thép. Hợp kim hóa nên sử dụng ferro hợp kim; biến tính đất hiếm phù hợp thực hiện ngoài lò.

Nhiệt độ rót phải được kiểm soát: rót quá cao làm tổ chức thô, còn quá thấp gây thiên tích và khuyết tật khó khắc phục bằng nhiệt luyện. Chế độ nhiệt luyện có ảnh hưởng quyết định đến sự cân bằng độ cứng–độ dai. Một chế độ nổi bật là nung 650°C/2 giờ, tiếp tục nung 920°C/3 giờ, tôi nước và ram 250°C/6 giờ, cho độ cứng

khoảng 50,3 HRC và độ dai va đập 57,5 J/cm²; tổ chức chủ yếu là bainite kết hợp austenite dư.

# CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG QUY TRÌNH CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO THÉP HỢP KIM Mn THẤP

## 4.1. Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ nấu luyện và đúc chế tạo thép Mn thấp

### 4.1.1. Tính toán thành phần phối liệu để nấu luyện thép Mn thấp

Tính phối liệu cho 5 kg thép lỏng Mn thấp theo thành phần mẫu nền M0 ở Bảng 4.1. M1 và M2 là các mẫu nghiên cứu riêng, không dùng thay thành phần đích của phép tính này.

*Bảng 4. 1: Thành phần các mác thép cần nấu*

| **Mẫu** | **C** | **Mn** | **Si** | **Cr** | **Mo** | **Ni** | **Al** | **Ti** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **M0** | 0.255 | 0.887 | 1.631 | 1.676 | 0.251 | 0.040 | 0.053 | - |
| **M1** | 0.282 | 0.883 | 1.433 | 1.602 | 0.218 | 0.369 | 0.211 | - |
| **M2** | 0.249 | 0.869 | 1.479 | 1.579 | 0.219 | 0.365 | 0.192 | 0.151 |

Nguyên liệu tính toán gồm CT3, gang xám, FeMn C thấp, FeCr C thấp, FeSi75, FeMo60, Ni kim loại và Al kim loại.

Thành phần nguyên liệu giả định được trình bày ở Bảng 4.2; đơn vị % khối lượng.

*Bảng 4. 2: Phối liệu và thành phần hóa học của các cấu tử trong mẻ liệu*

| **Nguyên liệu** | **C** | **Mn** | **Si** | **Cr** | **Mo** | **Ni** | **Al** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thép vụn CT3 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Gang xám | 3,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMn C thấp | 1,00 | 70,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeCr C thấp | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeSi75 | 0,00 | 0,00 | 75,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMo60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ni kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,90 | 0,00 |
| Al kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,70 |

Thành phần đích của thép Mn thấp dùng để tính phối liệu (mẫu nền M0): C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Cơ sở tính giả định: giữ các giá trị đã nêu cho CT3 (0,20% C; 0,02% Cr), gang xám (3% C), FeMn (1% C; 0,6% Si; 70% Mn) và FeCr (1% C; 60% Cr). Bổ sung giả thiết FeSi75 chứa 75% Si, FeMo60 chứa 60% Mo, Ni kim loại chứa 99,9% Ni và Al kim loại chứa 99,7% Al. Các ô 0 là giả thiết bỏ qua đóng góp, không phải kết quả phân tích; phần còn lại quy ước là Fe.

Hiệu suất thu hồi giả định: C 85%; Mn 90%; Si 90%; Cr 95%; Mo 100%; Ni 100%; Al 50%. C, Mn, Cr kế thừa tỷ lệ cháy hao đã chọn trong báo cáo; Si lấy theo trường hợp FeSi bổ sung cuối kỳ hoàn nguyên; Mo, Ni theo bảng hiệu suất của báo cáo. Al 50% là giả thiết tính thử cần xác nhận. Giả thiết Fe thu hồi 100%, chưa xét tổn thất cơ học và kim loại cuốn theo xỉ.

Quy ước M = 5 kg là khối lượng thép lỏng sau cháy hao, không phải tổng lượng nạp và không phải khối lượng vật đúc sau cắt hệ thống rót. Khối lượng từng nguyên liệu $m_j$ tính bằng kg; $a_{ij}$ là phần khối lượng nguyên tố i trong nguyên liệu j; $c_i$ là phần khối lượng đích; $\eta_i$ là hiệu suất thu hồi.

Cân bằng đồng thời từng nguyên tố: $\eta_i \times \Sigma(a_{ij} \times m_j) = M \times c_i$. Cân bằng khối lượng thép lỏng: $\Sigma m_j - \Sigma_i[(1 - \eta_i) \times \Sigma_j(a_{ij} \times m_j)] = M$. Các hàm lượng trong phương trình dùng dạng phần khối lượng (ví dụ 0,255% = 0,00255).

Đặt t, g, f, r, s, u, n, a lần lượt là khối lượng CT3, gang xám, FeMn, FeCr, FeSi75, FeMo60, Ni và Al. Hệ phương trình gồm:

C: 0,85 × (0,002t + 0,03g + 0,01f + 0,01r) = 0,00255M.

Mn: 0,90 × 0,70f = 0,00887M; Si: 0,90 × (0,006f + 0,75s) = 0,01631M.

Cr: 0,95 × (0,0002t + 0,60r) = 0,01676M; Mo: 0,60u = 0,00251M.

Ni: 0,999n = 0,00040M; Al: 0,50 × 0,997a = 0,00053M.

Khối lượng: 0,99969t + 0,9955g + 0,9279f + 0,9685r + 0,925s + u + n + 0,5015a = M.

Giải hệ cho M = 5 kg thu được lượng nạp dự kiến như sau (kg):

| Nguyên liệu | Khối lượng nạp, kg |
|---|---|
| Thép vụn CT3 | 4,533083 |
| Gang xám | 0,125827 |
| FeMn C thấp | 0,070397 |
| FeCr C thấp | 0,145507 |

| Nguyên liệu | Khối lượng nạp, kg |
|---|---|
| FeSi75 | 0,120252 |
| FeMo60 | 0,020917 |
| Ni kim loại | 0,002002 |
| Al kim loại | 0,005316 |
| Tổng lượng nạp | 5,023299 |

Kiểm tra khối lượng: 5,023299 − 0,023299 = 5,000000 kg thép lỏng. Phần hao hụt trên chỉ gồm cháy hao các nguyên tố theo giả thiết.

Kiểm tra thành phần sau thu hồi: C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Đây là phối liệu tính toán theo giả thiết, chưa phải định mức nạp đã được xác nhận thực nghiệm. Trước mỗi mẻ phải thay các giả thiết bằng chứng chỉ/kết quả phân tích nguyên liệu và hiệu suất thu hồi thực tế, tính lại đồng thời cả hệ, cân theo độ chính xác thiết bị và kiểm tra quang phổ để hiệu chỉnh. Al nạp bao gồm phần bị oxy hóa và phần còn lại trong thép; không cộng thêm tùy ý lượng Al khử oxy ngoài cân bằng này.

### 4.1.2. Nghiên cứu các giải pháp công nghệ khử khí thép Mn thấp

Nội dung đã tiến hành tính toán, lựa chọn và xác định được phương pháp khử tạp chất cũng như biện pháp tinh luyện tổ chức hạt cho thép Mn nghiên cứu. Các giải pháp được đề xuất cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc giảm hàm lượng khí hòa tan, loại bỏ tạp chất phi kim và thúc đẩy quá trình hình thành hạt tinh thể nhỏ mịn trong thép sau đúc.

Kết quả thực nghiệm chứng minh rằng việc lựa chọn nhiệt độ rót hợp lý có ảnh hưởng quyết định đến cấu trúc và cơ tính của vật đúc. Cụ thể, đối với các chi tiết đúc trong khuôn cát, nhiệt độ rót tối ưu nằm trong khoảng từ 1450°C đến 1480°C. Trong khoảng nhiệt độ này, tổ chức kim loại có kích thước hạt nhỏ, đồng đều và ít khuyết tật, giúp nâng cao cơ tính tổng hợp của vật liệu, đặc biệt là độ dai va đập và khả năng chịu mài mòn.

Khi nhiệt độ rót vượt quá 1480°C, thép lỏng có mức quá nhiệt lớn, dẫn đến tốc độ kết tinh chậm và sự phát triển quá mức của hạt tinh thể, làm cho tổ chức trở nên thô đại, từ đó giảm cơ tính của vật đúc. Ngược lại, nếu nhiệt độ rót thấp hơn 1450°C, kim loại lỏng có độ linh động kém, dẫn đến thiên tích và khuyết tật kết tinh, ảnh hưởng xấu đến chất lượng vật liệu.

Như vậy, việc kết hợp phương pháp khử tạp chất hiệu quả (bằng Al hoặc Al–Ti) cùng với lựa chọn nhiệt độ rót trong khoảng 1450–1480°C là giải pháp tối ưu để đạt được tổ chức tế vi mịn, đồng đều và cơ tính cao cho thép Mn đúc.

### 4.1.3. Xây dựng quy trình công nghệ nấu luyện thép Mn thấp

Dựa trên các kết quả phân tích và đánh giá cơ sở lý luận, nội dung đã tiến hành tính toán, lựa chọn phối liệu phù hợp cho mẻ đúc và thực hiện quá trình đúc rót mẫu thép Mn thấp.

*Bảng 4. 3: Các giai đoạn của quá trình nấu luyện*

| Giai đoạn | Mục tiêu chính | Biện pháp kỹ thuật |
|---|---|---|
| 1. Nạp liệu | Chuẩn bị, sắp xếp liệu đồng đều | Lót đáy lò, chọn liệu sạch, phối đúng tỉ lệ |
| 2. Nấu chảy | Làm chảy hoàn toàn, tạo xỉ bảo vệ | Tăng công suất dần, khuấy đều, vớt xỉ |
| 3. Oxi hóa | Khử tạp Si, P khi vượt giới hạn | Thêm vảy rèn, đá vôi; vớt xỉ định kỳ |
| 4. Hoàn nguyên – Hợp kim hóa | Bổ sung thành phần hợp kim và khử oxy | Dùng FeSi, Al, FeTi; điều chỉnh theo mác |
| 5. Khử khí | Loại bỏ $O_2$, $H_2$, $N_2$ hòa tan | Khuấy cảm ứng, giữ xỉ bảo vệ, kiểm soát nhiệt |
| 6. Ra thép – Rót | Đảm bảo thép sạch, ổn định, hạt nhỏ | Thêm Al cuối, rót liên tục, kiểm tra mẫu |

### 4.1.4. Nghiên cứu tính toán công nghệ đúc thép Mn thấp

Công nghệ đúc mẫu cháy cho phép tạo ra vật đúc có chất lượng bề mặt tốt, độ chính xác kích thước cao và hầu như không có ba via. Ưu điểm nổi bật của công nghệ này là khả năng tự động hóa cao, giúp nâng cao năng suất và giảm sự phụ thuộc vào tay nghề thủ công của công nhân làm khuôn. Quá trình tạo mẫu xốp (mẫu cháy) tương đối đơn giản, dễ dàng sản xuất hàng loạt nhờ sử dụng cùng một bộ hòm khuôn, từ đó đảm bảo tính đồng nhất và ổn định về kích thước giữa các sản phẩm.

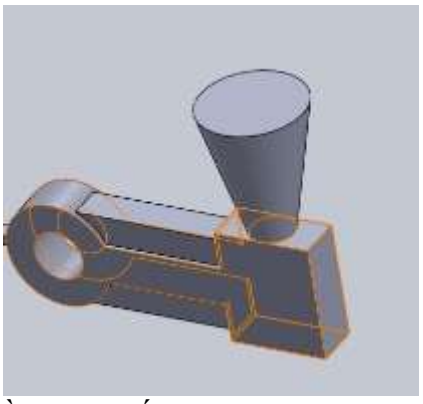
Tuy nhiên, quá trình đúc mẫu cháy vẫn chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như thiết kế kết cấu mẫu, chế độ đúc rót, chất lượng lớp sơn phủ, tính chất vật liệu xốp, cũng như tay nghề của công nhân vận hành. Nếu các yếu tố này được phối hợp tối ưu — từ khâu thiết kế, chuẩn bị khuôn, lựa chọn polymer, đến kỹ thuật phủ sơn và đúc rót — thì có thể hạn chế đáng kể các khuyết tật, nâng cao chất lượng vật đúc, đồng thời giảm chi phí sản xuất.

Hiện nay, công nghệ đúc mẫu cháy đang tiếp tục được hoàn thiện và cải tiến trên phạm vi toàn cầu. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc nâng cao chất lượng vật liệu xốp (ví dụ như tại Nhật Bản, việc ứng dụng copolymer đang dần thay thế xốp PS truyền thống nhằm khắc phục các hạn chế về giòn và co ngót). Bên cạnh đó, các nghiên cứu về cải tiến lớp sơn phủ mẫu cũng đóng vai trò quan trọng trong việc ổn định quá trình đúc và cải thiện bề mặt vật đúc.

Khi các vấn đề kỹ thuật này được giải quyết triệt để, công nghệ đúc mẫu cháy hứa hẹn sẽ có bước phát triển mạnh mẽ, trở thành một trong những phương pháp đúc tiên tiến và hiệu quả nhất trong ngành đúc – luyện kim hiện nay.

### 4.1.5. Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ đúc thép Mn thấp

Tính toán thiết kế công nghệ cụ thể cho chi tiết búa đập. Vị trí đặt đậu ngót.



Vị trí đậu ngót ở phần dày nhất của vật đúc, đảm bảo nguội sau cùng.

Khi đậu ngót ở vị trí cao nhất, đậu ngót còn làm nhiệm vụ của đậu hơi để thoát khí và chất bẩn ra khỏi khuôn.

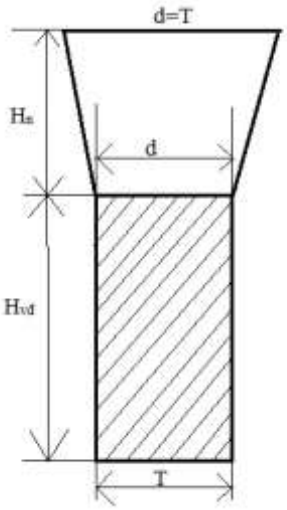
Vị trí đậu ngót đảm bảo dễ cắt.

Tính toán kích thước đậu ngót.

Kiểu đậu ngót.

Đường kính T của đường tròn nội tiếp ở phần dày nhất của chân đậu ngót, T=45mm.

Tra bảng những số liệu cơ bản để xác định kích thước đậu ngót đặt trên thành thẳng đứng của vật đúc.




| T,mm | $H_{vđ}/T$ | d/T | $H_n/T$ | $H_n/H_{vđ}$ | $h/H_{vđ}$ | Mức kéo dài của đậu ngót,% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 2,7 | 1,4-2,3 | 1,5-1,9 | 1,2 | 1,0 | 40-100 |

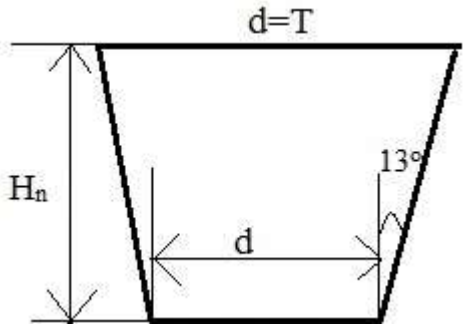
Trong đó: d – chiều rộng chân đậu ngót.

$H_{vđ}$ – chiều cao vật đúc nơi cần bù ngót.

$H_n$ – chiều cao đậu ngót.

Chọn: $H_n$= 140mm.

Góc mở rộng $\alpha = 13°$.




Hệ số tiêu hao kim loại cho đậu ngót.

Ta có: Thể tích đậu ngót: $V_n$ = 695673.39 $mm^3$.

Khối lượng đậu ngót: $m_n$ = 5382,54 (g) = 5,4 (kg).

Khối lượng vật đúc: $m_{vđ}$ = 10,8 (kg).

Hệ số tiêu hao kim loại cho đậu ngót:

$$b = \frac{m_n}{m_{vđ}} = \frac{5,4}{10,8} = 0,5$$

Đối chiếu với bảng hệ số phỏng chừng tiêu hao kim loại cho đậu ngót thường bổ sung trực tiếp:

Với nhóm vật đúc ít gia công cơ khí, khối lượng <100 kg, thành dày T = 20-50 mm, thì hệ số tiêu hao kim loại cho đậu ngót hở là 0,52%.

Như vậy, kích thước đậu ngót là hợp lý, đảm bảo hệ số phỏng chừng tiêu hao kim loại, sai khác không quá 3%.

TÍNH TOÁN HỆ THỐNG RÓT.

Mục tiêu: Hệ thống rót dùng để dẫn dòng kim loại chảy êm, đồng đều và liên tục vào vật đúc. Đảm bảo ngăn xỉ, tạp chất vào vật đúc.

Hệ thống rót từ đầu xuống đảm bảo phần làm việc của búa nghiền được nguội đầu tiên, tạo tổ chức và cơ tính tốt cho búa nghiền. Do phần đầu của vật đúc được nóng vì toàn bộ lượng kim loại lỏng chảy qua đó trước, khi chảy đến những phần dày đã bị nguội đi một ít.

Hệ thống rót vào thép mangan cao tương đối đơn giản do khả năng rơi xỉ vào vật đúc ít vì dùng nồi rót đáy và xỉ đặc, nhưng cần đảm bảo điền đầy, khuôn êm, không cuộn xoáy.

Chọn vị trí hệ thống rót.

Do chi tiết có kích thước tương đối nhỏ, hạn chế được dòng kim loại lỏng xói mạnh trực tiếp vào ruột và thành khuôn. Vì vậy, chọn phương pháp rót bên hông, rãnh

dẫn bố trí trên mặt phẳng ráp khuôn dẫn kim loại vào nửa chiều cao của vật đúc. Tạo điều kiện thuận lợi khi làm khuôn và mẫu.

Tính toán hệ thống rót.

Thời gian rót hợp lý được xác định theo công thức thực nghiệm:

t=s$\sqrt[3]{gG}$ = 1,4$\sqrt[3]{45.13}$ = 11,7 (s)

Trong đó: g: chiều dày chính của thành vật đúc, mm.

G: khối lượng vật đúc cùng hệ thống rót, ngót, kg.

s: hệ số - rót vào một nửa chiều cao vật đúc s=1,4.

Tốc độ dâng kim loại:

$$v = \frac{C}{t} = \frac{12}{11,7} \approx 1,03\ (cm/s)$$

Trong đó: C: chiều cao vật đúc khi rót, cm.

t: thời gian rót, s.

Đảm bảo tốc độ dâng của kim loại không nhỏ hơn trị số v bé nhất cho phép (0.9 (cm/s)).

Cột áp suất thủy tĩnh trung bình trong thời gian rót:

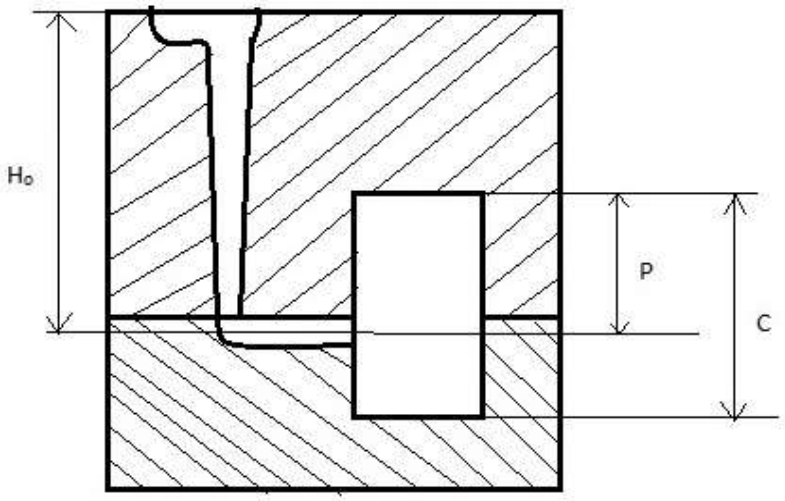
$$h_{tb} = H_0 - \frac{P^2}{2C} = 20 - \frac{8^2}{2.12} = 17,3\ (cm)$$

Trong đó: $H_o$: áp suất thủy tĩnh ban đầu lớn nhất, cm.

P: chiều cao vật đúc trên rãnh dẫn, cm.

C: Chiều cao vật đúc ở vị trí khi rót, cm.

Tiết diện cho phép chỗ hẹp nhất của hệ thống rót $F_{min}$:




$F_{min}=\frac{G}{0,31\mu\sqrt{h_{tb}}.t} = \frac{15}{0,31.0,5\sqrt{17,3}.11,7} \approx 2\ cm^2$

Trong đó, G: khối lượng vật đúc kể cả hệ thống rót, ngót, kg.

$\mu$: hệ số trở lực chung của khuôn – vật đúc thép, khuôn khô, kích thước nhỏ, $\mu = 0,5$.

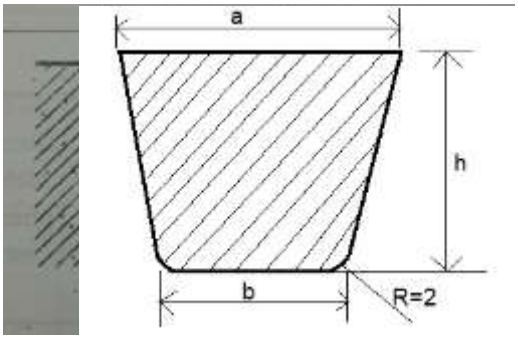
$h_{tb}$: cột áp suất thủy tĩnh trung bình của kim loại, cm.

t: thời gian rót.

Tiết diện rãnh dẫn bằng $F_d$= 2 $cm^2$.

Suy ra, kích thước rãnh dẫn hình thang cao:

| F,cm$^2$ | h=12,mm. | |
|---|---|---|
| | a | b |
| 2,0 | 17 | 14 |




- Đối với vật đúc bằng thép:

$$F_d:F_x:F_r = 1:1,05:1,1$$

Tiết diện ống rót $F_r$=2,2 cm$^2$.

- Kích thước phễu rót:

Đường kính ống rót d≈ $17\ mm$

Bảng kích thước phễu rót:

| Đường kính ống rót (mm) | Kích thước (mm) | | | Dung tích phễu rót (cm$^3$) |
|---|---|---|---|---|
| | D | $D_1$ | H | |
| 17 | 60 | 40 | 60 | 100 |

- Khi rót thép bằng nồi rót đáy, lượng kim loại tính bằng kg/s chảy qua lỗ ở đáy nồi phải tương ứng với thời gian rót hợp lý t:

$$\frac{G'}{t} = 0,31\mu_k F_k\sqrt{H_{tb}}$$

Trong đó: G': khối lượng kim loại rót vào khuôn, kg.

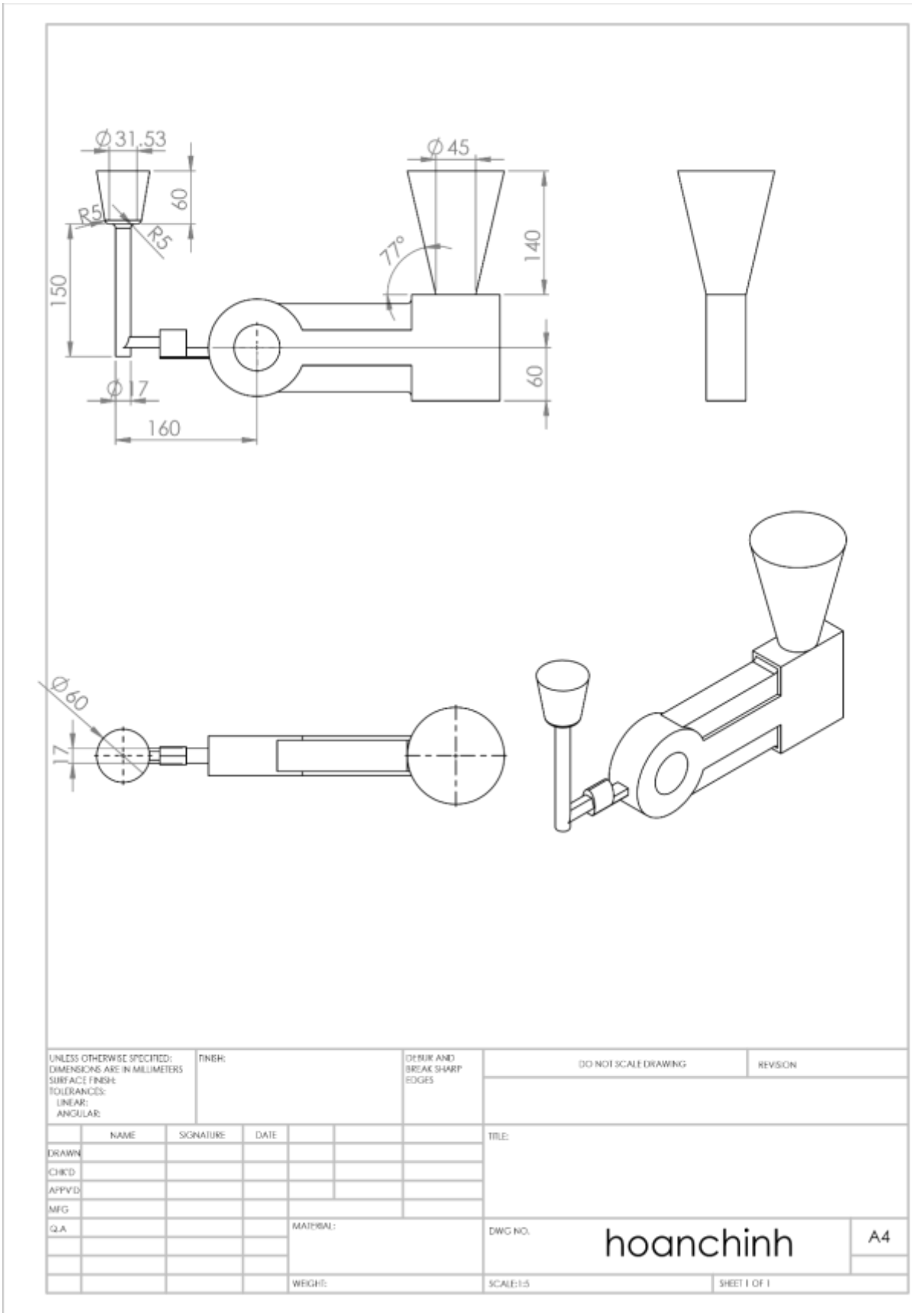
t: thời gian rót hợp lý, s.

$\mu_k$: hệ số trở lực của kim loại chảy qua lỗ ở đáy nồi, khoảng 0,75-0,89.

$F_k$: diện tích tiết diện lỗ ở đáy nồi, cm$^2$.

$H_{tb}$: áp suất thủy tĩnh trung bình của kim loại trong nồi rót.

- Tính toán thời gian rót thực tế.
- Thể tích hệ thống vật đúc + rót + ngót: $V_{ht}$ = 2247947.28 mm$^3$.
- Khối lượng hệ thống vật đúc + rót + ngót: G = 17534 (g) = 17,534 (kg)
- Thời gian rót thực tế: t=s$\sqrt[3]{gG}$ = 1,4$\sqrt[3]{45.17,534}$ = 13 (s).
- Quy trình đúc được tiến hành theo công nghệ đúc rót đã trình bày, bao gồm các công đoạn chính: chuẩn bị khuôn – rót thép lỏng – dỡ khuôn – làm sạch vật đúc.




*Hình 4. 1: Bản vẽ theo phương án 2*

II.4.1. Quá trình rót khuôn

Sau khi thép Mn thấp được nấu luyện theo đúng thành phần và chế độ công nghệ, tiến hành rót thép lỏng vào các khuôn đã được chuẩn bị sẵn.

Nhiệt độ rót: 1480–1490°C.

Người vận hành rót phải đảm bảo tư thế vững chắc, kiểm soát dòng chảy êm, liên tục và đúng tâm ống rót. Mức thép lỏng trong phễu phải luôn duy trì đầy để ngăn ngừa xỉ xâm nhập vào khuôn. Khi rót gần kết thúc, giảm dần tốc độ dòng rót để tăng hiệu quả bù co. Trong giai đoạn đầu, bổ sung một lượng nhỏ vảy rèn để hạn chế hiện tượng nguội cục bộ và đảm bảo kim loại điền đầy hoàn toàn vật đúc, tránh thiếu kim loại hoặc rỗ co. Sau khi rót xong, khuôn được để nguội tự nhiên trong thời gian tối thiểu 10 giờ trước khi dỡ khuôn.

II.4.2. Dỡ khuôn và lấy vật đúc

Do vật đúc có khối lượng lớn, quá trình dỡ khuôn được thực hiện bằng máy cẩu chuyên dụng. Toàn bộ hệ thống rót – ngót và vật đúc được nhấc ra khỏi khuôn, sau đó dùng búa cơ khí hoặc búa khí nén để loại bỏ cát dính trên bề mặt. Phần cát sau khi dỡ khuôn và nguội được thu gom để tái xử lý, loại bỏ tạp kim và cặn cháy, đảm bảo tái sử dụng cho các mẻ đúc tiếp theo.

II.4.3. Làm sạch và kiểm tra vật đúc

Sau khi dỡ khuôn, tiến hành cắt bỏ hệ thống đậu ngót và ống rót bằng máy hàn hơi. Khi cắt, đặt nghiêng chi tiết để tránh tích nhiệt tại chân đậu, gây nứt nóng hoặc biến dạng cục bộ. Sau công đoạn cắt, vật đúc được kiểm tra sơ bộ khuyết tật (rỗ khí, nứt, không điền đầy, co ngót...). Những chi tiết không đạt yêu cầu sẽ được loại bỏ và tái luyện. Các chi tiết đạt yêu cầu được chuyển sang phân xưởng nhiệt luyện để xử lý nhiệt theo quy trình thích hợp.

Kết luận về quy trình công nghệ đúc

Quy trình công nghệ đúc theo phương pháp đúc rót đã đảm bảo tính ổn định, an toàn và hiệu quả trong sản xuất thép Mn thấp. Nhiệt độ rót trong khoảng 1480–1490°C được xác định là phù hợp nhất, giúp kim loại lỏng điền đầy khuôn tốt, hạn chế khuyết tật và đảm bảo tổ chức tế vi đồng đều. Việc kiểm soát nghiêm ngặt các khâu chuẩn bị khuôn, rót, dỡ khuôn và làm sạch không chỉ nâng cao chất lượng vật đúc, mà còn giảm tỷ lệ phế phẩm và chi phí sản xuất. Như vậy, công nghệ đúc rót áp dụng trong chế tạo thép Mn thấp đáp ứng tốt yêu cầu kỹ thuật, đồng thời tạo nền tảng cho việc triển khai sản xuất quy mô lớn với chất lượng ổn định và độ chính xác cao.

## 4.2. Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn

### 4.2.1. Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ tôi thép Mn thấp

Chế độ xử lý tối ưu được xác định là: sử dụng đồng thời hai nguyên tố biến tính Al và Ti, kết hợp với quy trình xử lý nhiệt gồm nung đến 650°C giữ nhiệt 2 giờ, tiếp tục nung đến 920°C giữ nhiệt 3 giờ, sau đó tôi nước và ram ở 250°C trong 6 giờ. Với quy trình này, thép thu được giá trị độ dai va đập cao nhất là 57,5 J/cm² và độ cứng bề mặt đạt 50,3 HRC. Tổ chức tế vi sau biến tính và xử lý nhiệt chủ yếu là bainite kết

hợp với austenite dư, khoảng cách giữa các tấm ferrite nằm trong khoảng 0,36–0,56 μm, và độ hạt hiệu quả đạt cấp 4.

### 4.2.2. Nghiên cứu lựa chọn tốc độ nung thép Mn thấp

### 4.2.3. Nghiên cứu lựa chọn thời gian giữ nhiệt đến chất lượng thép Mn thấp

### 4.2.4. Nghiên cứu thực nghiệm quá trình làm nguội thép Mn thấp trong một số môi trường nguội

### 4.2.5. Tối ưu hóa quy trình tôi và ram

Đối với nghiên cứu hiện tại về ảnh hưởng của biến dạng và chế độ xử lý nhiệt đến tính chất của thép cần phân tích các yếu tố cần khảo sát và phạm vi của chúng được thể hiện như sau:

Phạm vi các yếu tố cần khảo sát:

Nhiệt độ tôi trong phạm vi 740 ÷ 890 $^oC$;

Nhiệt độ xử lý bainit trong phạm vi 350 ÷ 450 $^oC$;

Thời gian xử lý bainit trong phạm vi 2 ÷ 20 phút;

Với phạm vi khảo sát như trên, nếu sử dụng thiết kế CCC thì các điểm thí nghiệm sao nằm ngoài vùng khảo sát của yếu tố thời gian tính theo công thức (3.2) sẽ có giá trị âm, điều này không thực tế. Trong khi đó, thiết kế Box-Behnken mặc dù có tính chất gần quay và hiện được áp dụng khá rộng rãi với nhiều ưu điểm, nhưng không thực hiện các điểm thí nghiệm ở biên mà tiến hành ngoại suy do đó có sai số tại các giá trị tối ưu ở biên. Thiết kế CCI cũng có nhược điểm tương tự Box-Behnken. Các nghiên cứu cũng cho thấy vùng thời gian xử lý bainit tốt nhất có thể nằm trong phạm vi biên của vùng khảo sát do đó sử dụng thiết kế Box-Behnken hay CCI có thể bỏ sót các giá trị tối ưu tại vùng biên của miền khảo sát. Qua phân tích ở trên, luận án lựa chọn thiết kế CCF để phù hợp với yếu tố và phạm vi khảo sát.

Các bước thực hiện quy hoạch thực nghiệm với thiết kế CCF được mô tả trong sơ đồ quy trình Hình 4.2.

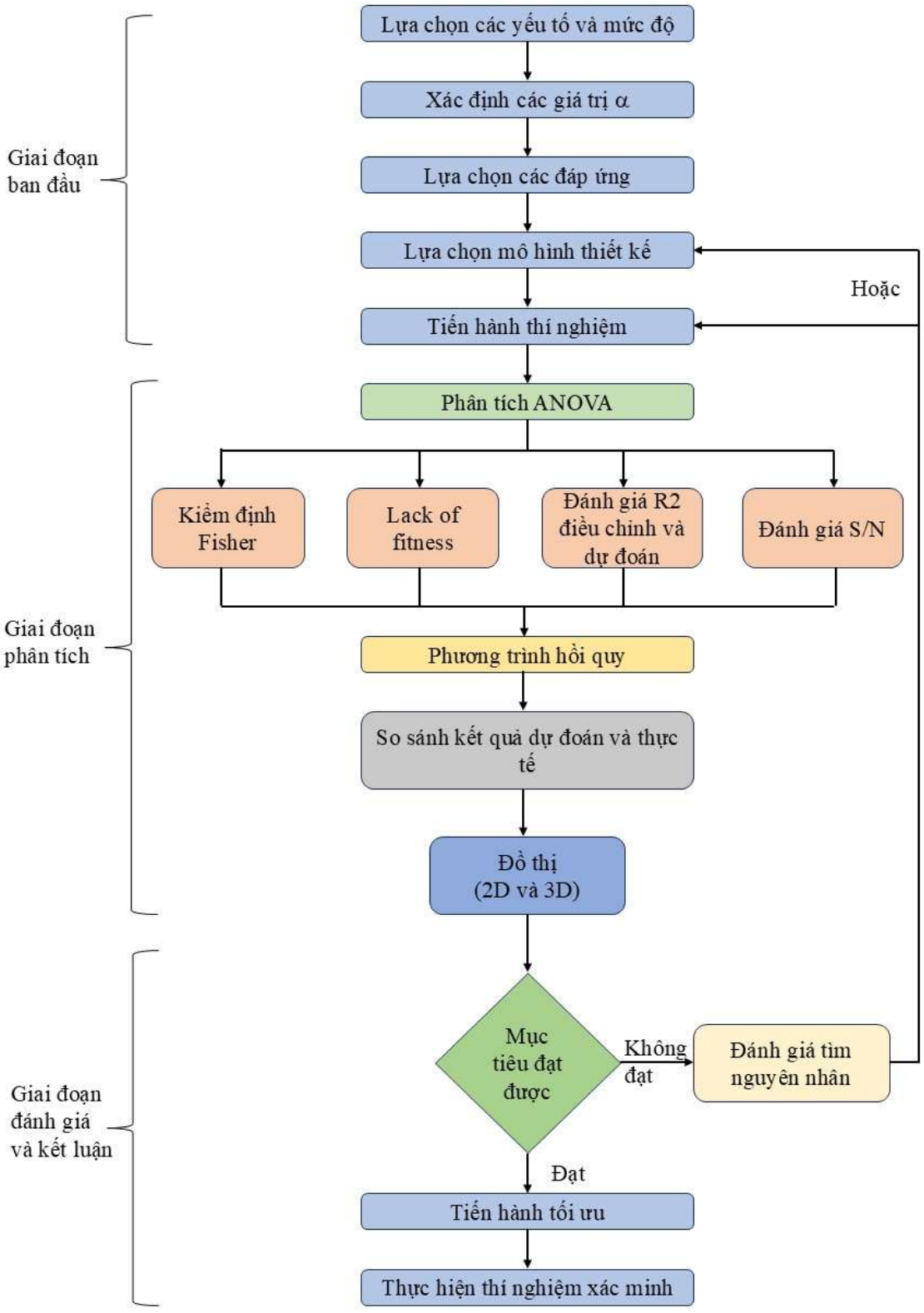
Phần mềm Design-Expert 11 là một công cụ mạnh trong thiết kế thí nghiệm và phân tích số liệu, cho phép người dùng xây dựng mô hình hồi quy, đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đến biến đáp ứng và xác định điều kiện tối ưu một cách nhanh chóng, chính xác. Thông qua giao diện thân thiện và các thuật toán tối ưu hóa hiện đại, phần mềm này giúp thiết kế các thí nghiệm theo nhiều phương pháp khác nhau (như quy hoạch trực giao, quy hoạch toàn phần, quy hoạch bề mặt đáp ứng, v.v.) và cung cấp các chỉ số thống kê cũng như đồ thị trực quan để đánh giá chất lượng mô hình.

Trong nghiên cứu này, việc sử dụng Design-Expert 11 nhằm mục đích mô hình hóa thí nghiệm và phân tích kết quả thực nghiệm. Trước tiên, các yếu tố (biến độc lập) và khoảng biến thiên của chúng được định nghĩa. Với k = 4 biến độc lập, luận án đã thiết kế thí nghiệm dựa trên quy hoạch bề mặt đáp ứng với thiết kế CCF. Theo đặc trưng của CCF, số thí nghiệm N được tính theo công thức $N = 2^k + 2k + 6$, trong đó:

$2^k = 2^4 = 16$ là số thí nghiệm cơ bản của quy hoạch nhân tố (full factorial).

2k = 8 là số thí nghiệm bổ sung tại điểm sao với khoảng cách từ tâm đến điểm này được xác định bởi giá trị α=1 theo thiết kế CCF

6 là số thí nghiệm lặp tại tâm (center points) nhằm kiểm tra độ lặp lại và độ tin cậy của thiết kế.




*Hình 4. 2: Sơ đồ thực hiện thiết kế CCF*

Quy trình trên có tổng cộng 30 thí nghiệm của quy hoạch toàn phần. Sự bố trí này đảm bảo các yếu tố được khảo sát một cách toàn diện, cung cấp thông tin về ảnh hưởng tuyến tính, tương tác cũng như thành phần bậc hai của các biến độc lập đến biến đáp ứng. Sau khi tiến hành thí nghiệm và thu thập dữ liệu, luận án sử dụng Design-Expert để hỗ trợ xây dựng phương trình hồi quy dưới dạng hàm đa thức, tiến hành các phép kiểm định thống kê (ANOVA, kiểm tra ý nghĩa hệ số, kiểm tra mức độ phù hợp mô hình) và đề xuất nghiệm tối ưu. Đồng thời, các kết quả đồ thị trực quan như đồ thị mặt đáp ứng 3D và contour giúp đánh giá và lựa chọn các điều kiện thực nghiệm tối ưu một cách rõ ràng, chính xác.

Kết quả quy hoạch thực nghiệm, bao gồm các điều kiện cho từng thí nghiệm, được trình bày trong Bảng 3.4. Từ những kết quả này, có thể so sánh, phân tích sâu hơn về ảnh hưởng của từng biến độc lập cũng như mối tương tác giữa chúng đến biến đáp ứng, qua đó xác định quy trình công nghệ hoặc thông số kỹ thuật tối ưu cho mục tiêu nghiên cứu.

*Bảng 4. 4: Quy hoạch thực nghiệm các yếu tố ảnh hưởng đến xử lý nhiệt*

| Thứ tự thực hiện | Nhiệt độ tôi (°C) | Nhiệt độ xử lý bainit (°C) | Thời gian xử lý bainit (phút) |
|---|---|---|---|
| 1 | 815 | 400 | 11 |
| 2 | 890 | 350 | 20 |
| 3 | 815 | 400 | 11 |
| 4 | 740 | 450 | 20 |
| 5 | 815 | 400 | 11 |
| 6 | 740 | 450 | 20 |
| 7 | 890 | 350 | 2 |
| 8 | 890 | 350 | 20 |
| 9 | 890 | 350 | 2 |
| 10 | 890 | 450 | 20 |
| 11 | 740 | 450 | 2 |
| 12 | 740 | 450 | 2 |
| 13 | 890 | 450 | 2 |
| 14 | 890 | 450 | 2 |
| 15 | 815 | 400 | 11 |

| Thứ tự thực hiện | Nhiệt độ tôi (°C) | Nhiệt độ xử lý bainit (°C) | Thời gian xử lý bainit (phút) |
|---|---|---|---|
| 16 | 890 | 450 | 20 |
| 17 | 740 | 350 | 2 |
| 18 | 740 | 350 | 2 |
| 19 | 740 | 350 | 20 |
| 20 | 740 | 350 | 20 |
| 21 | 740 | 400 | 11 |
| 22 | 815 | 400 | 20 |
| 23 | 815 | 450 | 11 |
| 24 | 815 | 400 | 11 |
| 25 | 815 | 400 | 11 |
| 26 | 890 | 400 | 11 |
| 27 | 815 | 400 | 11 |
| 28 | 815 | 400 | 2 |
| 29 | 815 | 400 | 11 |
| 30 | 815 | 350 | 11 |

### 4.2.6. Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ ram thép Mn thấp

Nhiệt độ ram có ảnh hưởng trực tiếp đến sự phân hủy mactenxit, quá trình tiết cacbit, khả năng khử ứng suất dư và sự cân bằng giữa độ cứng với độ dai va đập của thép mangan thấp sau tôi. Để lựa chọn nhiệt độ ram phù hợp, tiến hành khảo sát trong khoảng 200–260°C, trong khi giữ ổn định các thông số của quá trình tôi và thời gian ram. Khi nhiệt độ ram tăng, ứng suất dư và độ giòn sau tôi giảm, độ dai va đập được cải thiện; tuy nhiên, nhiệt độ quá cao có thể làm giảm độ cứng, ảnh hưởng đến khả năng chống mài mòn của sản phẩm. Kết quả thực nghiệm cho thấy ram ở 250°C tạo được tổ chức dạng tấm tương đối mịn, chủ yếu là mactenxit ram hoặc bainite kết hợp với austenite dư và các hạt cacbit nhỏ phân bố trong nền. Với chế độ nung đến 650°C giữ 2 giờ, tiếp tục nung đến 920°C giữ 3 giờ, tôi nước và ram ở 250°C trong 6 giờ, thép đạt độ cứng bề mặt khoảng 50,3 HRC và độ dai va đập 57,5 J/cm². Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu cũng cho thấy nhiệt độ ram khoảng 260°C, kết hợp tôi ở 893°C và thời gian ram 2 giờ, có thể đạt độ cứng 43,7 HRC và độ dai va đập 69,7 J/cm².

Như vậy, khoảng nhiệt độ ram 250–260°C được lựa chọn là vùng công nghệ thích hợp: ram ở 250°C phù hợp khi ưu tiên độ cứng và khả năng chống mài mòn, còn ram ở khoảng 260°C thích hợp khi cần nâng cao độ dai và giảm nguy cơ nứt gãy do va đập của răng gầu.

### 4.2.7. Nghiên cứu lựa chọn thời gian ram thép Mn thấp

Thời gian ram ảnh hưởng rõ rệt đến quá trình khử ứng suất dư, tiết pha cacbit và sự ổn định tổ chức của thép mangan thấp sau tôi. Trong nghiên cứu, thời gian ram được khảo sát trong khoảng 2–6 giờ ở vùng nhiệt độ 250–260°C. Khi thời gian ram quá ngắn, các chuyển biến tổ chức chưa diễn ra đầy đủ, ứng suất dư sau tôi còn lớn nên vật liệu có độ giòn cao và dễ phát sinh nứt khi chịu tải trọng va đập. Ngược lại, kéo dài thời gian ram thúc đẩy quá trình phân hủy mactenxit và tiết cacbit, làm giảm ứng suất, tăng độ ổn định tổ chức và cải thiện độ dai; tuy nhiên, ram quá lâu có thể làm thô cacbit và giảm độ cứng, từ đó ảnh hưởng đến khả năng chống mài mòn. Kết quả thực nghiệm cho thấy chế độ ram ở 250°C trong 6 giờ giúp các chuyển biến xảy ra tương đối hoàn toàn, tạo tổ chức chủ yếu gồm bainite kết hợp với austenite dư, các tấm ferrite có khoảng cách 0,36–0,56 µm và độ hạt hiệu quả đạt cấp 4. Vật liệu đạt độ cứng bề mặt khoảng 50,3 HRC và độ dai va đập 57,5 J/cm², đáp ứng yêu cầu chịu mài mòn kết hợp va đập của răng gầu. Bên cạnh đó, kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu xác định chế độ ram ở 260°C trong 2 giờ, sau khi tôi ở 893°C, có thể đạt độ cứng khoảng 43,7 HRC và độ dai va đập khoảng 69,7 J/cm². Như vậy, thời gian ram cần được lựa chọn theo yêu cầu sử dụng: ram 6 giờ ở 250°C phù hợp khi ưu tiên độ cứng và sự ổn định tổ chức, còn ram 2 giờ ở khoảng 260°C phù hợp khi cần cân bằng tốt hơn giữa độ cứng, độ dai và hiệu quả sản xuất.

### 4.2.8. Tối ưu hóa quy trình ram đối với thép Mn thấp

Quá trình tối ưu hóa chế độ ram thép mangan thấp được thực hiện nhằm xác định sự kết hợp hợp lý giữa nhiệt độ và thời gian ram, qua đó tạo cân bằng giữa độ cứng chống mài mòn và độ dai va đập của vật liệu. Các thí nghiệm khảo sát nhiệt độ tôi trong khoảng 880–920°C, nhiệt độ ram 200–260°C và thời gian ram 2–6 giờ. Kết quả được xử lý bằng phương pháp bề mặt đáp ứng trên phần mềm Design-Expert, trong đó độ cứng và độ dai va đập được lựa chọn làm các chỉ tiêu đầu ra. Phân tích thống kê cho thấy nhiệt độ ram là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến độ cứng; thời gian ram và tương tác giữa nhiệt độ tôi với nhiệt độ ram cũng có ảnh hưởng đáng kể. Khi tăng nhiệt độ hoặc kéo dài thời gian ram, ứng suất dư và độ giòn sau tôi giảm, làm tăng độ dai nhưng đồng thời có thể khiến độ cứng suy giảm do mactenxit bị phân hủy và cacbit phát triển. Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu xác định chế độ phù hợp là tôi ở khoảng 893°C, ram ở 260°C trong 2 giờ. Theo mô hình dự đoán, vật liệu đạt độ cứng khoảng 43,7 HRC và độ dai va đập khoảng 69,7 J/cm². Chế độ này nằm trong vùng công nghệ bảo đảm độ cứng lớn hơn 38 HRC và độ dai va đập lớn hơn 65 J/cm², phù hợp với yêu cầu làm việc chịu đồng thời mài mòn và va đập của răng gầu. Trường hợp cần ưu tiên độ cứng và khả năng chống mài mòn cao hơn, có thể áp dụng chế độ

ram ở 250°C trong 6 giờ sau khi tôi ở 920°C; vật liệu khi đó đạt khoảng 50,3 HRC và độ dai va đập 57,5 J/cm². Vì vậy, chế độ 893°C–260°C–2 giờ được lựa chọn làm phương án tối ưu cân bằng, còn chế độ 920°C–250°C–6 giờ là phương án ưu tiên độ cứng.

### 4.2.9. Đề xuất quy trình xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn

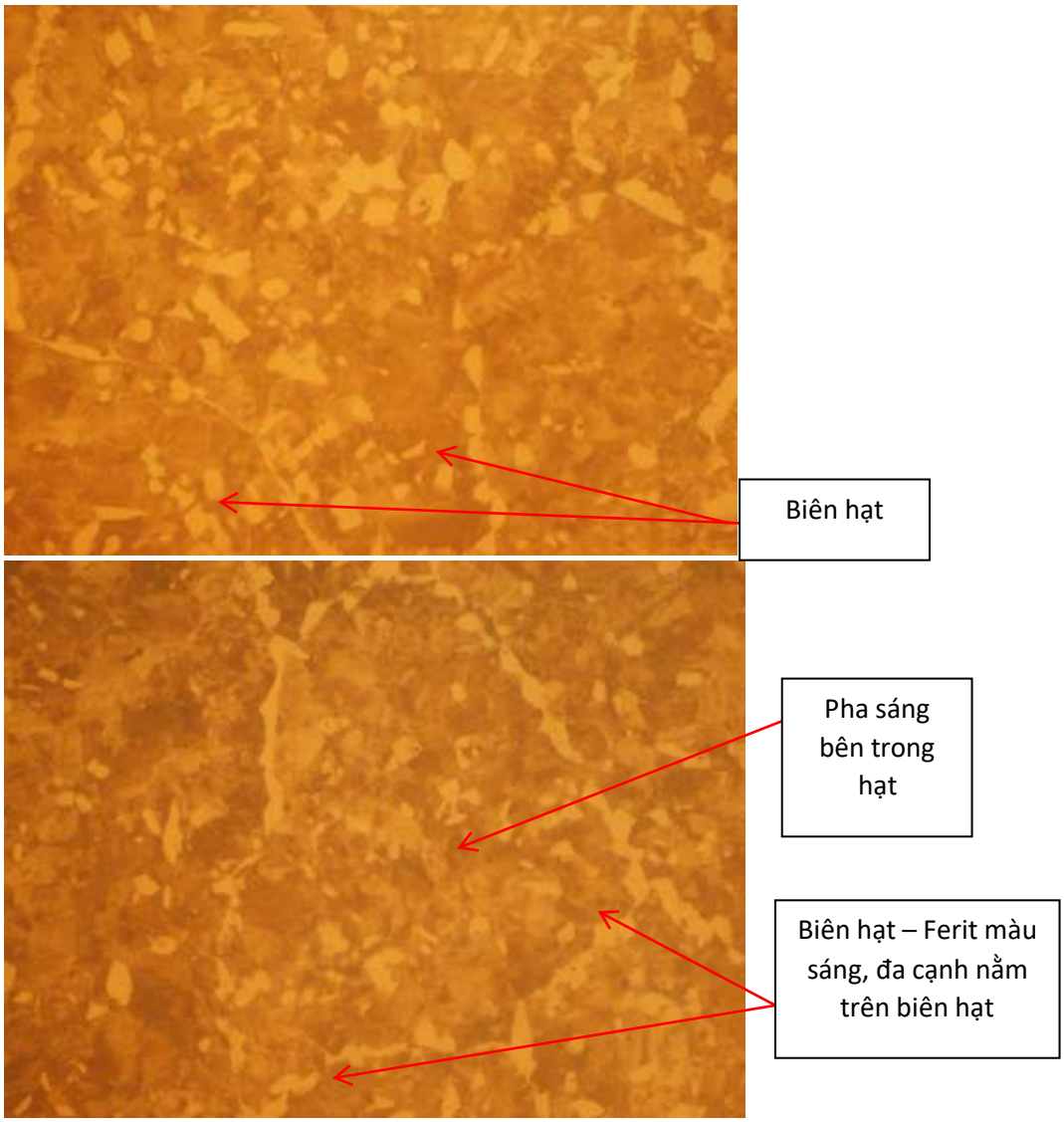
Phân tích mẫu sử dụng 0,053%Al để khử khí

Thành phần hợp kim phức tạp

Dự báo tổ chức tế vi gồm các pha chính: Ferrit + Peclit + Một số cacbit hợp kim tự do. Do thành phần phức tạp, có thể còn có một số pha liên kim khác .

Độ dai va đập: Ak≈ 9J

Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc:



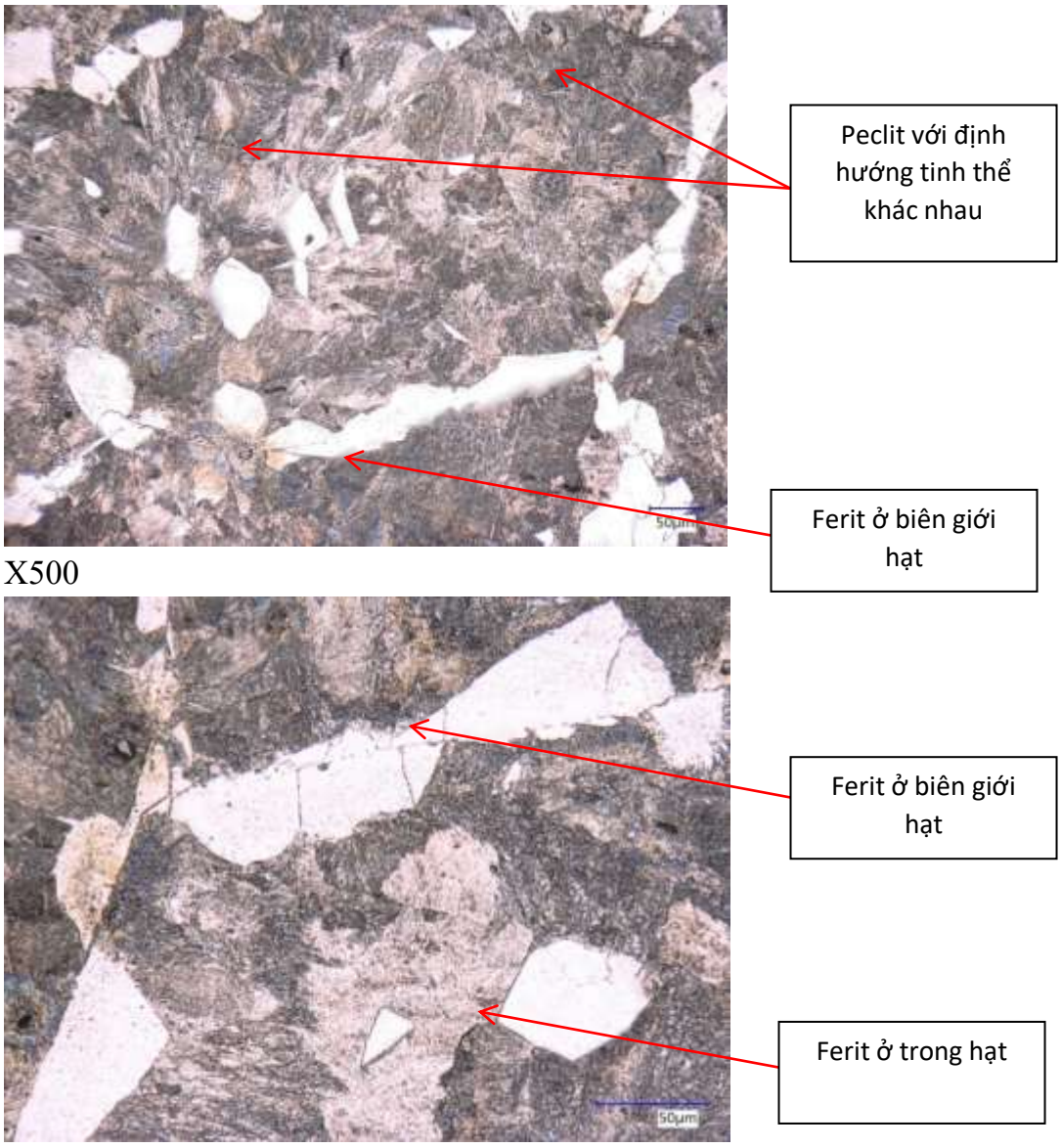

*Hình 4. 3: Tổ chức tế vi của mẫu M0 sau đúc*

Phân tích tổ chức tế vi mẫu sau đúc M0 nhận thấy: Với **Error! Reference source not found.**a với độ phóng đại 50 lần kích thước hạt là rất lớn; ở đây không

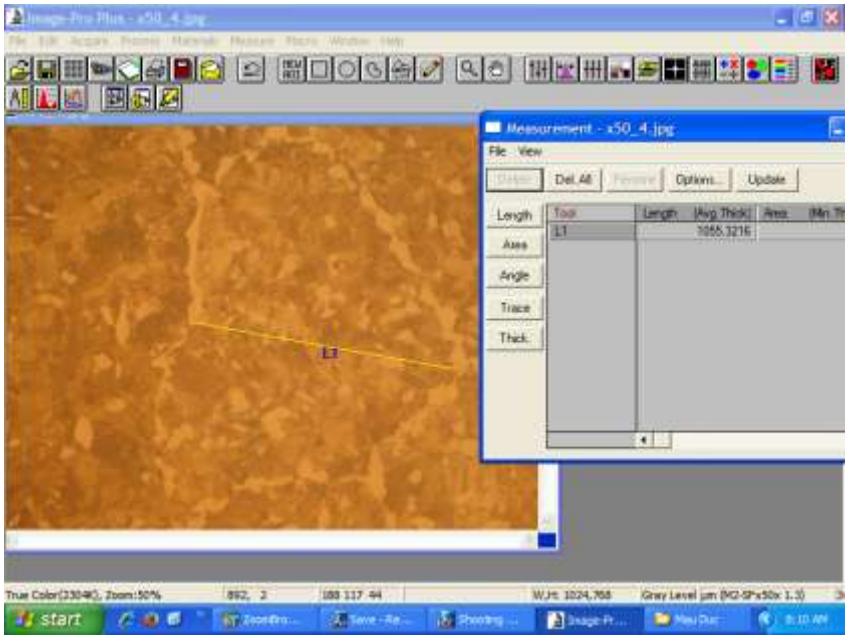
xác định được kích thước hạt với độ phóng đại này. Với Hình 4.3b nhận thấy một hạt nằm trong ảnh tổ chức ở mức độ phóng đại 50 lần.

Ngoài ra, bên trong hạt xuất hiện các hạt màu sáng mà ở đây không phải là ferit hình thành từ austenite. Các pha này có biên giới rất rõ ràng với vùng nền Peclit (được hình thành từ austenite). Những pha này có biên giới khác hẳn với so với ferit ở biên giới hạt – nơi biên giới hạt không có sự phân tách rõ ràng so với peclit Hình 4.4

Phân tích sự hình thành Peclit ở trong hạt cho thấy có định hướng khác nhau của Peclit ở trong cùng một hạt **Error! Reference source not found.**a.

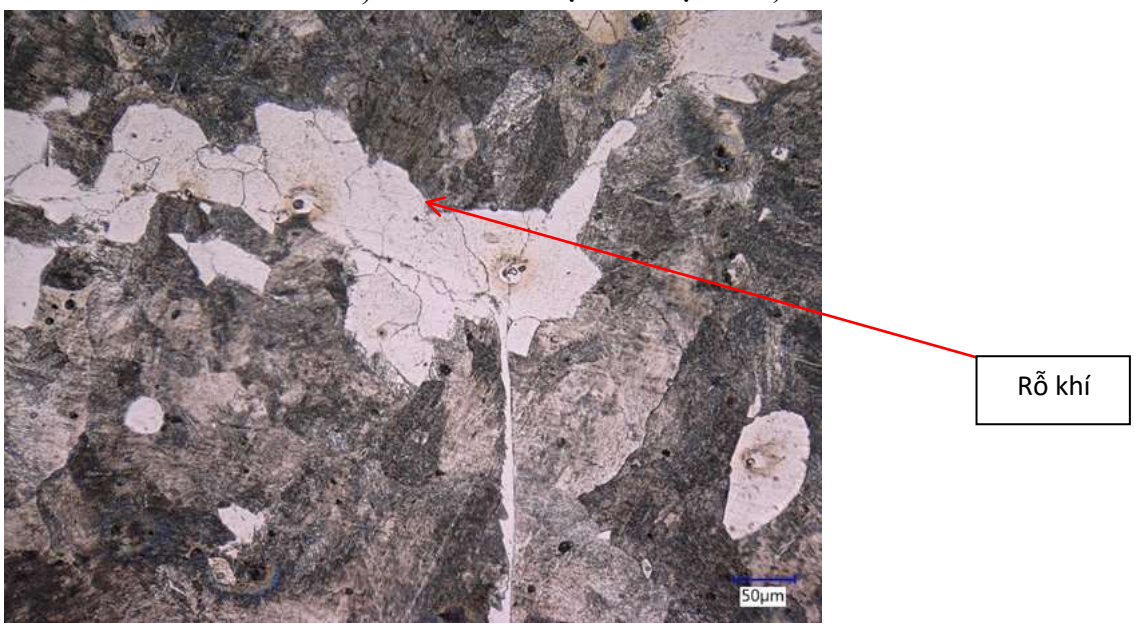



*Hình 4. 4: Tổ chức tế vi mẫu M0 chụp bằng kính hiển vi VHX*




*Hình 4. 5: Phân tích kích thước hạt mẫu M0*

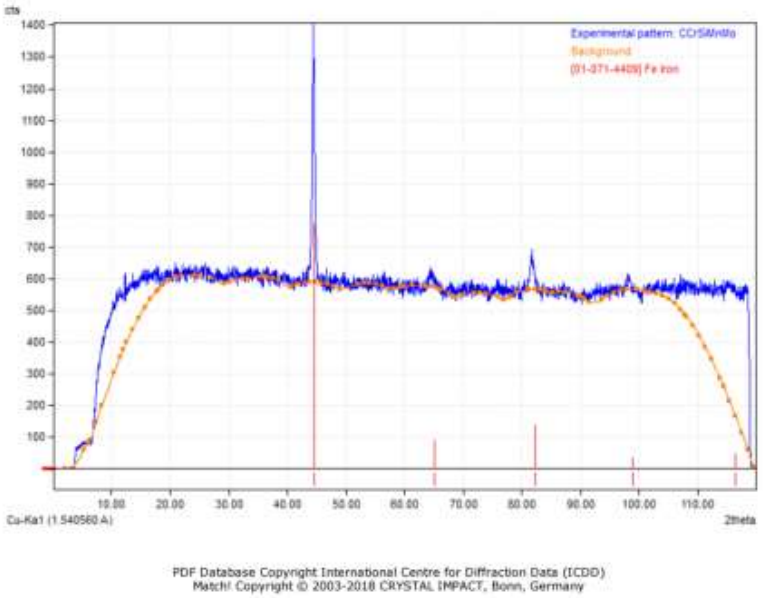
Chọn hạt có kích thước đủ trong khuôn hình với độ phóng đại 50 lần (hạt bé nhất – đã đưa ra trên Hình 4.4b): kích thước hạt đo được là **1,055mm.**




*Hình 4. 6: Phân tích điểm rỗ khí mẫu M0*

Phân tích tổ chức tế vi mẫu M0 nhận thấy bên trong tổ chức tế vi vẫn xuất hiện một số điểm rỗ khí. Như vậy có thể khẳng định mẫu M0 (không có biến tính) khó có thể thực hiện được việc khử khí đối với thép này.

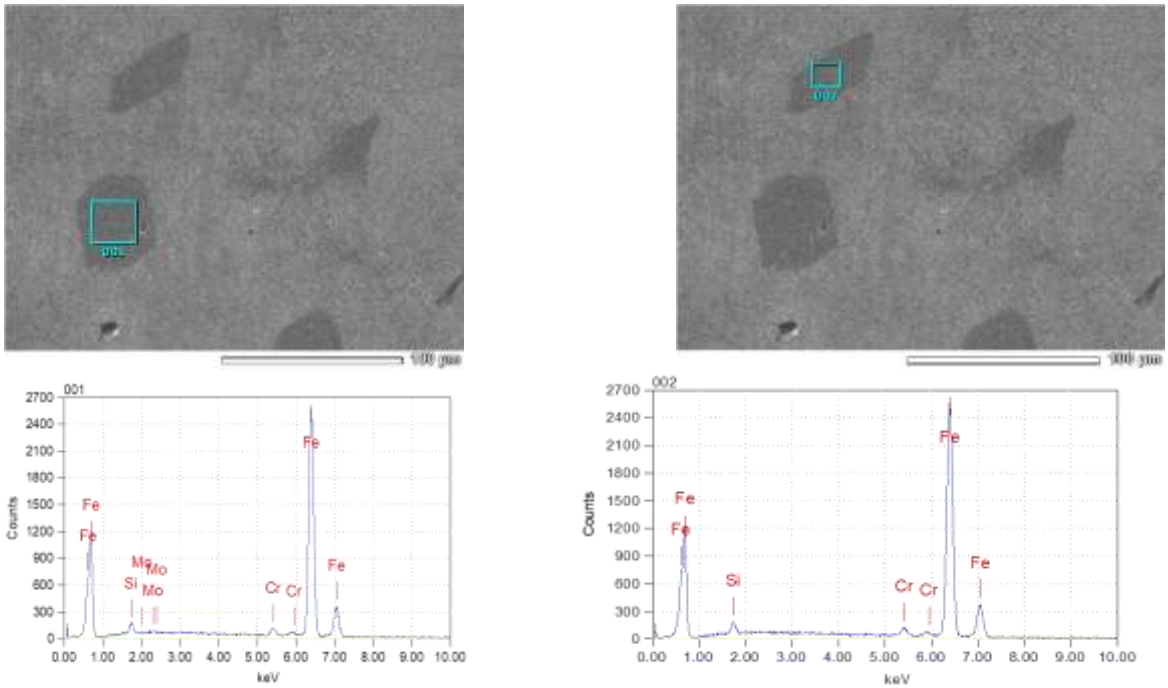
Kết quả phân tích nhiễu xạ Rơn ghen:




*Hình 4. 7: Kết quả phân tích XRD mẫu M0*

Phân tích kết quả XRD cho thấy pha chính là pha dung dịch rắn có hòa tan các nguyên tố hợp kim. Đối với mẫu hợp kim nghiên cứu là dung dịch rắn của Fe có hòa tan thêm một số nguyên tố như C; Cr, Si, Mn, Mo. Kết quả phân tích XRD cho thấy không thấy có sự xuất hiện của các pha liên kim.

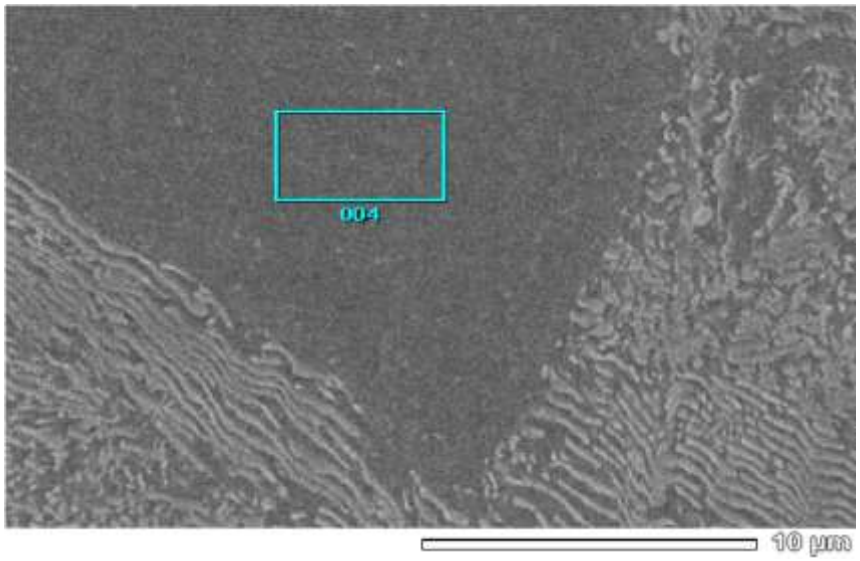
Tuy nhiên, bằng phương pháp XRD không xác định chính xác được các pha sáng bên trong hạt và thành phần pha sáng ở biên giới hạt của hợp kim nghiên cứu. Bằng kết quả phân tích SEM và EDS nhận thấy:




*Hình 4. 8: Phân tích pha sáng tại bên trong hạt*

Kết quả phân tích EDS tại điểm 1 và 2 là các vùng sáng nằm bên trong hạt nhận thấy: Thành phần chủ yếu là Fe, ngoài ra còn có một số các nguyên tố hợp kim nhưng

không thấy sự có mặt của C (nằm trong vùng sai số). Do vậy có thể kết luận đây là pha Ferit.




*Hình 4. 9: Phân tích pha sáng tại vùng biên giới hạt*

Phân tích pha sáng tại vùng biên giới hạt cho thấy với độ phóng đại cao xác định được ranh giới pha giữa vùng màu sáng và vùng peclit tấm.

Kết luận phân tích EDS: Pha màu sáng trong hạt nghi ngờ là pha liên kim nhưng không phải, đó chỉ là pha Ferit, nhưng Ferit này không phải là Ferit tiết ra từ Austenit khi làm nguội mà là Ferit tiết ra ngay từ trạng thái lỏng, ở nhiệt độ cao, còn gọi là Ferit delta.

Kết quả đo độ cứng của các pha:

Mục đích: kiểm nghiệm các pha màu sáng nằm trong hạt peclit có phải là pha khác Ferit không.

| STT | Vị trí đo | HV | HRC | Ghi chú |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Pha trắng | 127 | | Trong hạt |
| 2 | | 136 | | |
| 3 | | 159 | | Biên hạt |
| 4 | Pha màu sẫm (Peclít) | 192 | 9,0 | |
| 5 | | 174 | 4,2 | |

Nhận xét: - Độ cứng của các pha màu sáng trên biên hạt (ferit) có độ cứng thấp hơn các pha màu sáng trong hạt (nhưng không nhiều)

Kết luận về tổ chức sau đúc (mẫu lần 1 – 0,053%Al khử khí)

Tổ chức sau đúc có kích thước hạt rất lớn: hạt bé nhất tìm thấy qua mẫu có kích thước 1,055mm (do đó, các hạt lớn có kích thước lớn hơn nhiều). Theo tiêu chuẩn ASTM (của Mỹ - hiện Việt Nam cũng theo tiêu chuẩn này), vật liệu kim loại có kích thước hạt có thể sử dụng được phải có kích thước (đường kính hạt) từ 25-300 micron (cấp hạt từ cấp 8 - cấp 1, cấp càng lớn, hạt có kích thước càng nhỏ, cơ tính càng cao).

Do hạt lớn như vậy nên vật liệu rất giòn (độ dai va đập là A=9,1J). Như vậy, vật liệu của Công ty đúc là không đạt tiêu chuẩn để sử dụng.

Mẫu còn khá nhiều rỗ khí, trong thành phần hóa học, hàm lượng Al dùng để khử khí là khá nhỏ: 0,053%. Thực tế, ngoài dùng Al để khử khí, theo tham khảo tài liệu, có thể dùng nhôm để biến tính. Nếu hàm lượng nhôm trong thép trong khoảng từ 0,18-0,2% thì có thể tạo ra được kích thước hạt nhỏ sau đúc (vừa có tác dụng khử khí tốt). Nếu hàm lượng Al lớn (1,7-3,8%) thì lại làm cho hạt bị lớn sau đúc.

Phương pháp X-ray cho thấy thành phần pha chủ yếu là dung dịch rắn, có thêm các nguyên tố hợp kim

Vi phân tích thành phần hóa học bằng phương pháp EDS (trên ảnh SEM) cho thấy, các vùng màu sáng trong hạt là dung dịch rắn (Ferit) có hòa tan các nguyên tố hợp kim (không phải là pha liên kim theo nghi ngờ). Các hạt màu sáng là Ferit delta, tiết ra từ trạng thái lỏng, ở nhiệt độ cao.

Phương pháp đo độ cứng: hạt màu sáng trong hạt có độ cứng cao hơn biên hạt không đáng kể, do vậy cùng với các phương pháp trên, kết luận chúng đều là các pha Ferit.

***Mẫu sau biến tính bằng Al (0,2%) – mẫu M1***

So với mẫu đúc lần 1, các mẫu này có thành phần Al cao hơn (đến 0,194% và 0,211)

Có thêm Ni 0,365 % và 0,369% (mẫu đúc lần 1 không có Ni)

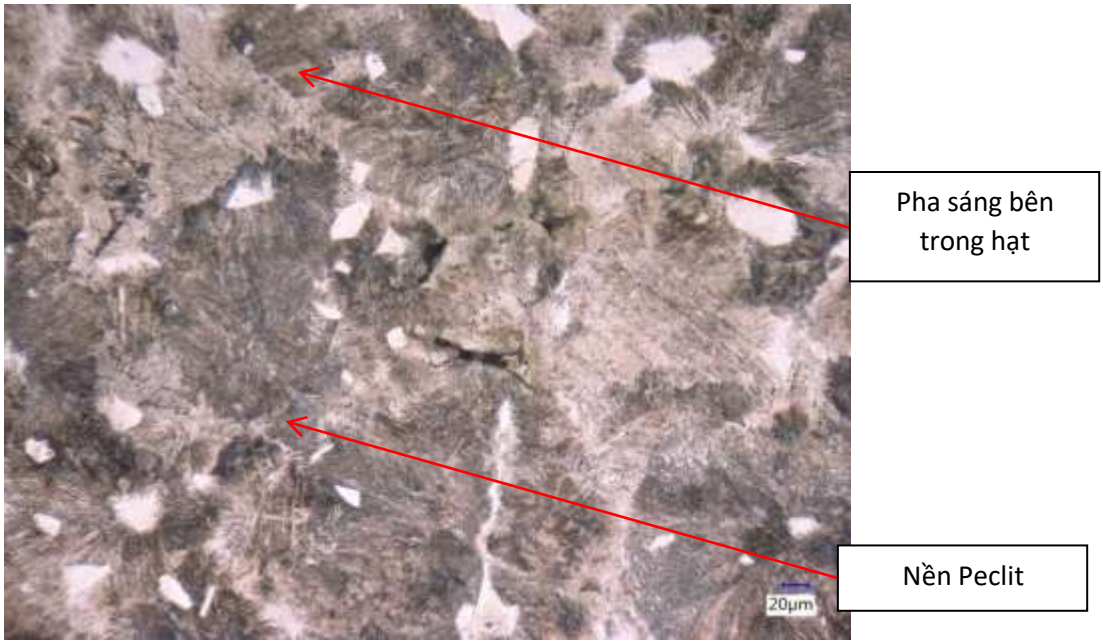
Ngoài ra thành phần còn có nhiều nguyên tố hợp kim vi lượng khác

Đây là thép C thấp, hợp kim trung bình: 4,8-5,0% NTHK

Tổ chức tế vi dự báo: F+P+ cácbit

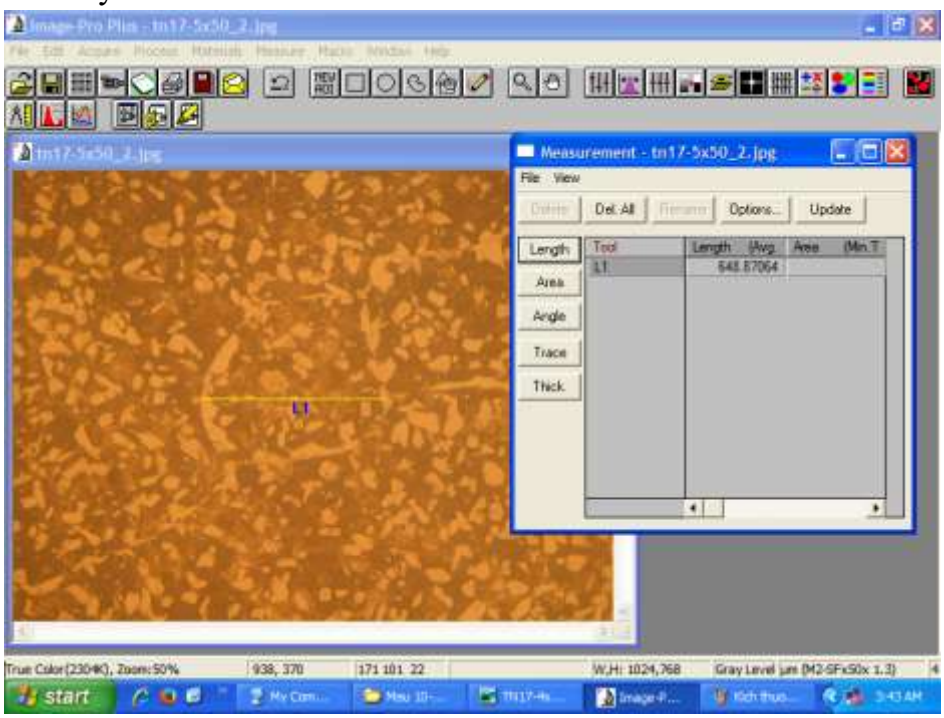
Ak ≈ 12,6-12.9 J, cao hơn mẫu M0, kích thước hạt đã có thể bé đi.

Tổ chức tế vi:




*Hình 4. 10: Tổ chức tế vi mẫu M1 sau đúc*

Phân tích tổ chức tế vi mẫu M1 sau đúc cho thấy tổ chức gần giống với mẫu M0 gồm các hạt màu sáng ở trên biên giới hạt; hạt màu sáng bên trong hạt và nền Peclit. Tuy nhiên, độ hạt nhỏ hơn so với mẫu M0; độ hạt tròn đều hơn. Phân tích độ hạt của mẫu cho thấy:




*Hình 4. 11: Phân tích độ hạt mẫu M1*

Kích thước hạt của mẫu có kích thước khoảng 649µm (0,65mm). Hạt có kích thước không quá lớn và bên trong hạt xuất hiện nhiều pha màu sáng

Kết luận mẫu biến tính bằng Al

Tổ chức tế vi gồm các pha Ferit trong hạt trên nền Peclit và trên biên hạt

Qua nghiên cứu một số tài liệu cho thấy, Al có tác dụng kích thích việc tiết ra Ferit ngay khi làm nguội từ trạng thái lỏng (gọi là Ferit Delta), do vậy quan sát trên ảnh biến tính bằng nhôm, lượng Al có trong mẫu từ 0,19-0,2%, thấy rất nhiều Ferit trong hạt, trong khi đó trên biên hạt, lượng Ferit tiết ra từ Austenit khi làm nguội xuống ít hơn, kích thước nhỏ hơn. Ferit Delta tiết ra nhiều không có lợi cho quá trình nhiệt luyện sau này (hòa tan khi nhiệt luyện khó hơn).

Kích thước hạt có được cải thiện chút ít nhưng không đáng kể, hạt vẫn lớn, không nằm trong vùng được phép sử dụng theo tiêu chuẩn ASTM (lớn nhất đến 300 micron)

Do vậy, không thể dùng nhôm để biến tính làm hạt nhỏ được, chỉ dùng khử khí.

Mẫu sau đúc biến tính bằng Al và Ti

Nhận xét:

So với mẫu đúc M0, các mẫu này có thành phần Ti cao hơn (lớn hơn 0,1%)

Có thêm Ni 0,369, 0,365 % và 0,363%

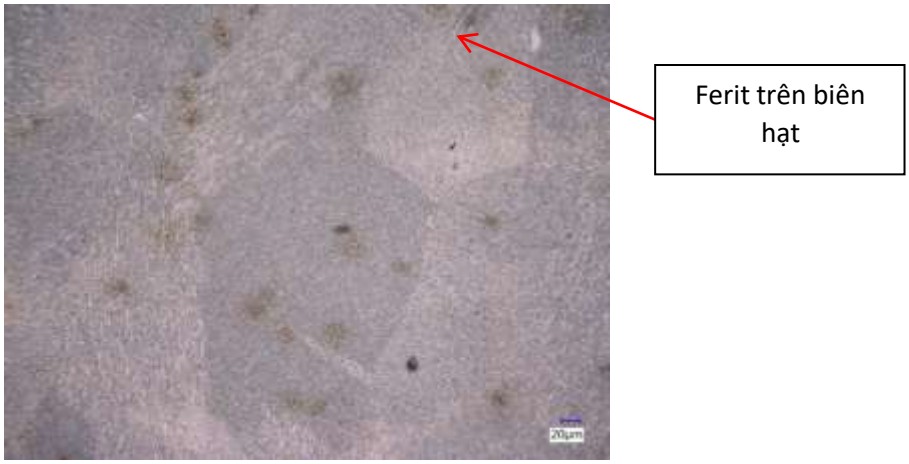
Ngoài ra thành phần còn có nhiều nguyên tố hợp kim vi lượng khác

Đây là thép C thấp, hợp kim trung bình: 4,8-5,0% NTHK

Tổ chức tế vi dự báo: F+P+ cácbit

Ak ≈13,3-13,6 J, cao hơn các mẫu TN15 và mẫu biến tính bằng Al, dự báo kích thước hạt đã nhỏ hơn.

Tổ chức tế vi:




*Hình 4. 12: Phân tích tổ chức tế vi mẫu M2 sau đúc*

Phân tích tổ chức tế vi mẫu M2 sau đúc nhận thấy:

Tổ chức của mẫu nhỏ mịn hơn so với mẫu chỉ biến tính bằng Al (mẫu M1) và mẫu M0.

Không thấy xuất hiện Ferit tiết ra từ trạng thái lỏng.

Ferit tiết ra ở biên giới hạt ít hơn so với mẫu M0 và M1 cũng như có kích thước nhỏ hơn so với mẫu này. Tổ chức bên trong mẫu vẫn còn xuất hiện rỗ. Điều này khó có thể tránh khỏi do công nghệ đúc chi tiết ở đây sử dụng mẫu xốp nên dễ bị xuất hiện rỗ.




*Hình 4. 13: Phân tích độ hạt mẫu M2*

Phân tích độ hạt mẫu M2 cho thấy cấp hạt của mẫu là 3.45

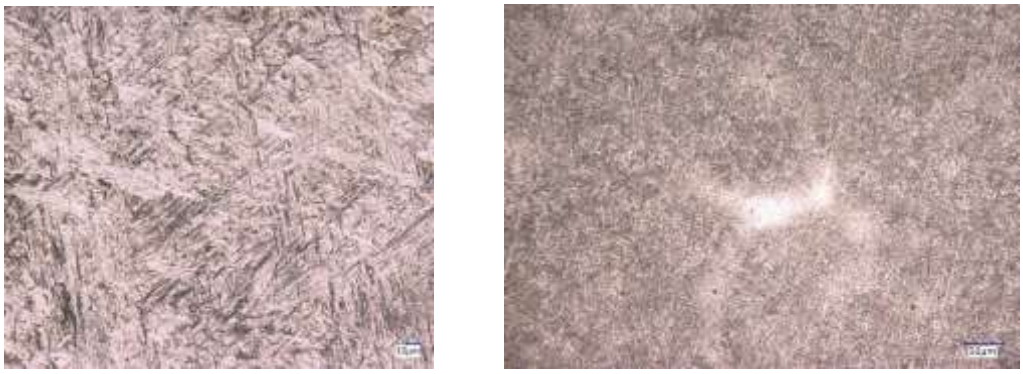
Từ các kết quả phân tích ở trên có thể rút ra một số kết luận như sau:

Tổ chức tế vi gồm các pha Peclit (giả cùng tích) và ít Ferit trên biên hạt

Kích thước hạt có được cải thiện khá nhiều, nằm trong vùng được phép sử dụng theo tiêu chuẩn ASTM 2,84-3,19). Tuy nhiên vẫn còn lớn

Do vậy, dùng Al+Ti để biến tính cho hạt nhỏ, có thể nguội chậm hơn để ra tổ chức cân bằng (F+P) thì độ dẻo sẽ cao hơn (độ dai va đập sẽ cao hơn) và dùng Al để khử khí (vì mẫu còn nhiều rỗ khí).

*Đánh giá tổ chức tế vi sau khi xử lý nhiệt*



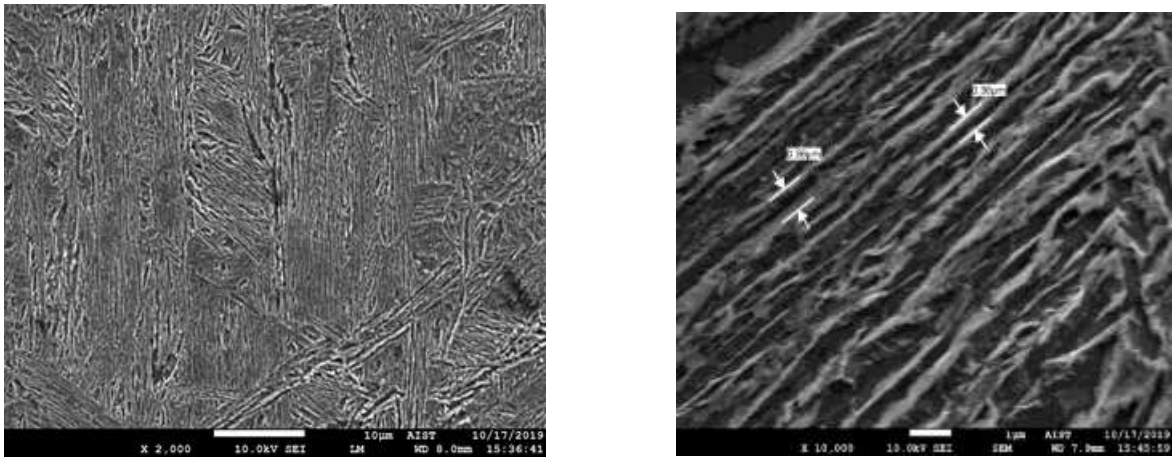
*a) ×1000 b) ×500*

*Hình 4. 14:* Tổ chức tế vi hợp kim M2 sau xử lý nhiệt

Phân tích tổ chức tế vi sau nhiệt luyện ở chế độ 2,9 cho thấy:

Sau xử lý nhiệt, tổ chức tế vi của hợp kim có cấu trúc dạng tấm (với cấu trúc này có thể là các mactenxit hoặc bainite). Ngoài ra, còn có một số cacbit nhỏ mịn phân tán bên trong nền.

Phân tích độ hạt sau khi xử lý nhiệt cho thấy độ hạt sau nhiệt luyện có thể đạt tới cấp 4. Với độ hạt này đảm bảo yêu cầu làm việc cho chi tiết.



*Hình 4. 15:* Phân tích SEM hợp kim M2 sau xử lý nhiệt

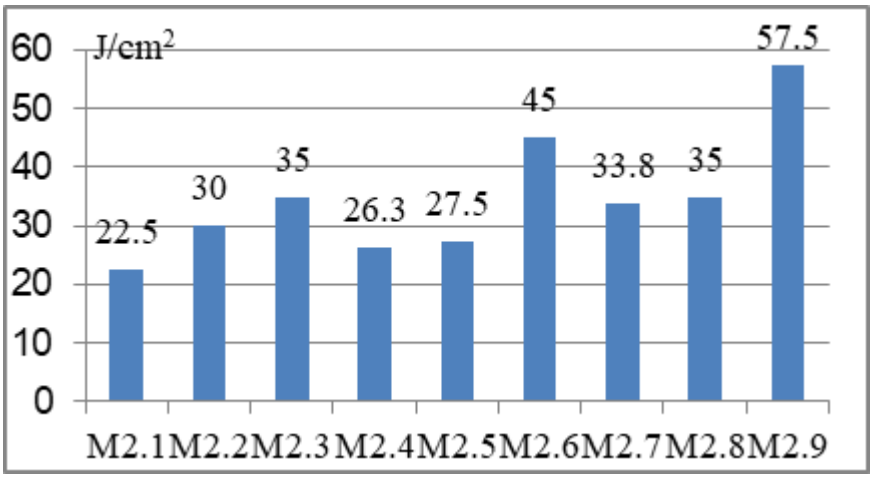
Ảnh chụp SEM (Hình 4.15) cho thấy với độ phóng đại cao hơn cho thấy tổ chức là các tấm Ferrite song song với nhau. Đây là dạng tổ chức đặc trưng của bainite - tổ chức hình thành với tốc độ nguội chậm hơn.

Các tấm Ferrite song song với nhau ở trong cùng một hạt khoảng cách giữa các tấm là dao động từ 0,36 đến 0,56µm

Phân tích về độ dai va đập:

So sánh giá trị độ dai va đập của mẫu sau các chế độ xử lý nhiệt (Hình 4.16) cho thấy: giá trị độ dai va đập đạt lớn nhất là 57.5J/cm$^2$ khi mẫu được nung ở 650$^o$C giữ nhiệt trong 02 giờ sau đó nâng tiếp lên 920$^o$C giữ nhiệt trong 03 giờ và nguội nhanh trong

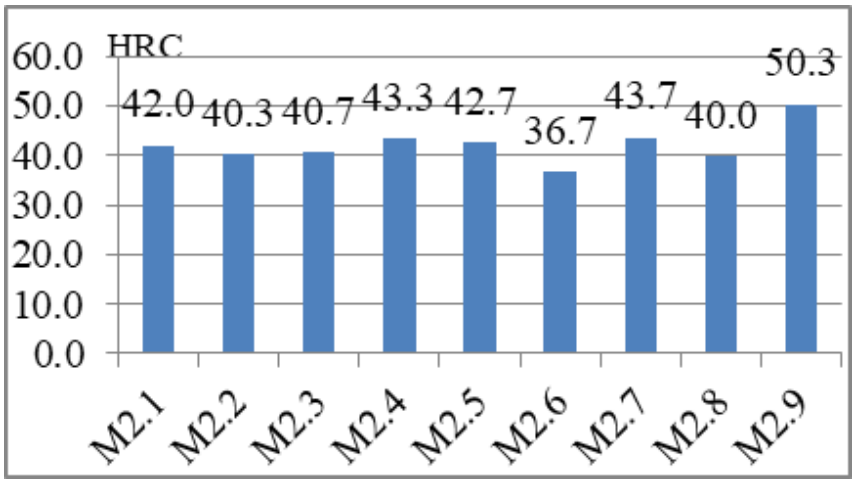
nước; sau đó mẫu được ram ở 250°C trong 06 giờ để đảm bảo các chuyển biến xảy ra hoàn toàn. Với chế độ trên thu được giá trị độ dai va đập là lớn nhất trong các chế độ xử lý. Với tổ chức đặc trưng là bainite xen kẽ là austenite dư đảm bảo được giá trị độ dai va đập của mẫu thép nghiên cứu.




*Hình 4. 16: Phân tích giá trị độ dai va đập*

Ảnh hưởng đến độ cứng

Phân tích giá trị độ cứng trên bề mặt của mẫu cho thấy các chế độ M2.4; M2.7 và M2.9 có giá trị độ cứng xấp xỉ nhau và với giá trị độ cứng này đảm bảo yêu cầu làm việc của chi tiết răng gầu. Tuy nhiên, kết hợp với giá trị độ dai va đập cho thấy chế độ M2.9 thỏa mãn các yêu cầu đặt ra ban đầu của hợp kim nghiên cứu. Với chế độ M2.9 đảm bảo được về tổ chức thỏa mãn các yêu cầu ban đầu.




*Hình 4. 17: Phân tích giá trị độ cứng trên bề mặt*

## 4.3. Kết luận chương 4

Đề tài đã xây dựng được bộ quy trình gồm:

Nấu luyện bằng lò điện cảm ứng trung tần 1–1,5 tấn; khử oxy bằng FeSi và Al, đồng thời kiểm soát chặt thành phần hóa học.

Biến tính kết hợp Al–Ti để cải thiện độ hạt và cơ tính.

Đúc trong khuôn cát thạch anh–nước thủy tinh, đóng rắn bằng $CO_2$; nhiệt độ rót thích hợp khoảng 1.480–1.490°C.

Xử lý nhiệt theo chuỗi thường hóa–tôi–ram để điều chỉnh tổ chức và cân bằng độ cứng với độ dai.

Mẫu biến tính Al–Ti đạt cấp hạt khoảng 3,45 ASTM; sau nhiệt luyện có thể đạt cấp hạt 4, hình thành tổ chức bainite/austenite dư và đáp ứng yêu cầu cơ tính của răng gầu.

# CHƯƠNG 5. CHẾ TẠO THỬ NGHIỆM THÉP Mn THẤP, ĐÁNH GIÁ VÀ HOÀN THIỆN QUY TRÌNH

## 5.1. Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá chất lượng và hoàn thiện quy trình công nghệ

### 5.1.1. Thử nghiệm nấu luyện, đúc hợp kim thép Mn thấp

Thiết bị nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

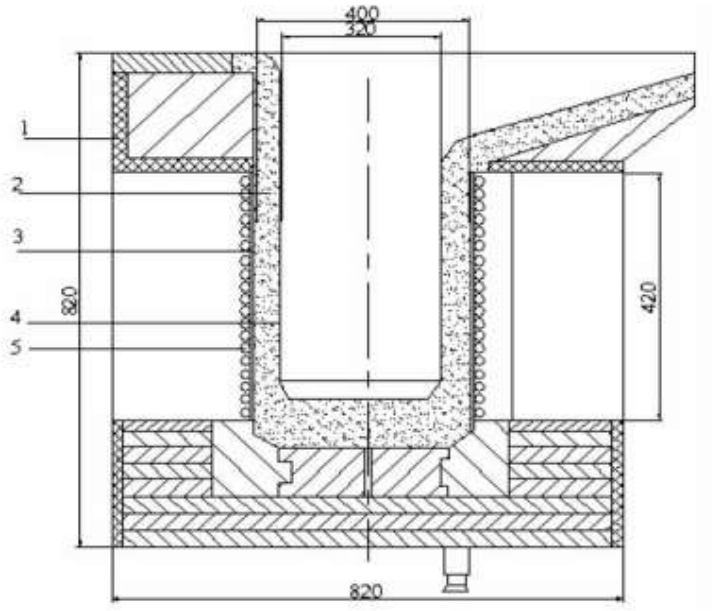
Lò nấu thép

Cấu tạo lò

Sử dụng lò điện cảm ứng trung tần. Lò cảm ứng làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ. Khi đặt một khối kim loại vào trong một từ trường biến thiên thì trong khối kim loại sẽ xuất hiện (cảm ứng) các dòng điện xoáy (dòng Fuco). Nhiệt năng của dòng điện xoáy sẽ đốt nóng kim loại.

Nồi lò gồm 3 lớp cơ bản: trong cùng là lớp chịu lửa, tiếp theo là lớp cách nhiệt, ngoài cùng là lớp cách điện tiếp giáp với vòng cảm ứng.

Vật liệu làm tường lò tuỳ theo từng mác thép và tuỳ theo công nghệ nấu luyện. Độ dày của tường lò mỏng hơn đáy lò vì đáy lò còn chịu trọng lượng của kim loại. Vòng cảm ứng làm bằng ống đồng có nước làm nguội. Khung lò có chức năng cố định vòng cảm ứng với nồi lò và để lắp đặt các hệ thống nghiêng lò ...Vật liệu làm khung phải là vật liệu phi từ.




*Hình 5. 1: Cấu tạo nội hình lò*

1-Vỏ lò: 2- áo lò; 3- lớp Amiăng; 4-Vòng cảm ứng; 5- Dưỡng lò

Khung lò gồm có khung ngoài và khung trong: khung ngoài để đỡ lò, thiết bị nghiêng lò. Khung ngoài được cố định vào sàn thao tác. Khung trong có tác dụng chứa toàn bộ lò. Yêu cầu của khung trong phải chắc chắn, phi từ, không khép kín mạch điện. Khung trong được nối với khung ngoài bằng hai gối trục qua.

Tính toán phối liệu

Tính phối liệu cho 5 kg thép lỏng Mn thấp sau cháy hao, với thành phần đích như sau:

C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Nguyên liệu tính toán gồm CT3, gang xám, FeMn C thấp, FeCr C thấp, FeSi75, FeMo60, Ni kim loại và Al kim loại.

Thành phần nguyên liệu giả định được trình bày ở Bảng 5.1; đơn vị % khối lượng.

*Bảng 5. 1: Phối liệu và thành phần hóa học của các cấu tử trong mẻ liệu*

| **Nguyên liệu** | **C** | **Mn** | **Si** | **Cr** | **Mo** | **Ni** | **Al** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thép vụn CT3 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Gang xám | 3,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMn C thấp | 1,00 | 70,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeCr C thấp | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeSi75 | 0,00 | 0,00 | 75,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMo60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ni kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,90 | 0,00 |
| Al kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,70 |

Thành phần đích của thép Mn thấp dùng để tính phối liệu (mẫu nền M0): C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Cơ sở tính giả định: giữ các giá trị đã nêu cho CT3 (0,20% C; 0,02% Cr), gang xám (3% C), FeMn (1% C; 0,6% Si; 70% Mn) và FeCr (1% C; 60% Cr). Bổ sung giả thiết FeSi75 chứa 75% Si, FeMo60 chứa 60% Mo, Ni kim loại chứa 99,9% Ni và Al

kim loại chứa 99,7% Al. Các ô 0 là giả thiết bỏ qua đóng góp, không phải kết quả phân tích; phần còn lại quy ước là Fe.

Hiệu suất thu hồi giả định: C 85%; Mn 90%; Si 90%; Cr 95%; Mo 100%; Ni 100%; Al 50%. C, Mn, Cr kế thừa tỷ lệ cháy hao đã chọn trong báo cáo; Si lấy theo trường hợp FeSi bổ sung cuối kỳ hoàn nguyên; Mo, Ni theo bảng hiệu suất của báo cáo. Al 50% là giả thiết tính thử cần xác nhận. Giả thiết Fe thu hồi 100%, chưa xét tổn thất cơ học và kim loại cuốn theo xỉ.

Quy ước M = 5 kg là khối lượng thép lỏng sau cháy hao, không phải tổng lượng nạp và không phải khối lượng vật đúc sau cắt hệ thống rót. Khối lượng từng nguyên liệu $m_j$ tính bằng kg; $a_{ij}$ là phần khối lượng nguyên tố i trong nguyên liệu j; $c_i$ là phần khối lượng đích; $\eta_i$ là hiệu suất thu hồi.

Cân bằng đồng thời từng nguyên tố: $\eta_i \times \Sigma(a_{ij} \times m_j) = M \times c_i$. Cân bằng khối lượng thép lỏng: $\Sigma m_j - \Sigma_i[(1 - \eta_i) \times \Sigma_j(a_{ij} \times m_j)] = M$. Các hàm lượng trong phương trình dùng dạng phần khối lượng (ví dụ 0,255% = 0,00255).

Đặt t, g, f, r, s, u, n, a lần lượt là khối lượng CT3, gang xám, FeMn, FeCr, FeSi75, FeMo60, Ni và Al. Hệ phương trình gồm:

C: 0,85 × (0,002t + 0,03g + 0,01f + 0,01r) = 0,00255M.

Mn: 0,90 × 0,70f = 0,00887M; Si: 0,90 × (0,006f + 0,75s) = 0,01631M.

Cr: 0,95 × (0,0002t + 0,60r) = 0,01676M; Mo: 0,60u = 0,00251M.

Ni: 0,999n = 0,00040M; Al: 0,50 × 0,997a = 0,00053M.

Khối lượng: 0,99969t + 0,9955g + 0,9279f + 0,9685r + 0,925s + u + n + 0,5015a = M.

Giải hệ cho M = 5 kg thu được lượng nạp dự kiến như sau (kg):

| Nguyên liệu | Khối lượng nạp, kg |
|---|---|
| Thép vụn CT3 | 4,533083 |
| Gang xám | 0,125827 |
| FeMn C thấp | 0,070397 |
| FeCr C thấp | 0,145507 |
| FeSi75 | 0,120252 |
| FeMo60 | 0,020917 |
| Ni kim loại | 0,002002 |
| Al kim loại | 0,005316 |
| Tổng lượng nạp | 5,023299 |

Kiểm tra khối lượng: 5,023299 − 0,023299 = 5,000000 kg thép lỏng. Phần hao hụt trên chỉ gồm cháy hao các nguyên tố theo giả thiết.

Kiểm tra thành phần sau thu hồi: C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Đây là phối liệu tính toán theo giả thiết, chưa phải định mức nạp đã được xác nhận thực nghiệm. Trước mỗi mẻ phải thay các giả thiết bằng chứng chỉ/kết quả phân tích nguyên liệu và hiệu suất thu hồi thực tế, tính lại đồng thời cả hệ, cân theo độ chính xác thiết bị và kiểm tra quang phổ để hiệu chỉnh. Al nạp bao gồm phần bị oxy hóa và phần còn lại trong thép; không cộng thêm tùy ý lượng Al khử oxy ngoài cân bằng này.

Quy trình nấu luyện

Quy trình nấu trong lò điện cảm ứng được chia ra làm nhiều thời kỳ

- Nạp liệu:

Thép vụn và gang xám được chất vào lò đầu tiên để nấu chảy

Các loại fero được nung nóng và đưa vào sau khi thép vụn và gang xám được nấu chảy

- Nấu chảy:

Khi lò nguội đóng điện 50% công suất sấy lò khoảng 20 - 30 phút

Nâng công suất cao cho chảy liệu

Tiến hành bổ sung dần liệu vào lò, ấn liệu xuống, thường xuyên cho thép lỏng dâng lên và liệu đi xuống.

Trong quá trình nấu luyện thì các lớp liệu phía trên chảy rất chậm vì vậy thường hay xuất hiện hiện tượng treo liệu. Để khắc phục cần chú ý thường xuyên đẩy liệu chưa chảy xuống phía dưới vùng kim loại lỏng

Tiến hành vớt xỉ trước và sau khi nạp fero vào lò để loại bỏ tạp chất

- Tinh luyện và khử khí: sử dụng các loại fero phù hợp và Al để tinh luyện và khử khí

Các mác thép được tiến hành nấu trong lò trung tần có khối lượng mẻ nấu trung bình là 250kg với mục đích để các mác thép nghiên cứu đảm bảo tính đồng đều thành phần và ổn định. Mẫu nghiên cứu được lấy trên sản phẩm là răng gầu xuất khẩu của công ty. Vị trí lấy mẫu được lấy ở vị trí lưỡi răng gầu xúc nơi chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn và đảm bảo độ dai nhất định.

Thành phần mỗi mẻ nấu được tiến hành phân tích thành phần trên thiết bị phân tích nguyên tố ARL-3460 của hãng Fisons Thụy Sĩ cho kết quả như trong Bảng 5.2

*Bảng 5. 2: Thành phần nguyên tố hợp kim chính*

| **Mẫu** | **C** | **Mn** | **Si** | **Cr** | **Mo** | **Ni** | **Al** | **Ti** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M0 | 0,255 | 0,887 | 1,631 | 1,676 | 0,251 | 0,040 | 0,053 | - |
| M1 | 0,282 | 0,883 | 1,433 | 1,602 | 0,218 | 0,369 | 0,211 | - |
| M2 | 0,249 | 0,869 | 1,479 | 1,579 | 0,219 | 0,365 | 0,192 | 0,151 |

*. Phân tích tổ chức tế vi*

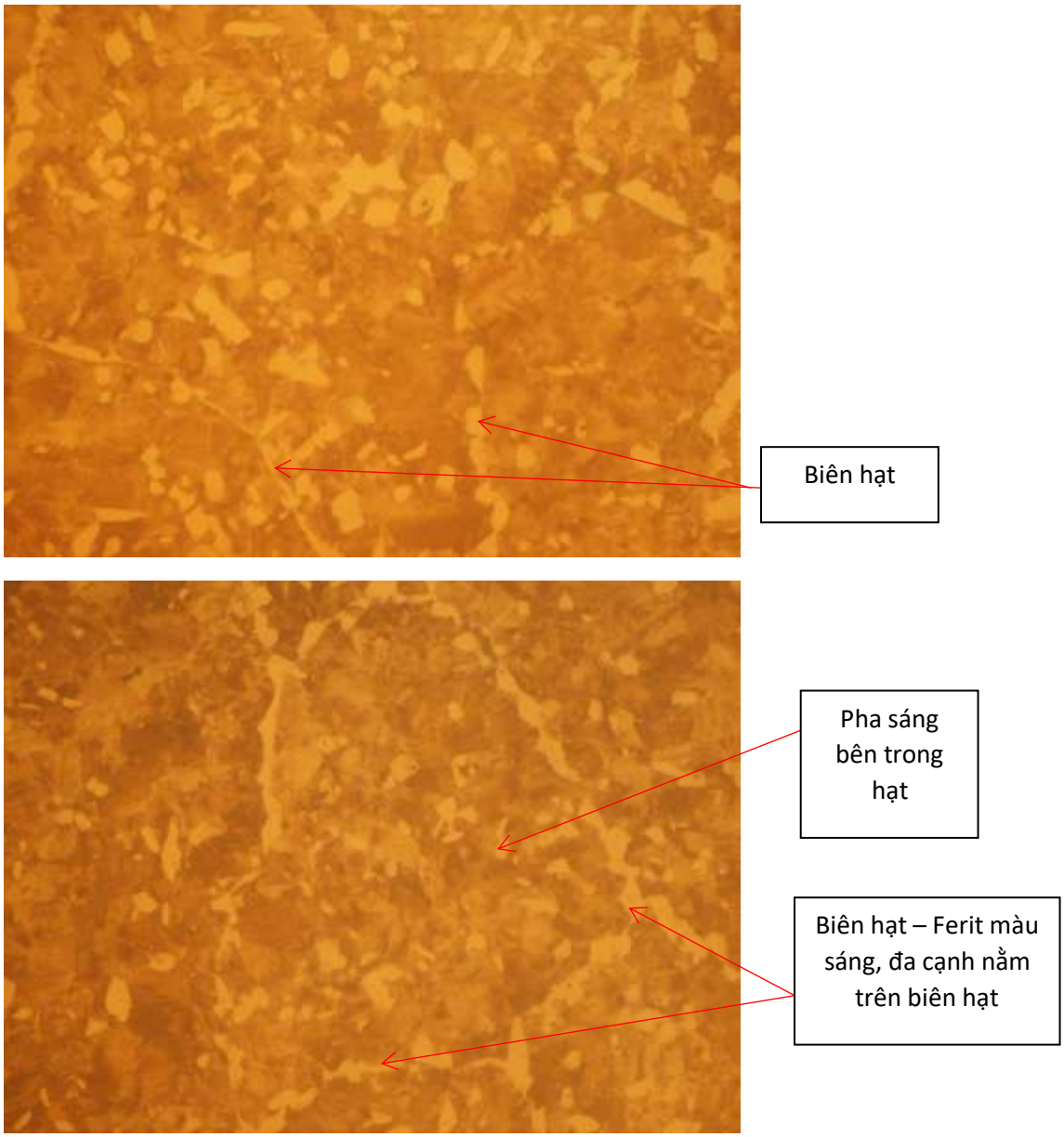
Phân tích mẫu sử dụng 0,053%Al để khử khí

Thành phần hợp kim phức tạp

Dự báo tổ chức tế vi gồm các pha chính: Ferrit + Peclit + Một số cacbit hợp kim tự do. Do thành phần phức tạp, có thể còn có một số pha liên kim khác .

Độ dai va đập: Ak≈ 9J

Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc:




*Hình 5. 2:Tổ chức tế vi của mẫu M0 sau đúc*

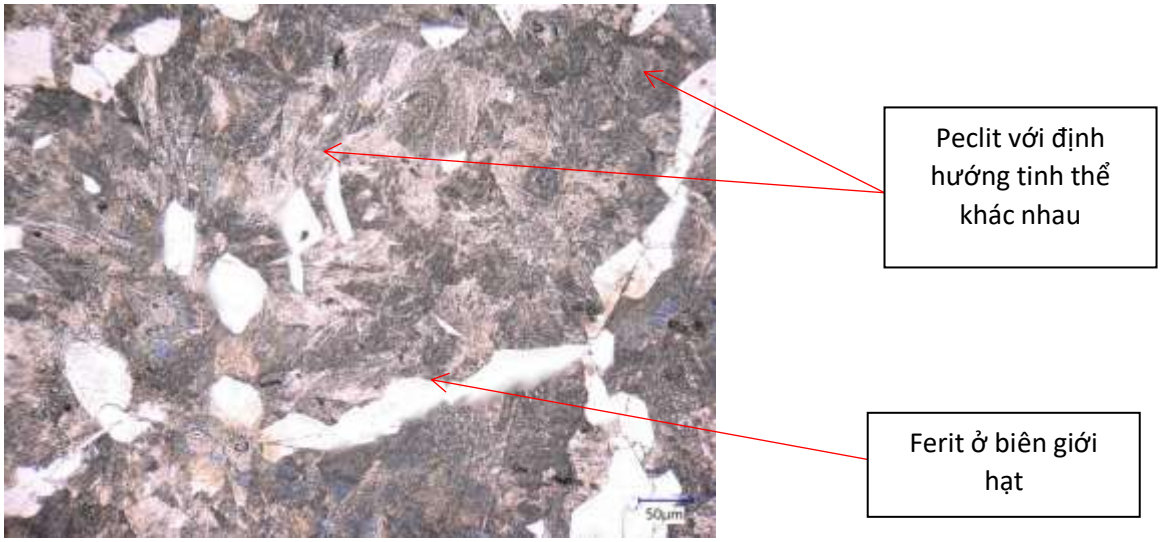
Quan sát tổ chức tế vi của mẫu M0 sau đúc cho thấy (Hình 5.2), ở Hình 5.2a, với độ phóng đại 50 lần, kích thước hạt của mẫu là rất lớn, do đó chưa thể xác định chính xác kích thước hạt tại mức phóng đại này. Ở Hình 5.2b, có thể nhận thấy rõ một hạt riêng biệt trong tổ chức kim loại ở cùng độ phóng đại, phản ánh sự không đồng đều về kích thước hạt trong cấu trúc của mẫu.

Bên trong hạt quan sát thấy sự xuất hiện của các hạt sáng, tuy nhiên đây không phải là ferit hình thành từ austenit. Các hạt sáng này có ranh giới rõ rệt so với vùng nền peclit (được hình thành từ austenit), cho thấy đây có thể là các pha thứ cấp hoặc hợp chất xen kẽ giàu nguyên tố hợp kim được kết tủa trong quá trình nguội.

Đáng chú ý, biên giới của các hạt sáng này khác biệt rõ so với ferit ở biên giới hạt, nơi ranh giới giữa ferit và peclit không có sự phân tách sắc nét (Hình 5.3). Hiện tượng này phản ánh sự khác nhau về cơ chế hình thành pha: trong khi ferit biên hạt thường phát triển chậm và liên tục trong quá trình chuyển biến eutectoit, thì các pha sáng nội hạt có thể được hình thành do quá trình kết tủa cục bộ hoặc phân tách thành phần hóa học khi kim loại nguội từ vùng austenit quá bão hòa.

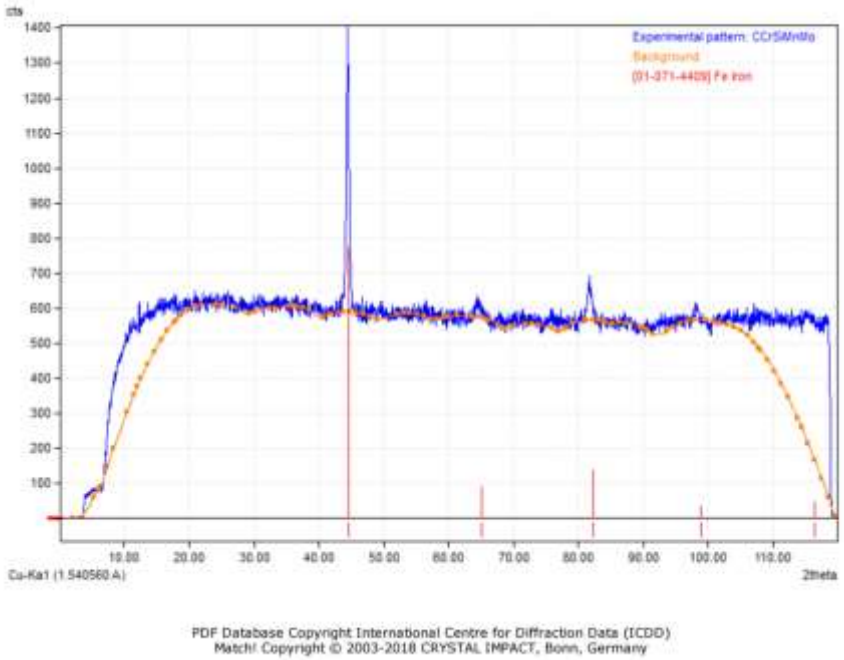
Những đặc điểm tổ chức này cho thấy mẫu sau đúc có cấu trúc chưa đồng nhất, với sự khác biệt giữa các vùng trong và ngoài hạt, có thể ảnh hưởng đến tính chất cơ học và khả năng biến dạng dẻo của vật liệu ở giai đoạn tiếp theo.

Phân tích sự hình thành Peclit ở trong hạt cho thấy có định hướng khác nhau của Peclit ở trong cùng một hạt Hình 5.2a.




*Hình 5. 3: Tổ chức tế vi mẫu M0 chụp bằng kính hiển vi VHX*

Kết quả phân tích nhiễu xạ Rơn ghen:




*Hình 5. 4: Kết quả phân tích XRD mẫu M0*

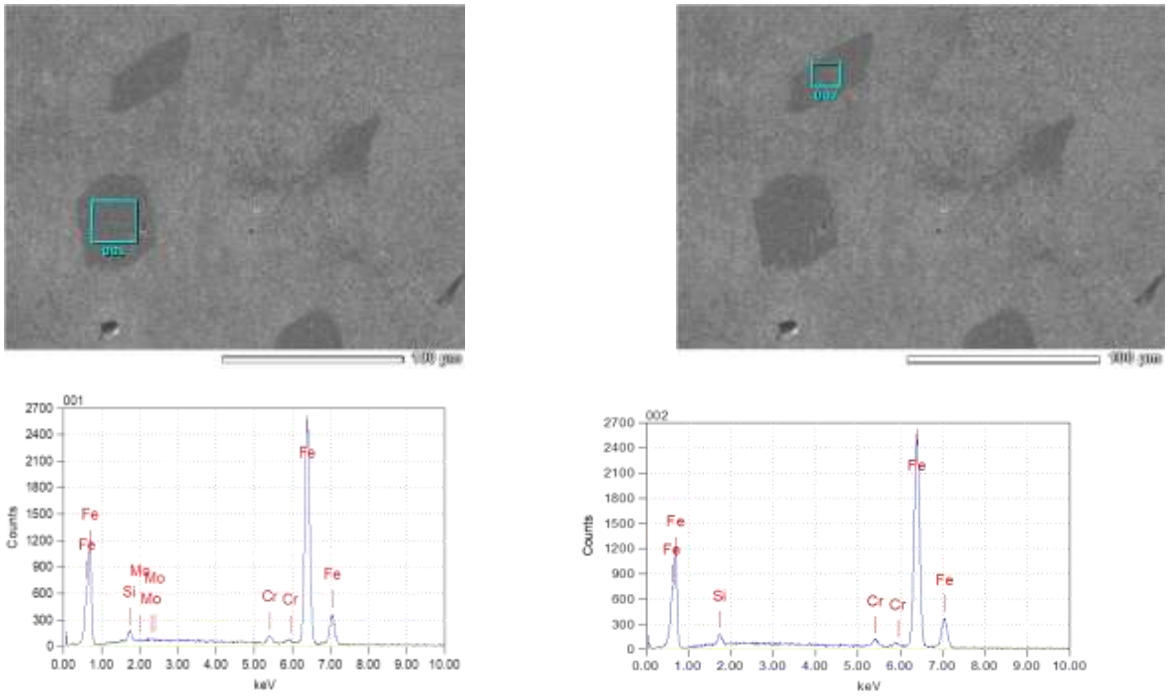
Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) cho thấy pha chính của mẫu hợp kim là pha dung dịch rắn của sắt (Fe), trong đó hòa tan các nguyên tố hợp kim như C, Cr, Si, Mn và Mo. Điều này cho thấy trong quá trình đúc và làm nguội, các nguyên tố hợp kim đã được hòa tan tương đối đồng đều trong nền Fe, tạo thành dung dịch rắn ổn định.

Phổ XRD không phát hiện thấy sự xuất hiện của các pha liên kim (intermetallic compounds), chứng tỏ rằng tốc độ nguội và thành phần hóa học của hợp kim nghiên cứu chưa tạo điều kiện thuận lợi cho sự hình thành các pha này. Điều này cũng phù hợp với kết quả quan sát tổ chức tế vi, trong đó không nhận thấy sự tồn tại rõ rệt của các pha liên kim đặc trưng.

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng phương pháp XRD có giới hạn về độ nhạy đối với các pha có hàm lượng rất nhỏ hoặc kích thước hạt mịn dưới giới hạn phát hiện của thiết bị. Do đó, các hạt sáng quan sát được bên trong hạt và tại biên giới hạt trong ảnh hiển vi quang học có thể là những pha thứ cấp hoặc các hợp chất vi mô giàu nguyên tố hợp kim, nhưng không đủ cường độ nhiễu xạ để được ghi nhận trên giản đồ XRD.

Để xác định chính xác bản chất và thành phần hóa học của các pha sáng này, cần sử dụng thêm các phương pháp phân tích có độ phân giải cao hơn như hiển vi điện tử truyền qua (TEM) kết hợp với phân tích phổ tán sắc năng lượng (EDS) hoặc phân tích nhiễu xạ vùng chọn (SAED).

Bằng kết quả phân tích SEM và EDS nhận thấy:




*Hình 5. 5: Phân tích pha sáng tại bên trong hạt*

Kết quả phân tích phổ tán sắc năng lượng (EDS) tại các vị trí 1 và 2, tương ứng với các vùng sáng nằm bên trong hạt trên ảnh hiển vi điện tử quét (SEM), cho thấy thành phần nguyên tố chủ yếu là sắt (Fe). Bên cạnh đó, trong phổ EDS cũng ghi nhận sự xuất hiện của một số nguyên tố hợp kim như Cr, Mn, Si và Mo với hàm lượng nhỏ. Nguyên tố cacbon (C) không được phát hiện trong phổ EDS, có thể do nằm trong giới hạn sai số đo của phương pháp phân tích đối với nguyên tố nhẹ.

Từ kết quả này có thể nhận định rằng vùng sáng bên trong hạt là pha ferit (α-Fe) — pha dung dịch rắn của sắt có chứa một lượng nhỏ các nguyên tố hợp kim. Kết luận này phù hợp với kết quả phân tích XRD, trong đó chỉ phát hiện pha dung dịch rắn của Fe mà không thấy sự xuất hiện của các pha liên kim hoặc cacbit riêng biệt.

Kết quả đo độ cứng của các pha:

*Bảng 5. 3: Kết quả độ cứng các pha*

| STT | Vị trí đo | HV | HRC | Ghi chú |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Pha trắng | 127 | | Trong hạt |
| 2 | | 136 | | |
| 3 | | 159 | | Biên hạt |
| 4 | Pha màu sẫm (Peclít) | 192 | 9,0 | |
| 5 | | 174 | 4,2 | |

Nhận xét: - Độ cứng của các pha màu sáng trên biên hạt (ferit) có độ cứng thấp hơn các pha màu sáng trong hạt (nhưng không nhiều)

Kết luận về tổ chức sau đúc (mẫu lần 1 – 0,053%Al khử khí)

Tổ chức sau đúc có kích thước hạt rất lớn: hạt bé nhất tìm thấy qua mẫu có kích thước 1,055mm (do đó, các hạt lớn có kích thước lớn hơn nhiều). Theo tiêu chuẩn

ASTM (của Mỹ - hiện Việt Nam cũng theo tiêu chuẩn này), vật liệu kim loại có kích thước hạt có thể sử dụng được phải có kích thước (đường kính hạt) từ 25-300 micron (cấp hạt từ cấp 8 - cấp 1, cấp càng lớn, hạt có kích thước càng nhỏ, cơ tính càng cao). Do hạt lớn như vậy nên vật liệu rất giòn (độ dai va đập là A=9,1J). Như vậy, vật liệu của Công ty đúc là không đạt tiêu chuẩn để sử dụng.

Mẫu còn khá nhiều rỗ khí, trong thành phần hóa học, hàm lượng Al dùng để khử khí là khá nhỏ: 0,053%. Thực tế, ngoài dùng Al để khử khí, theo tham khảo tài liệu, có thể dùng nhôm để biến tính. Nếu hàm lượng nhôm trong thép trong khoảng từ 0,18-0,2% thì có thể tạo ra được kích thước hạt nhỏ sau đúc (vừa có tác dụng khử khí tốt). Nếu hàm lượng Al lớn (1,7-3,8%) thì lại làm cho hạt bị lớn sau đúc.

Phương pháp X-ray cho thấy thành phần pha chủ yếu là dung dịch rắn, có thêm các nguyên tố hợp kim

Vi phân tích thành phần hóa học bằng phương pháp EDS (trên ảnh SEM) cho thấy, các vùng màu sáng trong hạt là dung dịch rắn (Ferit) có hòa tan các nguyên tố hợp kim (không phải là pha liên kim theo nghi ngờ). Các hạt màu sáng là Ferit delta, tiết ra từ trạng thái lỏng, ở nhiệt độ cao.

Phương pháp đo độ cứng: hạt màu sáng trong hạt có độ cứng cao hơn biên hạt không đáng kể, do vậy cùng với các phương pháp trên, kết luận chúng đều là các pha Ferit.

***Mẫu sau biến tính bằng Al (0,2%) – mẫu M1***

So với mẫu đúc lần 1, các mẫu này có thành phần Al cao hơn (đến 0,194% và 0,211)

Có thêm Ni 0,365 % và 0,369% (mẫu đúc lần 1 không có Ni)

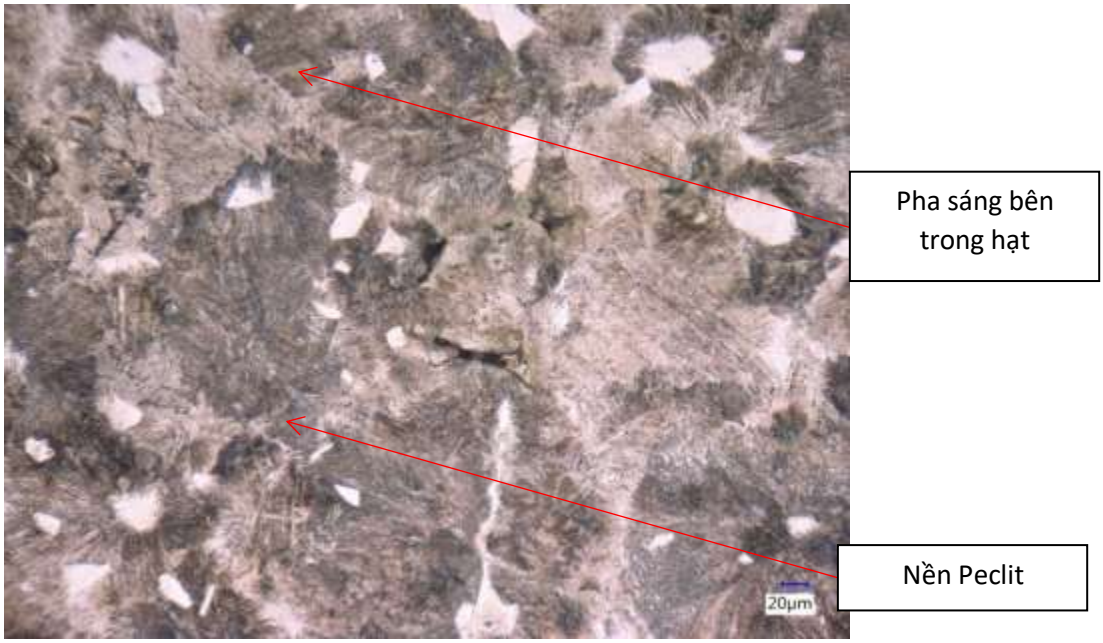
Ngoài ra thành phần còn có nhiều nguyên tố hợp kim vi lượng khác

Đây là thép C thấp, hợp kim trung bình: 4,8-5,0% NTHK

Tổ chức tế vi dự báo: F+P+ cácbit

Ak ≈ 12,6-12.9 J, cao hơn mẫu M0, kích thước hạt đã có thể bé đi.

Tổ chức tế vi:




*Hình 5. 6: Tổ chức tế vi mẫu M1 sau đúc*

Phân tích tổ chức tế vi mẫu M1 sau đúc cho thấy tổ chức gần giống với mẫu M0 gồm các hạt màu sáng ở trên biên giới hạt; hạt màu sáng bên trong hạt và nền Peclit. Tuy nhiên, độ hạt nhỏ hơn so với mẫu M0; độ hạt tròn đều hơn. Phân tích độ hạt của mẫu cho thấy:

Kết luận mẫu biến tính bằng Al

Tổ chức tế vi gồm các pha Ferit trong hạt trên nền Peclit và trên biên hạt

Qua nghiên cứu một số tài liệu cho thấy, Al có tác dụng kích thích việc tiết ra Ferit ngay khi làm nguội từ trạng thái lỏng (gọi là Ferit Delta), do vậy quan sát trên ảnh biến tính bằng nhôm, lượng Al có trong mẫu từ 0,19-0,2%, thấy rất nhiều Ferit trong hạt, trong khi đó trên biên hạt, lượng Ferit tiết ra từ Austenit khi làm nguội xuống ít hơn, kích thước nhỏ hơn. Ferit Delta tiết ra nhiều không có lợi cho quá trình nhiệt luyện sau này (hòa tan khi nhiệt luyện khó hơn).

Kích thước hạt có được cải thiện chút ít nhưng không đáng kể, hạt vẫn lớn, không nằm trong vùng được phép sử dụng theo tiêu chuẩn ASTM (lớn nhất đến 300 micron)

Do vậy, không thể dùng nhôm để biến tính làm hạt nhỏ được, chỉ dùng khử khí.

Mẫu sau đúc biến tính bằng Al và Ti

Nhận xét:

So với mẫu đúc M0, các mẫu này có thành phần Ti cao hơn (lớn hơn 0,1%)

Có thêm Ni 0,369, 0,365 % và 0,363%

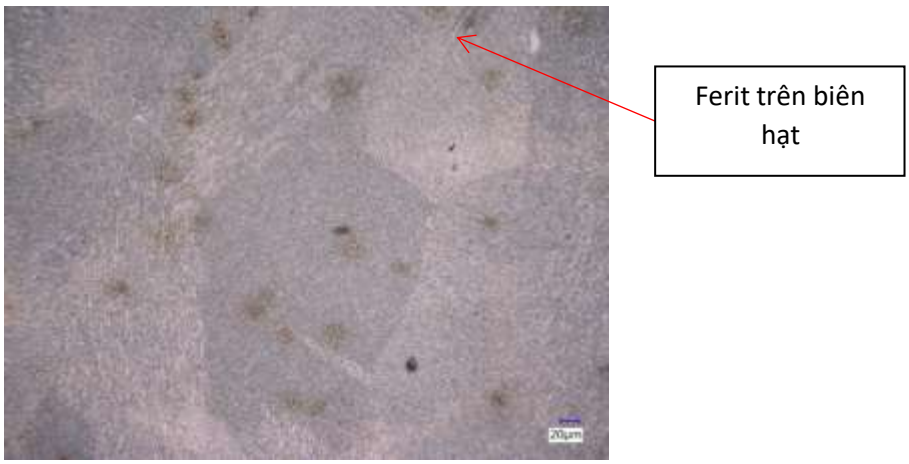
Ngoài ra thành phần còn có nhiều nguyên tố hợp kim vi lượng khác

Đây là thép C thấp, hợp kim trung bình: 4,8-5,0% NTHK

Tổ chức tế vi dự báo: F+P+ cácbit

Ak ≈13,3-13,6 J, cao hơn các mẫu TN15 và mẫu biến tính bằng Al, dự báo kích thước hạt đã nhỏ hơn.

Tổ chức tế vi:




*Hình 5. 7: Phân tích tổ chức tế vi mẫu M2 sau đúc*

Phân tích tổ chức tế vi mẫu M2 sau đúc nhận thấy:

Tổ chức của mẫu nhỏ mịn hơn so với mẫu chỉ biến tính bằng Al (mẫu M1) và mẫu M0.

Không thấy xuất hiện Ferit tiết ra từ trạng thái lỏng.

Ferit tiết ra ở biên giới hạt ít hơn so với mẫu M0 và M1 cũng như có kích thước nhỏ hơn so với mẫu này. Tổ chức bên trong mẫu vẫn còn xuất hiện rỗ. Điều này khó có thể tránh khỏi do công nghệ đúc chi tiết ở đây sử dụng mẫu xốp nên dễ bị xuất hiện rỗ.




*Hình 5. 8: Phân tích độ hạt mẫu M2*

Kết quả đo và phân tích độ hạt cho mẫu M2 cho thấy cấp hạt đạt giá trị 3,45 theo tiêu chuẩn ASTM.

Quan sát tổ chức tế vi cho thấy mẫu có cấu trúc gồm các pha chính là peclit (giả cùng tích) và một lượng nhỏ ferit phân bố dọc theo biên giới hạt. Kích thước hạt đã được cải thiện đáng kể so với mẫu ban đầu, đạt giá trị nằm trong khoảng cho phép theo tiêu chuẩn ASTM (2,84–3,19). Tuy nhiên, kích thước hạt vẫn còn tương đối lớn, cho thấy quá trình tinh luyện cấu trúc chưa đạt hiệu quả tối ưu.

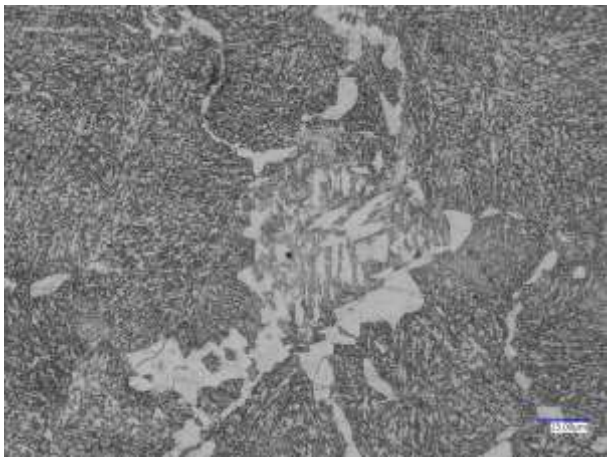
Từ các kết quả trên có thể rút ra rằng: việc sử dụng đồng thời các nguyên tố biến tính Al và Ti có khả năng làm nhỏ mịn kích thước hạt tinh thể, đồng thời cho phép

tốc độ nguội chậm hơn mà vẫn đạt được tổ chức cân bằng gồm ferit và peclit (F+P). Tổ chức này dự kiến sẽ nâng cao độ dẻo và độ dai va đập của thép, đáp ứng tốt hơn yêu cầu làm việc của chi tiết. Ngoài ra, nguyên tố Al còn có tác dụng khử oxy, góp phần giảm thiểu các khuyết tật rỗ khí còn quan sát thấy trong mẫu.

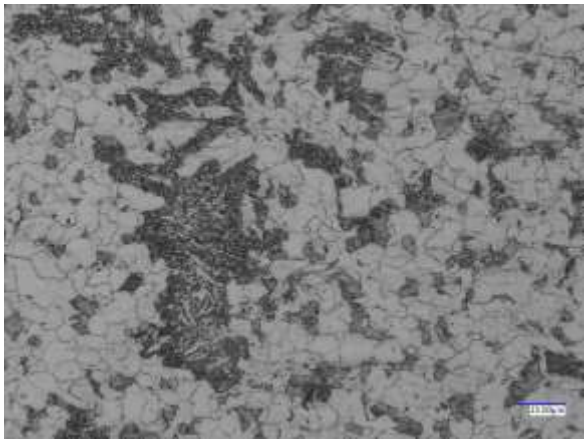
### 5.1.2. Thử nghiệm xử lý nhiệt hợp kim thép Mn thấp

Tổ chức tế vi của mẫu sau khi xử lý nhiệt

Tổ chức tế vi của mẫu sau thường hóa



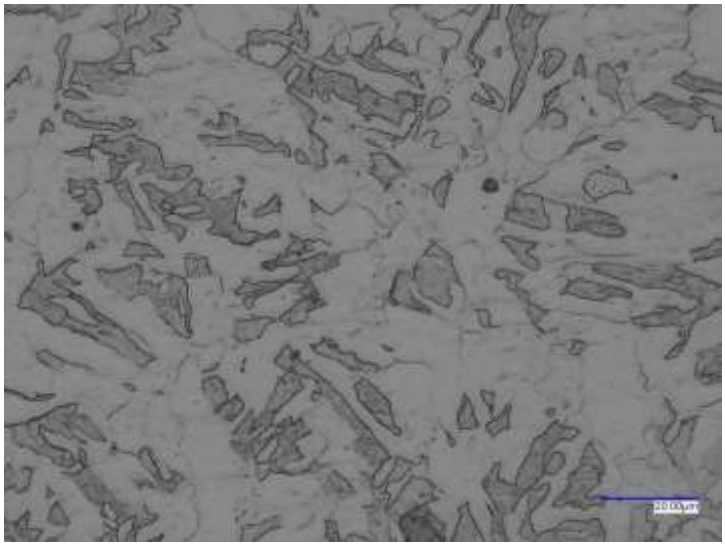
*Hình 5. 9: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau thường hóa (zoom x1000)*



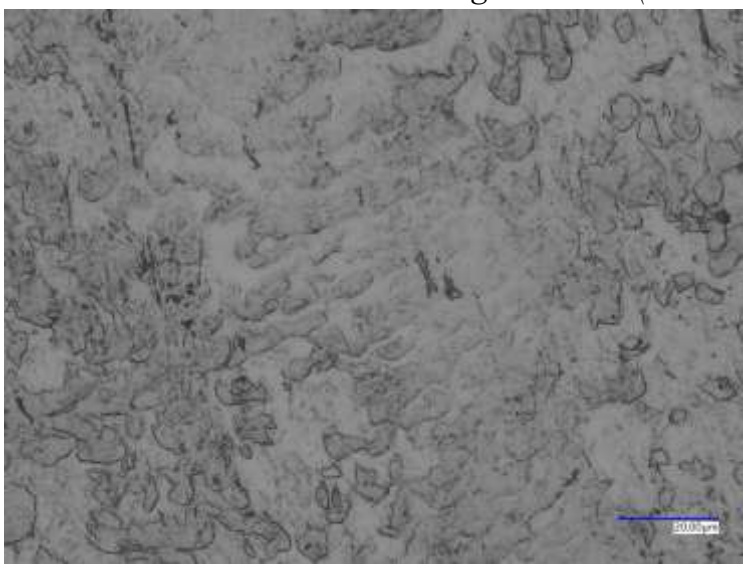
*Hình 5. 10: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau thường hóa (zoom x1000)*

Quan sát tổ chức tế vi của mẫu sau quá trình thường hóa với nhiệt độ nung là 900$^{o}$C trong thời gian 4 giờ cho ta thấy sự thay đổi rõ rệt về tổ chức. Sau khi xử lý nhiệt, mẫu có Ti hình thành rất nhiều các hạt nhỏ mịn và các biên giới hạt xuất hiện một cách rõ ràng hơn.

Tổ chức tế vi của mẫu sau tôi



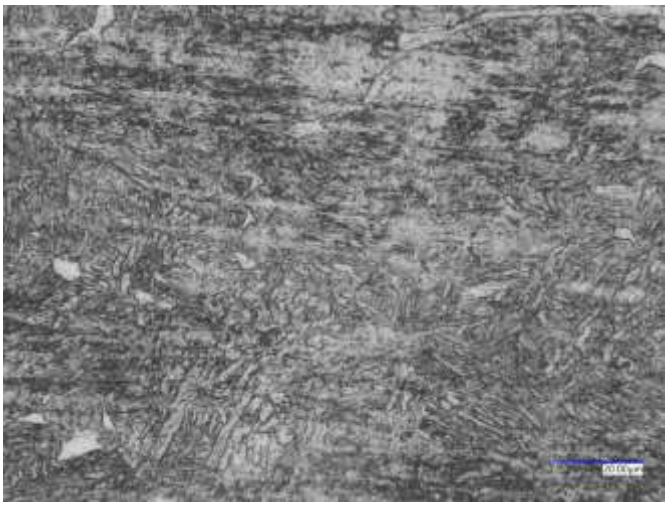
*Hình 5. 11: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau tôi (zoom x2000)*



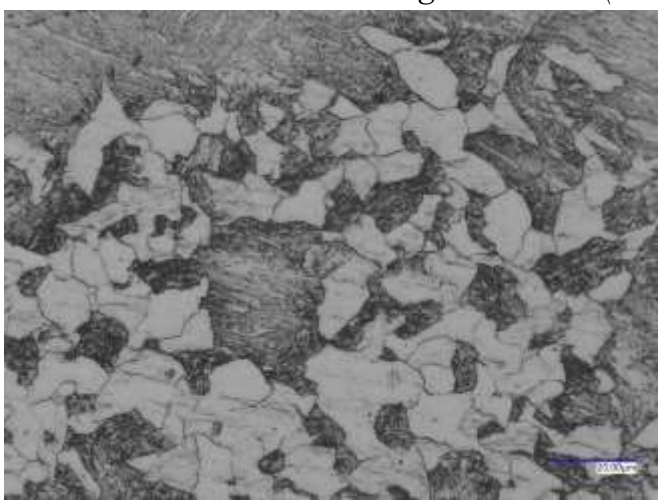
*Hình 5. 12: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau tôi (zoom x2000)*

Sau quá trình tôi, quan sát tổ chức tế vi cho thấy tổ chức của mẫu thép Mn thấp là tổ chức mactenxit.

Tổ chức tế vi của mẫu sau ram



*Hình 5. 13: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau ram (zoom x2000)*



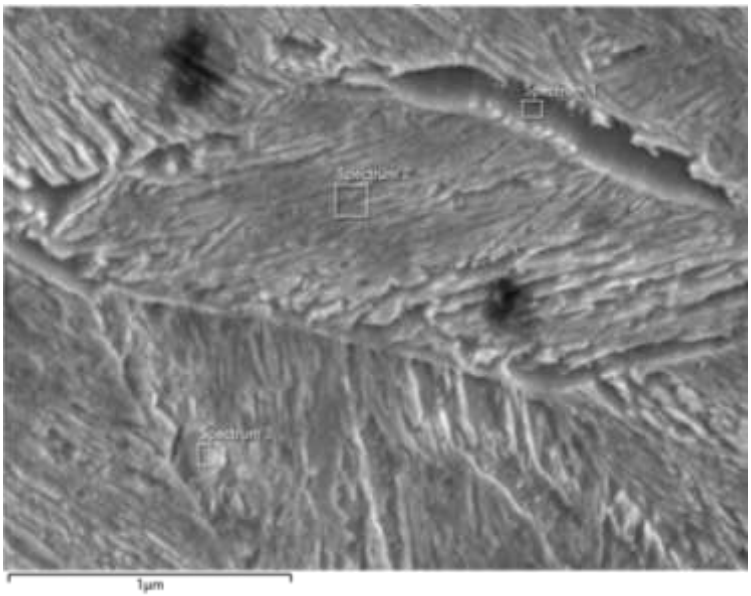
*Hình 5. 14: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau ram (zoom x2000)*

Tổ chức cuối cùng trước khi đem đi làm việc sẽ quyết định đến cơ tính và độ bền của thép. Quan sát ảnh chụp tổ chức tế vi của mẫu từ quá trình đúc đến khi trải qua quá trình xử lý nhiệt bao gồm 03 công đoạn: thường hóa, tôi và ram thì kích thước hạt đã giảm đáng kể. Việc bổ sung nguyên tố Ti cho thép và kết hợp với quá trình nhiệt luyện sẽ làm nhỏ mịn hạt. Ngoài ra, phân tích tổ chức tế vi sau bước xử lý nhiệt cuối cùng là ram ở 250$^{o}$C, giữ nhiệt trong thời gian 2h cho thấy:

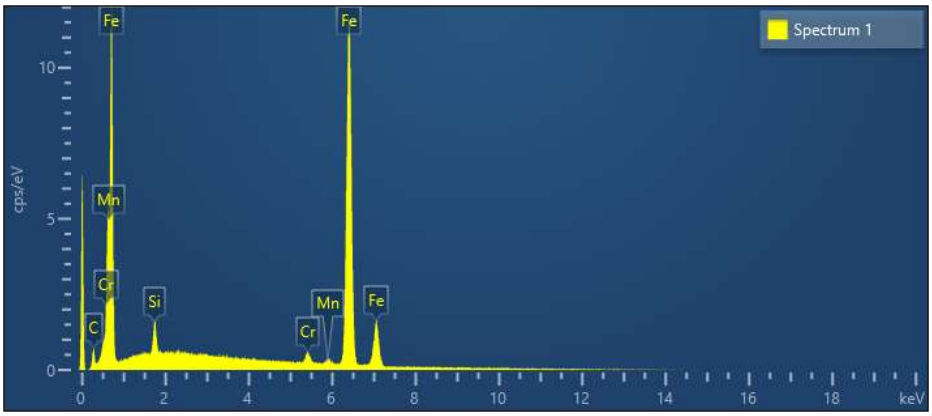
Khi bổ sung nguyên tố Ti, tổ chức tế vi của hợp kim (Hình 4.12) có cấu trúc dạng tấm (cấu trúc này có thể là mactenxit hoặc bainite). Bên cạnh đó, còn có một số cacbit nhỏ mịn phân tán trong nền.

Quan sát ảnh chụp hiển vi điện tử quét SEM

Ảnh SEM và EDS mẫu sau đúc

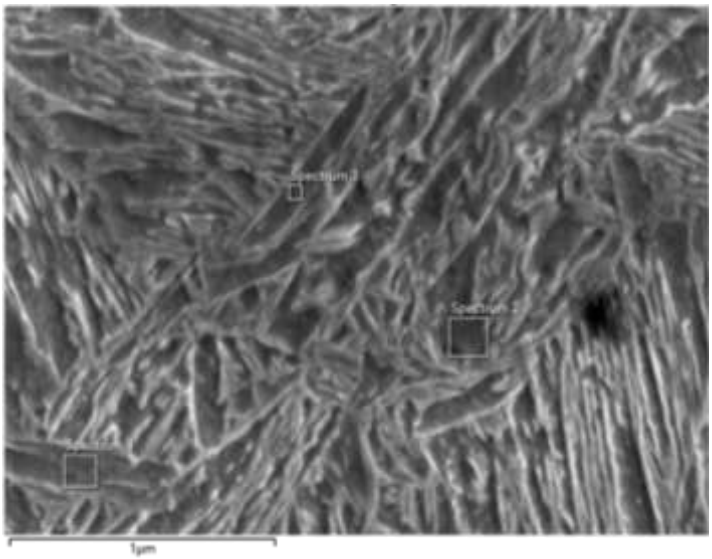



*Hình 5. 15: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti*

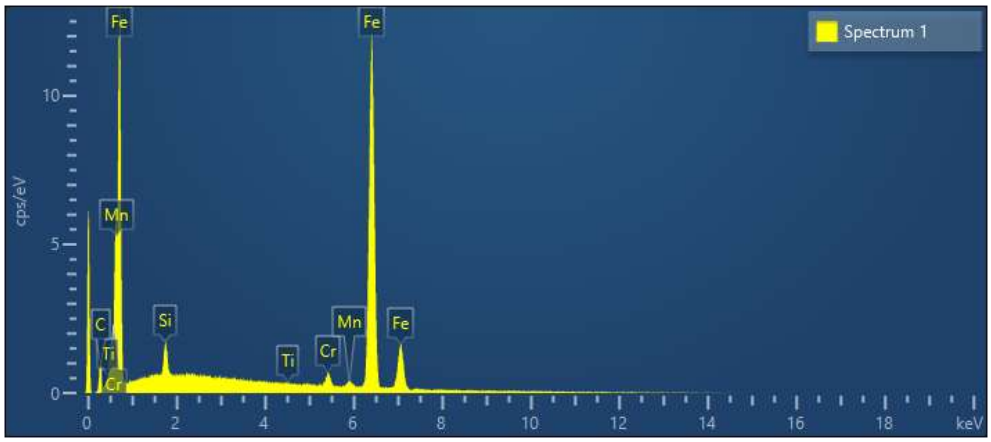



*Hình 5. 16: Ảnh chụp EDS mẫu đúc không Ti*

Quan sát ảnh SEM của mẫu đúc không chứa nguyên tố Ti cho thấy tổ chức tế vi của mẫu có dạng nhánh cây. Việc không chứa Ti trong hợp kim thì quan sát ảnh chụp cho ta thấy chưa xuất hiện các hạt.



*Hình 5. 17: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti*



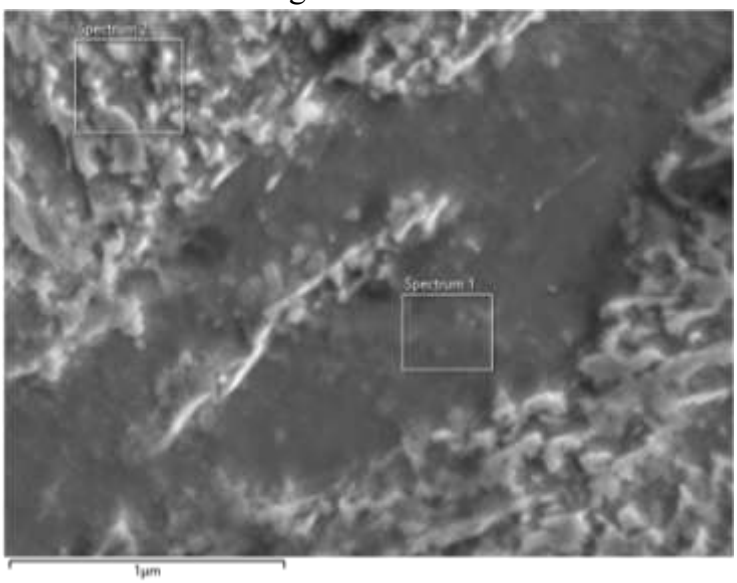

*Hình 5. 18: Ảnh chụp EDS mẫu đúc có Ti*

| **Spectrum 1** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Element** | **Line Type** | **Weight %** | **Weight % Sigma** | **Atomic %** |

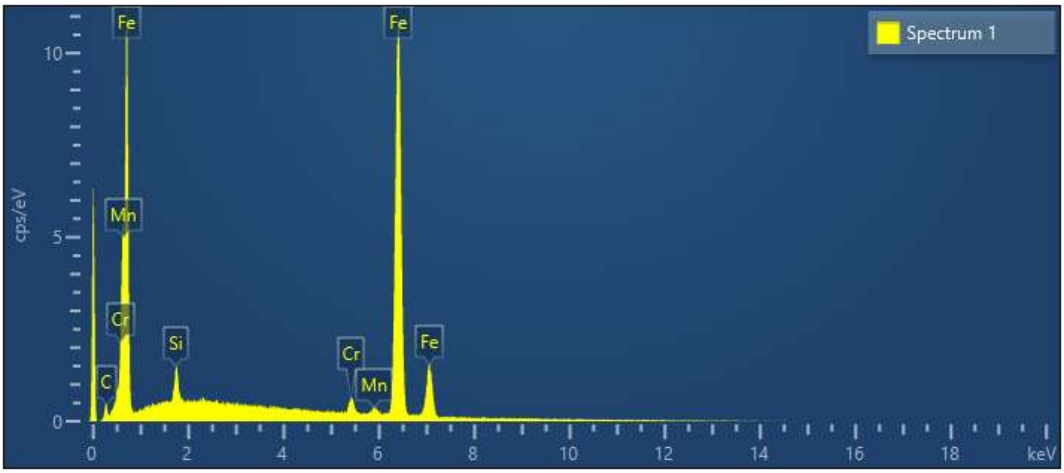
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| C | K series | 2.44 | 0.32 | 6.15 |
| N | K series | 21.22 | 0.38 | 45.84 |
| Ti | K series | 74.16 | 0.45 | 46.83 |
| Fe | K series | 2.18 | 0.18 | 1.18 |
| Total | | 100.00 | | 100.00 |

Phân tích kết quả SEM và ảnh chụp EDS cho thấy thành phần hóa học chủ yếu là Fe và một số nguyên tố vi lượng. Những điểm chấm đen xuất hiện trên bề mặt mẫu là các hạt cacbit chứa hàm lượng lớn Ti (chiếm khoảng 74,16%).

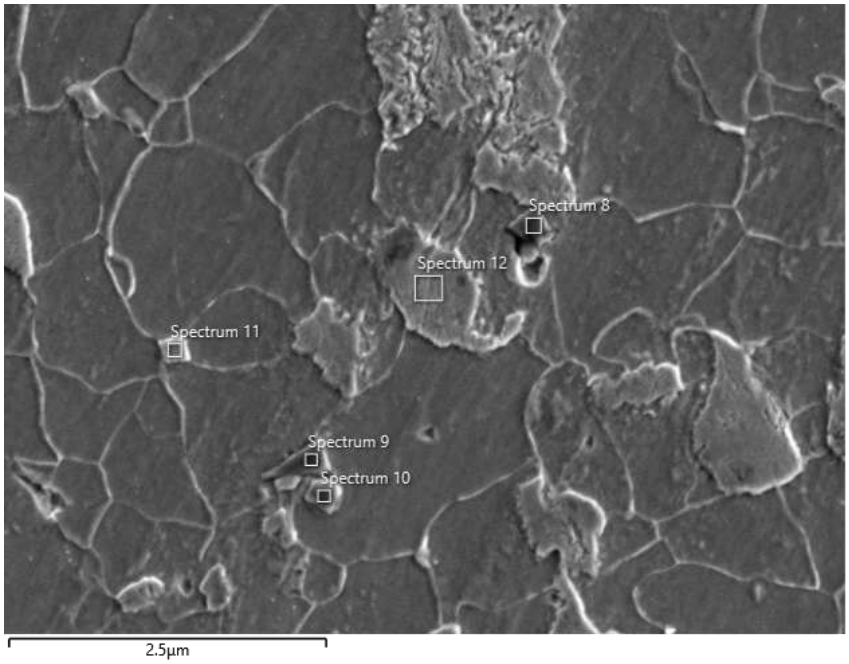
Ảnh SEM và EDS mẫu sau thường hóa



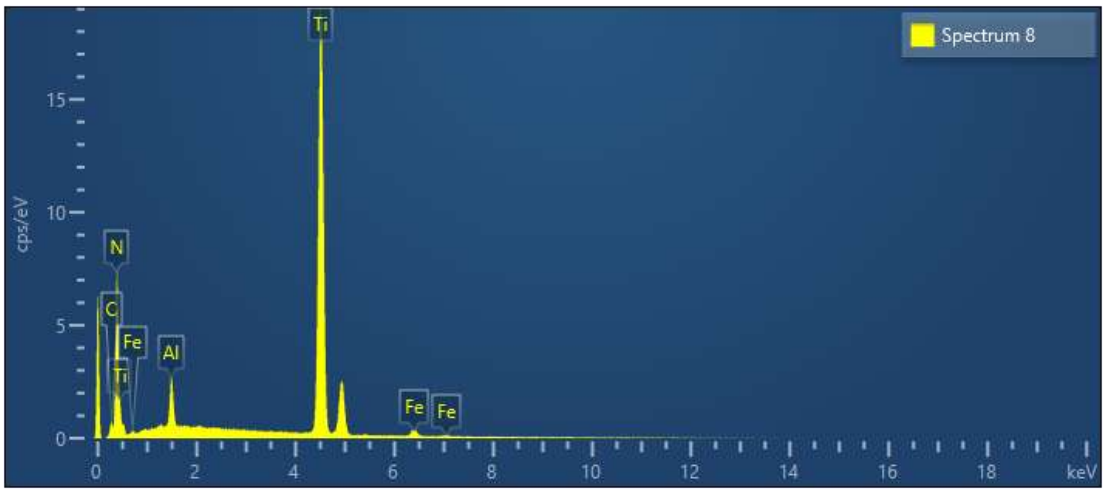

*Hình 5. 19: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti sau thường hóa*




*Hình 5. 20: Ảnh EDS mẫu đúc không Ti sau thường hóa*




*Hình 5. 21: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti sau thường hóa*

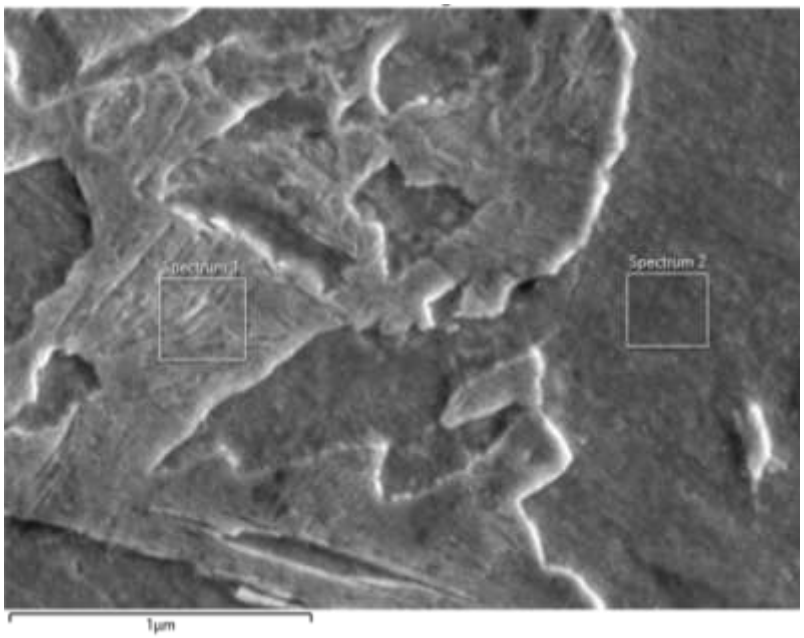



Hình 5. 22: Ảnh EDS mẫu đúc có Ti sau thường hóa

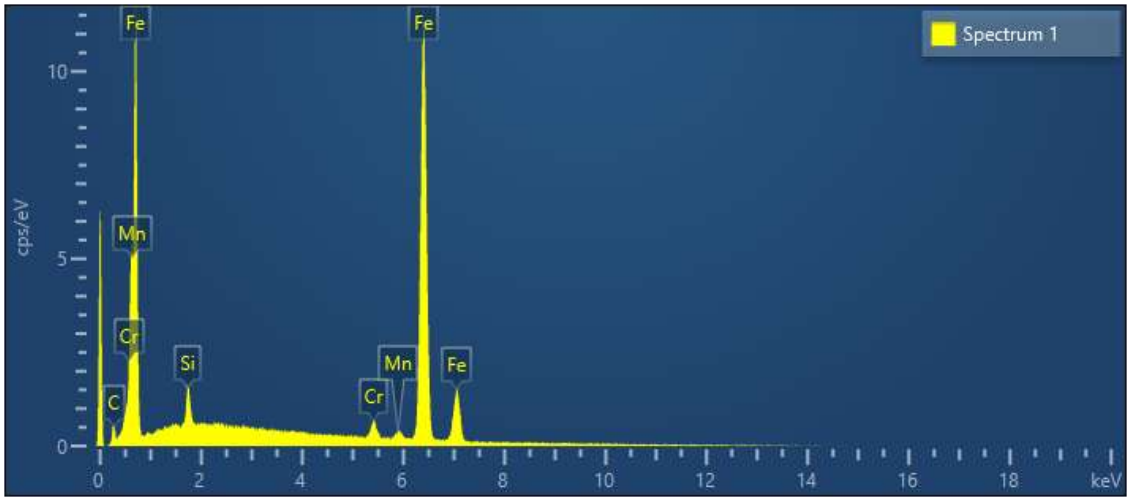
| **Spectrum 8** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Element** | **Line Type** | **Weight %** | **Weight % Sigma** | **Atomic %** |
| C | K series | 2.71 | 0.28 | 6.68 |
| N | K series | 21.56 | 0.32 | 45.52 |
| Al | K series | 2.64 | 0.07 | 2.90 |
| Ti | K series | 70.61 | 0.38 | 43.59 |
| Fe | K series | 2.48 | 0.15 | 1.31 |
| Total | | 100.00 | | 100.00 |

Phân tích kết quả SEM và EDS cho thấy thành phần hóa học các hạt cacbit Ti tại (Spectrum 8) thì Ti chiếm hàm lượng lớn khoảng 70,61%. Ngoài ra còn có một số nguyên tố vi lượng như Al khoảng 2,64%, N khoảng 21,56%,…

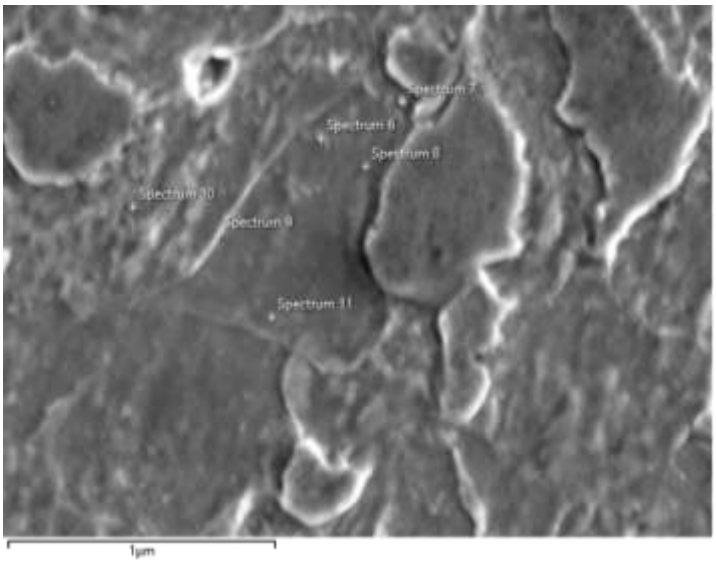
Ảnh SEM và EDS mẫu sau tôi



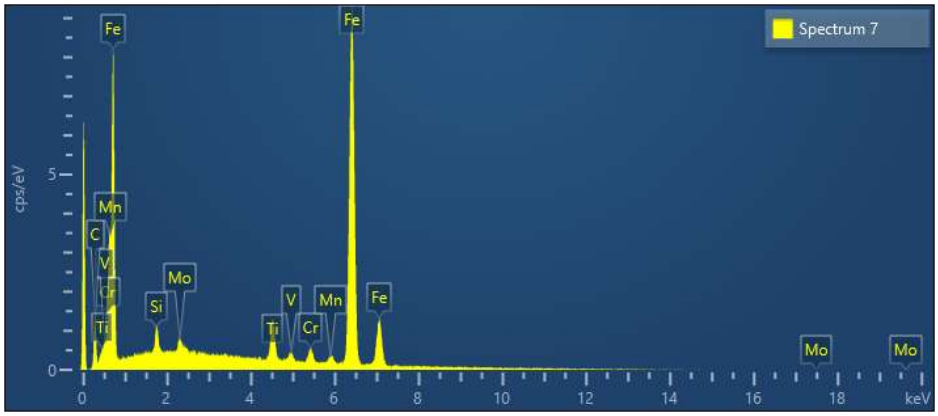

*Hình 5. 23: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti sau tôi*




*Hình 5. 24: Ảnh EDS mẫu đúc không Ti sau tôi*



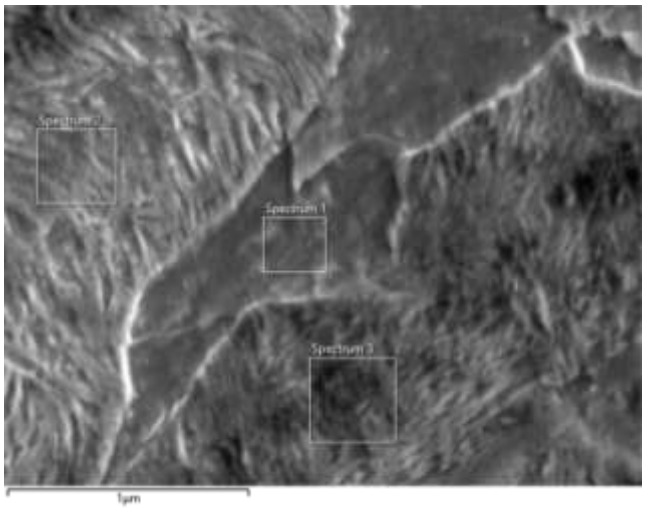
*Hình 5. 25: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti sau tôi*



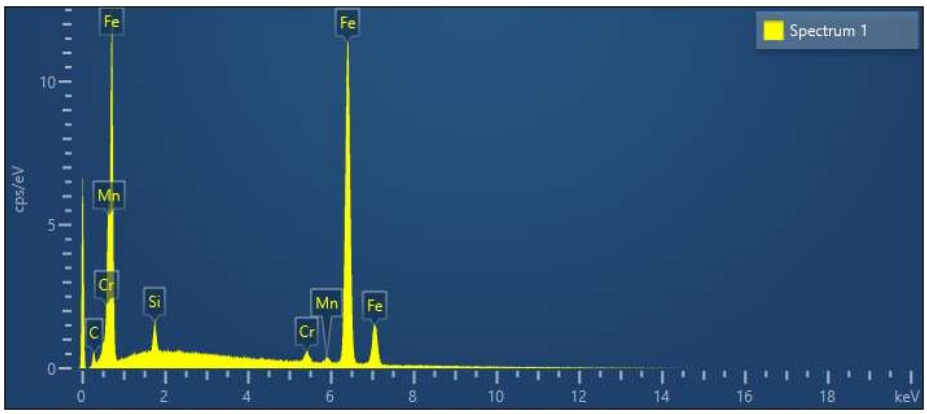

*Hình 5. 26: Ảnh EDS mẫu đúc có Ti sau tôi*

Tại Spectrum 7, hàm lượng Ti chiếm khoảng 3,56%.

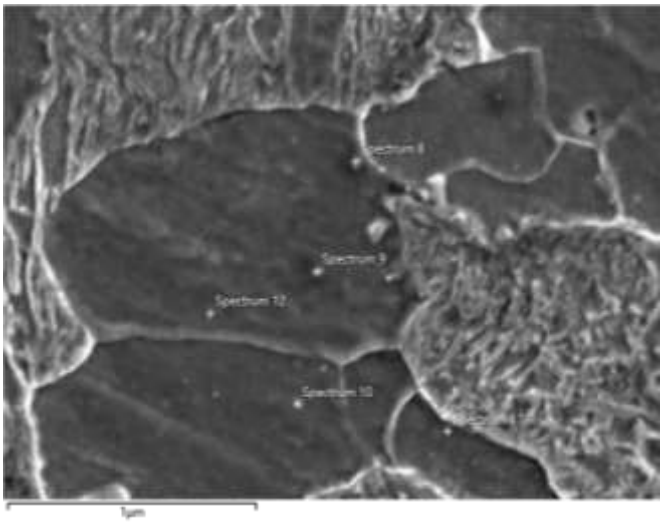
Ảnh SEM và EDS mẫu sau ram



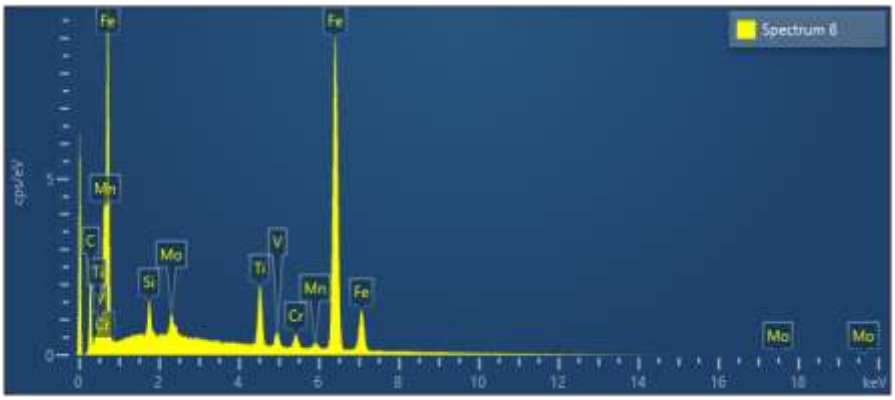

*Hình 5. 27: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti sau ram*




*Hình 5. 28: Ảnh EDS mẫu đúc không Ti sau ram*



*Hình 5. 29: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti sau ram*




*Hình 5. 30: Ảnh EDS mẫu đúc có Ti sau ram*

Phân tích SEM và EDS tại Spectrum 8 cho thấy Ti chiếm hàm lượng 5,59%.

Độ cứng của mẫu sau khi xử lý nhiệt

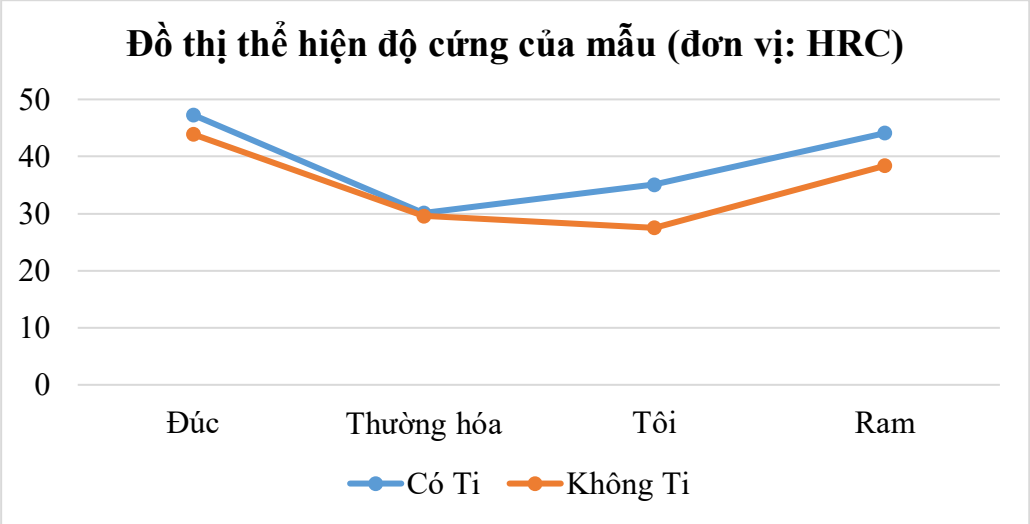
Có thể thấy độ cứng của mẫu được tăng lên khi thêm nguyên tố Ti vào thành phần của mác thép.

So sánh độ cứng của mẫu sau đúc cho thấy, khi bổ sung nguyên tố Ti vào hợp kim thì độ cứng đạt được là 47,3 HRC trong khi mẫu sau đúc không có nguyên tố Ti thì độ cứng chỉ đạt 43,9 HRC.

*Bảng 5. 4: Độ cứng của mẫu ở các chế độ (Đơn vị: HRC)*

| **Lần** | **Mẫu đúc** | | **Thường hóa** (900°C – 4h) | | **Tôi** (900°C – 2h) | | **Ram** (250°C – 2h) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti |
| **1** | 42 | 46,3 | 28,6 | 30,5 | 26,6 | 32,5 | 37,1 | 46,1 |
| **2** | 43,7 | 48,8 | 26,8 | 30,7 | 31,5 | 35,8 | 38,8 | 42,5 |
| **3** | 43,2 | 46,9 | 33,5 | 34,9 | 24,4 | 37,0 | 39,5 | 43,9 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Trung bình** | **43,9** | **47,3** | **29,6** | **30,1** | **27,5** | **35,1** | **38,4** | **44,1** |




*Hình 5. 31: Đồ thị thể hiện độ cứng của mẫu*

Sau quá trình xử lý nhiệt, độ cứng của mẫu cũng đã giảm một lượng nhỏ. Cụ thể, sau quá trình xử lý nhiệt ở bước cuối cùng (ram ở nhiệt độ 250$^{o}$C trong 2h) ta thấy:

Mẫu có Titan: Độ cứng giảm từ 47,3 HRC xuống còn 44,1 HRC tức là đã giảm 3,2 HRC.

Mẫu không có Ti: Độ cứng giảm từ 43,9 HRC xuống còn 38,4 HRC tức là đã giảm 5,5 HRC.

Sau quá trình ram, độ cứng đã được giảm bớt so với ban đầu, việc ram mẫu ở nhiệt độ 250$^{o}$C trong vòng 2h sau đó để nguội ngoài không khí sẽ làm tăng độ dẻo, độ dai, giảm hay khử bỏ ứng suất bên trong để cho cơ tính của thép phù hợp với điều kiện làm việc của chi tiết hay dụng cụ.

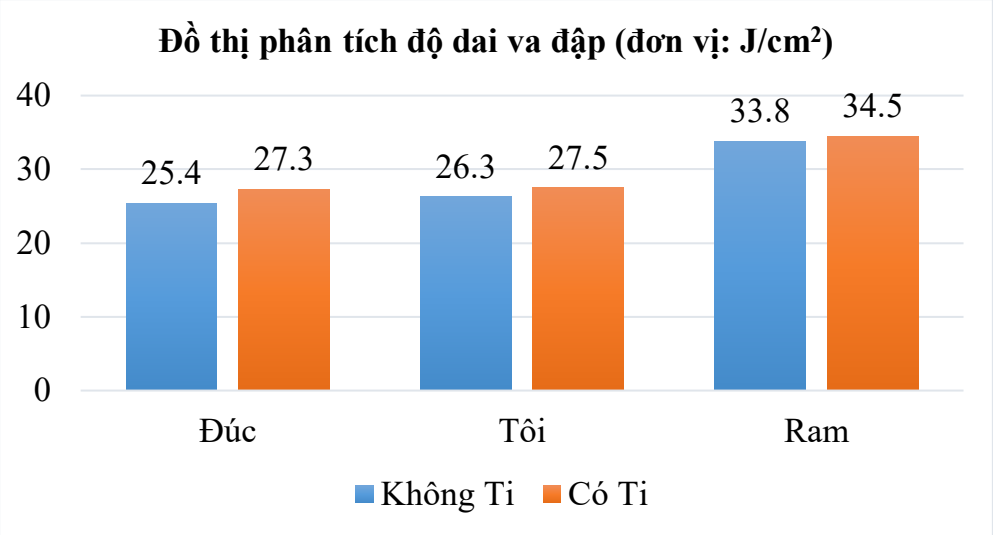
Độ dai va đập của mẫu

So sánh giá trị độ dai va đập của mẫu sau đúc và sau quá trình xử lý nhiệt (Hình 5.32) cho thấy: giá trị độ dai va đập đạt giá trị lớn nhất là 34,5 J/cm$^2$ khi mẫu được bổ sung thêm nguyên tố Ti và trải qua quá trình thường hóa 900$^{o}$C giữ nhiệt trong 04 giờ sau đó tôi với nhiệt độ 900$^{o}$C trong vòng 02 giờ và làm nguội nhanh bằng nước; sau đó mẫu được ram ở nhiệt độ 250$^{o}$C trong 02 giờ để đảm bảo các chuyển biến xảy ra hoàn toàn. Quá trình xử lý nhiệt được thực hiện trong lò nung có hỗ trợ hút chân không để đảm bảo mẫu khi nhiệt luyện không bị oxy hóa. Với chế độ trên thu được giá trị độ dai va đập lớn nhất trong các chế độ xử lý. Với tổ chức đặc trưng là bainite xen kẽ đó là austenite dư thì nó vẫn đảm bảo được giá trị độ dai va đập của mẫu thép nghiên cứu.

*Bảng 5. 5: Kết quả kiểm tra độ dai va đập của mẫu*

| **Loại mẫu** | **Đúc** | **Thường hóa** | **Tôi** | **Ram** |
|---|---|---|---|---|

| | (J/cm$^2$) | (J/cm$^2$) | (J/cm$^2$) | (J/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| Không Ti | 25,4 | - | 26,3 | 33,8 |
| Có Ti | 27,3 | - | 27,5 | 34,5 |



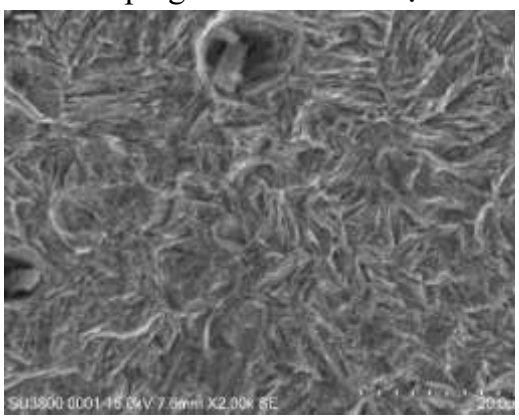

*Hình 5. 32: Đồ thị phân tích độ dai va đập*

### 5.1.3. Đánh giá chất lượng thép Mn thấp

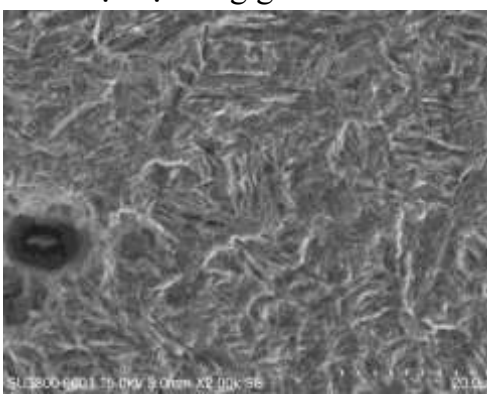
Phân tích tổ chức thép sau xử lý nhiệt

Tổ chức tế vi mẫu sau tôi

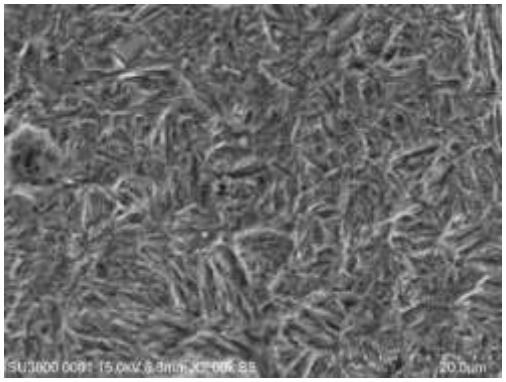
Theo kết quả nghiên cứu về khoảng nhiệt độ tôi được trình bày ở mục 3.3 khoảng nhiệt độ tôi phù hợp của thép Mn thấp là nằm trong khoảng từ 740 - 890 $^oC$. Tuy nhiên, để đảm bảo tính dẻo và tính bền cho thép sau quá trình xử lý nhiệt thì cần giữ lại một lượng ferit phù hợp để đảm bảo cơ tính tổng hợp cho thép. Bằng các kết quả quy hoạch thực nghiệm được trình bày ở mục 3.3, tiến hành khảo sát sự biến đổi tổ chức của thép nghiên cứu khi được tiến hành tôi ở nhiệt độ trung gian là 815 $^oC$.



(a) M0



(b) M1



(c) M2

*Hình 5. 33: Tổ chức tế vi mẫu sau tôi ở 815$^{o}$C*

Ảnh hiển vi điện tử quét (Hình 5.33a) của mẫu thép sau khi tôi với mẫu M0 cho thấy tổ chức vi mô chủ yếu gồm các cấu trúc dạng tấm phân bố định hướng rõ rệt, đặc trưng cho pha mactenxit dạng tấm. Các lath này có hình thái mảnh, dài, phân bố xen kẽ và không đồng đều, cho thấy quá trình tôi đã hình thành mactenxit nhưng chưa hoàn toàn. Một số vùng có dấu hiệu chồng lấn, gãy khúc hoặc xuất hiện các vi khuyết tật nhỏ, chứng tỏ vật liệu vẫn còn chịu ảnh hưởng của ứng suất dư do quá trình biến dạng dẻo trước đó. Bên cạnh đó, một số hốc co rút nhỏ có thể quan sát được, có thể xuất phát từ quá trình tôi không đồng đều hoặc do các khuyết tật hình thành trong quá trình biến dạng. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với phân tích phổ XRD trước đó, trong đó tỷ lệ Austenit vẫn còn chiếm khoảng 70–75%, cho thấy quá trình chuyển biến pha sang mactenxit chưa hoàn toàn xảy ra. Do đó, tổ chức sau tôi của mẫu M0 là tổ chức hỗn hợp gồm mactenxit dạng tấm phân bố trong nền Austenit dư, phản ánh trạng thái trung gian trong quá trình chuyển pha của thép dưới tác động của biến dạng dẻo và xử lý nhiệt.

Đối với mẫu M1 (Hình 5.33b)

Hình ảnh SEM rõ ràng cho thấy một cấu trúc chủ yếu là mactenxit dạng tấm. Đặc điểm nổi bật là sự hiện diện của các phiến dẹt, dài xếp chồng lên nhau trong các gói. Các gói này lại được tập hợp thành các khối lớn hơn, phản ánh quá trình biến đổi cắt trượt từ hạt austenit ban đầu. Kích thước nhỏ và sự sắp xếp đan xen của các phiến mactenxit tạo ra một mạng lưới phức tạp, là yếu tố then chốt mang lại độ cứng và độ bền cao cho vật liệu. Sự gồ ghề của bề mặt mẫu cũng là đặc trưng của cấu trúc mactenxit sau khi được ăn mòn, do sự chênh lệch độ bền ăn mòn giữa các phiến và các ranh giới.

Theo lý thuyết về chuyển biến pha trong thép, khi thép được nung nóng đến nhiệt độ austenit hóa (trong trường hợp này là 815°C, nằm trong vùng Austenit cho thép cacbon thấp và trung bình), toàn bộ cấu trúc sẽ chuyển thành Austenit (γ). Sau đó, quá trình tôi là quá trình làm nguội nhanh từ nhiệt độ Austenit hóa xuống nhiệt độ nằm giữa khoảng nhiệt độ Ms và Mf. Với thép Mn thấp, việc bổ sung mangan làm giảm nhiệt độ Ms và Mf, đồng thời cải thiện khả năng tôi cứng bằng cách làm dịch

chuyển đường cong nguội CCT sang phải, cho phép tạo ra mactenxit ở tốc độ nguội chậm hơn một chút so với thép cacbon không hợp kim.

Việc quan sát thấy chủ yếu là tấm mactenxit là phù hợp với thép cacbon thấp và trung bình, vì loại mactenxit này thường hình thành trong các loại thép có hàm lượng cacbon dưới 0.6% khối lượng. Trái lại, thép có hàm lượng cacbon cao hơn thường hình thành plate mactenxit, có hình dạng khác biệt và thường kém dẻo dai hơn.

Cấu trúc mactenxit tấm quan sát được chứng tỏ quá trình tôi, tạo ra một tổ chức tế vi không cân bằng với độ cứng cao. Sự hiện diện của mactenxit tấm cho thấy thép này có tiềm năng về độ bền kéo và độ cứng lớn. Tuy nhiên, mactenxit tự nó là một pha rất cứng và giòn. Để tối ưu hóa các tính chất cơ học (đặc biệt là độ dẻo dai), thép đã tôi thường cần phải trải qua quá trình ram (tempering) sau đó để giảm ứng suất bên trong, chuyển hóa một phần mactenxit thành mactenxit ram và tạo ra các cacbit phân tán mịn, cải thiện độ dẻo dai mà vẫn giữ được độ bền cao.

Phân tích tổ chức tế vi thép Mn thấp mẫu M2 (Hình 5.33c)

Hình ảnh SEM cho thấy một cấu trúc vi mô rất mịn, đồng nhất và dày đặc. Bề mặt có vẻ gồ ghề đặc trưng của quá trình ăn mòn để làm lộ cấu trúc tinh thể. Các mactenxit dạng tấm có kích thước rất nhỏ, sắp xếp song song nhau thành từng gói và các khối. So với hình ảnh mẫu M1, các tấm mactenxit trong mẫu M2 có vẻ nhỏ hơn và sự phân bố của chúng đồng đều hơn, tạo cảm giác về một cấu trúc mịn hơn. Cấu trúc trông rất đồng nhất trên toàn bộ vùng quan sát, không có dấu hiệu rõ ràng của các pha khác như ferit hay pearlite, cho thấy quá trình tôi đã thành công trong việc tạo ra mactenxit toàn phần.

*Bảng 5. 6: So sánh mẫu M1 và M2 ở cùng nhiệt độ tôi 815 oC*

| Đặc điểm | Mẫu M1 | Mẫu M2 | Đánh giá so sánh |
|---|---|---|---|
| Độ mịn của Mactenxit | Các phiến mactenxit nhìn thấy rõ ràng, kích thước tương đối nhỏ. | Các phiến mactenxit có vẻ nhỏ hơn và dày đặc hơn. | Mẫu M2 dường như đã cấu trúc mactenxit có kích thước nhỏ mịn tốt hơn, cho thấy kích thước hạt austenit ban đầu có thể đã được hình thành hạt nhỏ ở mức độ cao hơn. |
| Độ đồng nhất | Tương đối đồng nhất, nhưng có vùng khuyết tật/lỗ rỗng. | Rất đồng nhất, không có khuyết tật lớn rõ ràng trong trường nhìn. | Mẫu M2 tạo ra cấu trúc đồng đều hơn. |
| Sự hiện diện của Khuyết tật | Có một lỗ rỗng/khuyết tật đáng chú ý ở góc dưới bên trái. | Không có khuyết tật lớn nào được quan sát. | Đây có thể là sự khác biệt ngẫu nhiên giữa các vùng mẫu hoặc liên quan đến quá trình chuẩn bị mẫu, nhưng cũng có thể cho |

| Đặc điểm | Mẫu M1 | Mẫu M2 | Đánh giá so sánh |
|---|---|---|---|
| | | | thấy ảnh hưởng của mức độ biến dạng. |
| Độ gồ ghề bề mặt | Bề mặt có độ gồ ghề rõ rệt. | Bề mặt cũng gồ ghề, nhưng có thể mịn hơn một chút do kích thước phiến nhỏ hơn. | Cả hai đều là đặc trưng của mactenxit đã được ăn mòn. |

Hình thành hạt austenit với độ hạt nhỏ: Mẫu M2 trước khi austenit hóa sẽ tạo ra một mật độ khuyết tật rất cao trong vật liệu. Khi nung nóng đến 815°C (nhiệt độ austenit hóa), quá trình tái kết tinh sẽ diễn ra rất mạnh mẽ và hoàn toàn. Mật độ hạt nhân hóa cao và sự hạn chế tăng trưởng hạt do các khuyết tật ban đầu sẽ dẫn đến sự hình thành các hạt austenit ban đầu cực kỳ mịn. Kích thước hạt austenit ban đầu là yếu tố chi phối trực tiếp kích thước các gói và các tấm mactenxit. Hạt austenit càng mịn, các gói và phiến mactenxit hình thành càng nhỏ. Điều này giải thích tại sao mẫu biến dạng 80% có cấu trúc mactenxit mịn hơn rõ rệt so với mẫu 50%. Cấu trúc mactenxit mịn này là lý tưởng để cải thiện cả độ bền và độ dẻo dai của thép, vì nó giảm kích thước các mặt nứt tiềm năng và tăng cường khả năng chống chịu của vật liệu (theo định luật Hall-Petch mở rộng cho cấu trúc mactenxit). Sau biến dạng mẫu được nung đến 815°C là nhiệt độ thích hợp để austenit hóa hoàn toàn thép Mn thấp, đảm bảo cacbon hòa tan đầy đủ vào nền Austenit, chuẩn bị cho quá trình tạo mactenxit. Sau đó mẫu được nguội nhanh trong nước vượt qua tốc độ tới hạn để tránh hình thành ferit và pearlite. Với hàm lượng Mn 1.36% (như đã giả định từ phân tích mẫu M1, nếu đây là cùng loại thép), khả năng tôi cứng của thép được tăng cường đáng kể. Sự kết hợp giữa khả năng tôi cứng tốt của thép hợp kim và tốc độ nguội nhanh trong nước đảm bảo gần như toàn bộ Austenit chuyển biến thành Mactenxit. Điều này phù hợp với quan sát không thấy các pha chuyển biến khuếch tán khác trong hình ảnh SEM.

Với chế độ trên thu được giá trị độ dai va đập lớn nhất trong các chế độ xử lý. Với tổ chức đặc trưng là bainite xen kẽ đó là austenite dư thì nó vẫn đảm bảo được giá trị độ dai va đập của mẫu thép nghiên cứu.

Nhiệt độ tôi: 880, 900, 920 $^{o}$C

Thời gian giữ nhiệt khi tôi 2 giờ

Nhiệt độ ram: 200, 230, 260 $^{o}$C

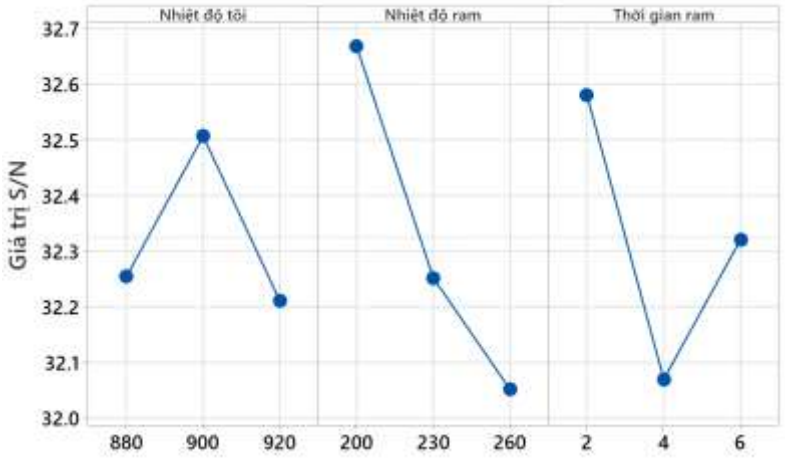
Thời gian giữ nhiệt khi ram: 2, 4, 6 giờ

| STT | Nhiệt độ tôi, $^{o}$C | Nhiệt độ ram, $^{o}$C | Thời gian ram, giờ | Độ cứng | S/N $_{\text{độ cứng}}$ | Độ dai va đập | S/N $_{\text{Độ dai va đập}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 880 | 200 | 2 | 42.0 | 32.4650 | 28.12 | 28.9803 |
| 2 | 880 | 230 | 4 | 40.3 | 32.1061 | 37.50 | 31.4806 |
| 3 | 880 | 260 | 6 | 40.7 | 32.1919 | 43.75 | 32.8196 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 900 | 200 | 4 | 43.7 | 32.8096 | 42.25 | 32.5165 |
| 5 | 900 | 230 | 6 | 40.0 | 32.0412 | 43.75 | 32.8196 |
| 6 | 900 | 260 | 2 | 43.0 | 32.6694 | 71.87 | 37.1310 |
| 7 | 920 | 200 | 6 | 43.3 | 32.7298 | 32.88 | 30.3386 |
| 8 | 920 | 230 | 2 | 42.7 | 32.6086 | 34.38 | 30.7261 |
| 9 | 920 | 260 | 4 | 36.7 | 31.2933 | 56.25 | 35.0025 |

*Bảng 5. 7: Bảng giá trị đáp ứng của trị số S/N cho độ cứng*

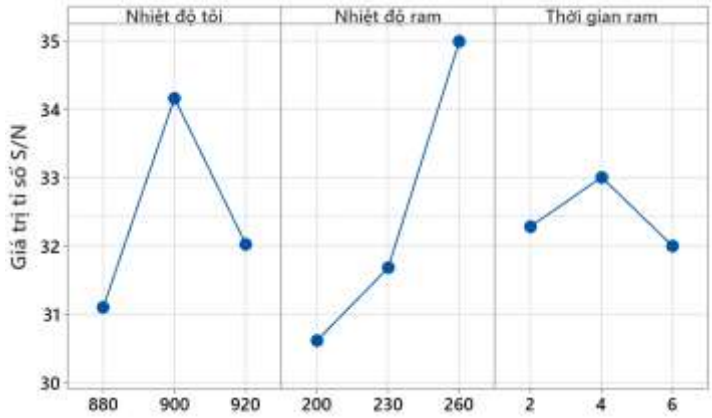
| **Mức** | **Nhiệt độ tôi** | **Nhiệt độ ram** | **Thời gian ram** |
|---|---|---|---|
| 1 | 32.25 | 32.67 | 32.58 |
| 2 | 32.51 | 32.25 | 32.07 |
| 3 | 32.21 | 32.05 | 32.32 |
| Delta | 0.30 | 0.62 | 0.51 |
| Xếp hạng | 3 | 1 | 2 |




*Hình 5. 34: Biểu đồ hiệu ứng của tỷ số S/N cho độ cứng*

*Bảng 5. 8: Bảng giá trị đáp ứng của trị số S/N cho độ dai va đập*

| Mức | Nhiệt độ tôi | Nhiệt độ ram | Thời gian ram |
|---|---|---|---|
| 1 | 31.09 | 30.61 | 32.28 |
| 2 | 34.16 | 31.68 | 33.00 |
| 3 | 32.02 | 34.98 | 31.99 |
| Delta | 3.06 | 4.37 | 1.01 |
| Xếp hạng | 2 | 1 | 3 |




*Hình 5. 35: Biểu đồ hiệu ứng của tỷ số S/N cho độ dai va đập*

**Độ cứng = -3526 + 6.87 A + 4.242 B - 1.023 C - 0.003208 $A^2$ - 0.004767 AB**

Trong đó A - Nhiệt độ tôi, B - Nhiệt độ ram và C - Thời gian ram

***Kiểm định pt hồi quy***

$R^2$ = 97.73, $R^2_{adj}$ = 93.96

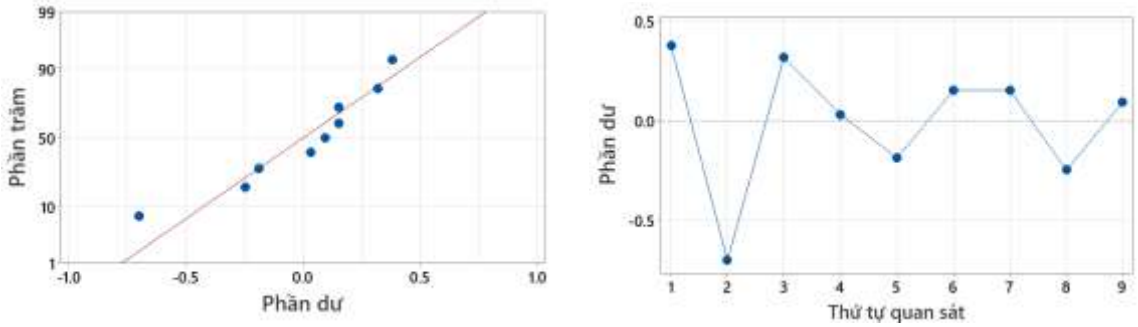
*Bảng 5. 9: Phân tích ANOVA phương trình hồi quy độ cứng*

| Nguồn | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Phương trình hồi quy | 5 | 38.3662 | 7.6732 | 25.88 | 0.011 |
| Nhiệt độ tôi | 1 | 4.6328 | 4.6328 | 15.63 | 0.029 |
| Nhiệt độ ram | 1 | 19.9919 | 19.9919 | 67.44 | 0.004 |
| Thời gian ram | 1 | 15.7082 | 15.7082 | 52.99 | 0.005 |
| Nhiệt độ tôi*Nhiệt độ tôi | 1 | 3.2939 | 3.2939 | 11.11 | 0.045 |
| Nhiệt độ tôi*Nhiệt độ ram | 1 | 20.4490 | 20.4490 | 68.98 | 0.004 |
| Lỗi | 3 | 0.8893 | 0.2964 | | |
| Tổng | 8 | 39.2556 | | | |

Giá trị F càng cao chứng tỏ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào đến biến đầu ra (độ cứng) càng rõ rệt. Dựa trên tiêu chí này, thứ tự mức độ tác động của các thông số công nghệ được xác định là: nhiệt độ ram > thời gian ram > nhiệt độ tôi, phù hợp với kết quả phân tích tỷ số S/N đã trình bày trước đó.

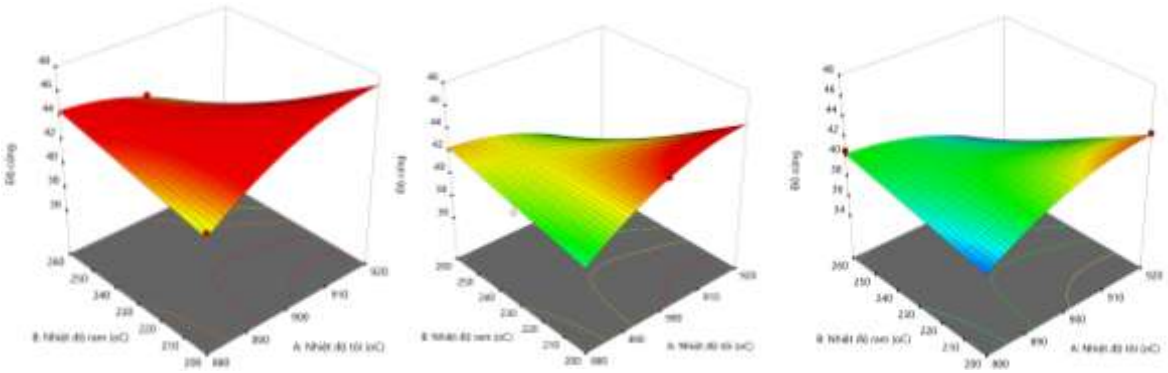
Đáng chú ý, với p-value = 0,004 và giá trị F rất lớn của yếu tố tương tác giữa nhiệt độ tôi và nhiệt độ ram, có thể khẳng định đây là một tương tác mạnh. Điều này cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ tôi đến độ cứng không cố định mà phụ thuộc đáng kể vào mức nhiệt độ ram áp dụng.

Ngoài ra, p-value của mô hình hồi quy bằng 0,011 (< 0,05) chứng tỏ mô hình có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95%. Kết quả này xác nhận rằng các thông số nhiệt luyện được lựa chọn thực sự có ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng của thép Mn.




*Hình 5. 36:Biểu đồ xác suất chuẩn và biểu đồ phần dư theo thứ tự quan sát*

Các điểm dữ liệu phân bố bám sát đường thẳng tham chiếu cho thấy sai số tuân theo phân phối chuẩn, từ đó củng cố độ tin cậy của các kết luận liên quan đến giá trị p-value đã nêu. Bên cạnh đó, biểu đồ phần dư theo thứ tự quan sát thể hiện các giá trị sai số phân tán ngẫu nhiên xung quanh đường 0, không xuất hiện xu hướng hay tính chu kỳ rõ rệt, chứng tỏ giả thiết về tính độc lập của các quan sát được thỏa mãn. Điều này cho thấy kết quả đo độ cứng không chịu ảnh hưởng của trình tự tiến hành thí nghiệm cũng như không bị chi phối bởi nhiễu thiết bị theo thời gian.



*Hình 5. 37: Biểu đồ ảnh hưởng Nhiệt độ tôi, ram lên độ cứng thép Mn trong a) 2 giờ, b) 4 giờ và c) 6 giờ*

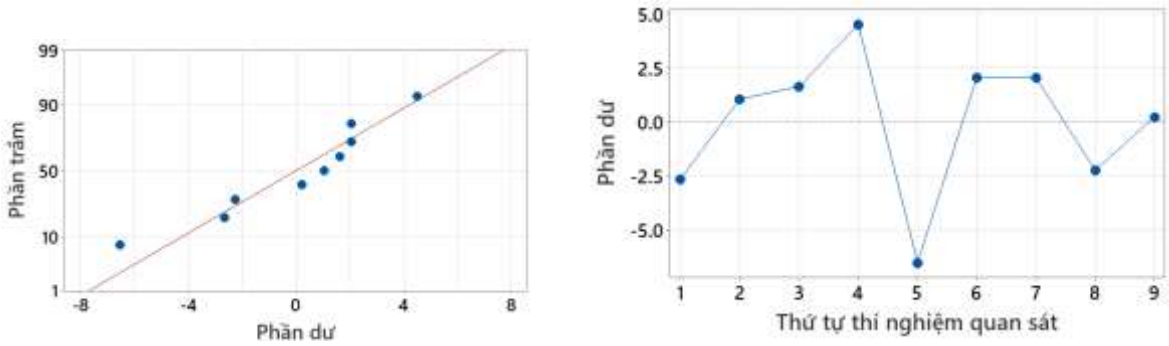
**Độ dai va đập = -27510 + 61.6 A + 0.4958 B - 155.8 C - 0.03452 $A^2$ + 0.1718 AC**

***Kiểm định pt hồi quy***

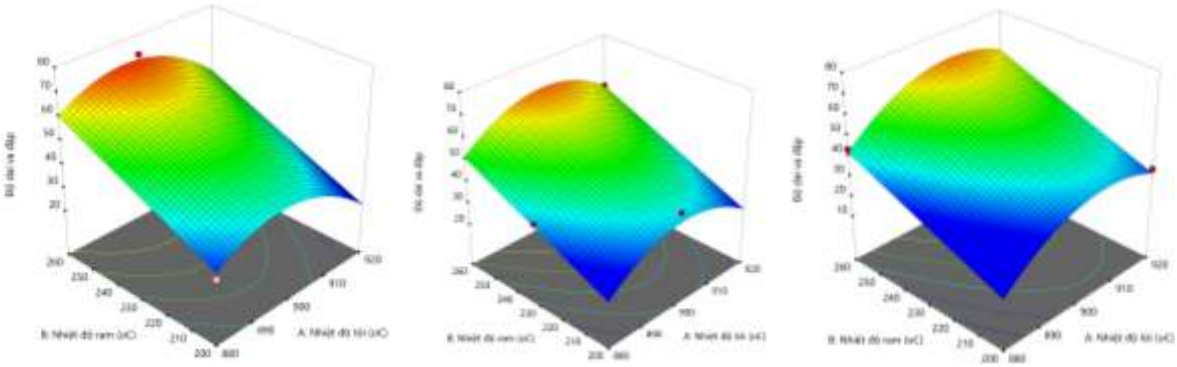
$R^2 = 93.93$, $R^2_{adj} = 83.80$

*Bảng 5. 10:Phân tích ANOVA phương trình hồi quy độ dai va đập*

| Nguồn | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Phương trình hồi quy | 5 | 1350.22 | 270.04 | 9.28 | 0.048 |
| Nhiệt độ tôi | 1 | 374.31 | 374.31 | 12.86 | 0.037 |
| Nhiệt độ ram | 1 | 829.49 | 829.49 | 28.50 | 0.013 |
| Thời gian ram | 1 | 119.82 | 119.82 | 4.12 | 0.135 |
| Nhiệt độ tôi*Nhiệt độ tôi | 1 | 381.43 | 381.43 | 13.10 | 0.036 |
| Nhiệt độ tôi*Thời gian ram | 1 | 118.06 | 118.06 | 4.06 | 0.137 |
| Lỗi | 3 | 87.33 | 29.11 | | |
| Tổng | 8 | 1437.55 | | | |




*Hình 5. 38: Biểu đồ xác suất chuẩn và biểu đồ phần dư theo thứ tự thí nghiệm độ dai va đập*



*Hình 5. 39: Biểu đồ ảnh hưởng Nhiệt độ tôi, ram lên độ dai va đập thép Mn trong a) 2 giờ, b) 4 giờ và c) 6 giờ*

Lựa chọn thông số tối ưu: Nhằm đồng thời đạt giá trị lớn nhất cho độ cứng và độ dai va đập, mô-đun tối ưu hóa trong phần mềm *Design-Expert 11* đã được sử dụng để xác định chế độ nhiệt luyện phù hợp. Kết quả cho thấy bộ thông số tối ưu bao gồm: nhiệt độ tôi 893°C, nhiệt độ ram 260°C và thời gian ram 2 giờ. Với chế độ này, độ cứng đạt 43,7 HRC và độ dai va đập đạt 69,7.

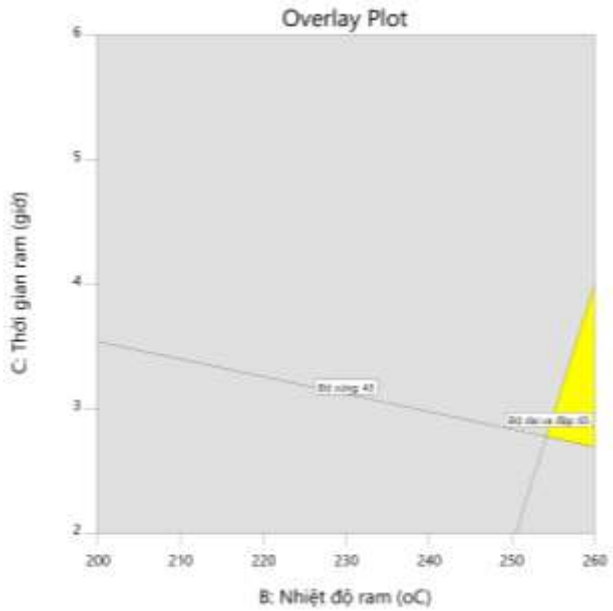
Để tăng tính linh hoạt khi áp dụng cho các chi tiết khác nhau, nhiệt độ tôi được cố định ở mức 893°C, trong khi nhiệt độ ram và thời gian ram có thể điều chỉnh nhằm đảm bảo độ cứng lớn hơn 38 HRC và độ dai va đập vượt 65. Vùng màu vàng trên đồ thị (Hình 7) biểu diễn miền thông số thỏa mãn các yêu cầu này, được xác định theo mối quan hệ:

$$-\mathbf{0,014}\boldsymbol{B}+\mathbf{6,33}<\boldsymbol{C}<\mathbf{1,0307}\boldsymbol{B}+\mathbf{1,986}$$

trong đó:

$\boldsymbol{B}$: nhiệt độ ram,

$\boldsymbol{C}$: thời gian ram.




*Hình 5. 40: Vùng thông số nhiệt độ ram và thời gian ram tại nhiệt độ tôi 893 $^{o}$C cho độ cứng lớn hơn 38 và độ dai va đập lớn hơn 65*

### 5.1.4. Hoàn thiện quy trình công nghệ chế tạo thép Mn thấp

1. Mục đích và phạm vi áp dụng

Quy trình quy định trình tự, thông số kiểm soát và tiêu chí chuyển công đoạn khi chế tạo thép hợp kim mangan thấp M2 bằng lò cảm ứng trung tần, đúc khuôn cát và xử lý nhiệt. Mục tiêu là tạo sản phẩm có tổ chức tương đối mịn, độ cứng chống mài mòn cao nhưng vẫn duy trì độ dai va đập phù hợp.

2. Sơ đồ công nghệ tổng quát

NGUYÊN LIỆU → KIỂM TRA → TÍNH PHỐI LIỆU → NẤU CHẢY → HỢP KIM HÓA → KHỬ OXY → BIẾN TÍNH Al–Ti → PHÂN TÍCH → RÓT ĐÚC → LÀM NGUỘI → PHÁ KHUÔN → LÀM SẠCH → KIỂM TRA → XỬ LÝ NHIỆT → NGHIỆM THU

3. Thành phần và chỉ tiêu công nghệ

| Nguyên tố | C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | Al | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M2 (% khối lượng) | 0,249 | 0,869 | 1,479 | 1,579 | 0,219 | 0,365 | 0,192 | 0,151 |

Lưu ý bắt buộc: Các giá trị trên là thành phần phân tích mục tiêu/tham chiếu của M2, không phải lượng nguyên liệu phải nạp. Phối liệu cho từng mẻ phải được tính lại từ chứng chỉ hoặc kết quả phân tích thép phế, gang và từng ferro-hợp kim, có xét hiệu suất thu hồi và cháy hao.

| Chỉ tiêu thành phẩm | Giá trị tham chiếu |
|---|---|
| Tổ chức sau nhiệt luyện | Bainite kết hợp austenite dư |
| Khoảng cách tấm ferrite | 0,36–0,56 μm |
| Cấp hạt hiệu quả | Khoảng cấp 4 ASTM |
| Độ cứng | Khoảng 50,3 HRC |
| Độ dai va đập | Khoảng 57,5 J/cm² |

4. Trách nhiệm, thiết bị và an toàn

Vai trò Trách nhiệm chính

Quản đốc/kỹ sư công nghệ Duyệt phối liệu, thông số mẻ, quyết định rót và xử lý sản phẩm không phù hợp.

Tổ nấu luyện Kiểm tra lò, nạp liệu, nấu chảy, hợp kim hóa, khử oxy, biến tính và ghi nhật ký mẻ.

Tổ đúc Chuẩn bị khuôn–lõi, hệ thống rót/đậu ngót, rót, phá khuôn và làm sạch.

Tổ nhiệt luyện Xác nhận thiết bị, thực hiện chu trình nhiệt và ghi biểu đồ nhiệt.

KCS/phòng thí nghiệm Lấy mẫu, phân tích hóa học, kiểm tra ngoại quan, NDT, tổ chức và cơ tính.

• Trang bị bảo hộ chịu nhiệt, tấm che mặt, găng và giày an toàn; khu vực rót phải khô, sạch và được phân luồng.

• Tuyệt đối không đưa vật liệu, dụng cụ, thùng rót hoặc ferro-hợp kim ẩm vào kim loại lỏng.

• Kiểm tra liên động điện, nước làm mát, cơ cấu nghiêng lò và phương án ứng cứu sự cố trước mỗi mẻ.

5. Quy trình nấu luyện thép Mn thấp M2

5.1. Chuẩn bị và tính phối liệu

Nguyên liệu nền: Sử dụng thép phế sạch và gang/vật liệu tăng cacbon khi cần. Loại bỏ dầu mỡ, đất cát, kim loại màu và vật liệu oxy hóa mạnh; toàn bộ liệu phải khô.

Hợp kim: Chuẩn bị FeMn, FeSi, FeCr, FeMo, Ni hoặc ferro-Ni, Al và FeTi/Ti. Phân tích hoặc kiểm tra chứng chỉ từng lô; sấy theo hướng dẫn nội bộ trước khi dùng.

Tính phối liệu: Lập cân bằng khối lượng từng nguyên tố theo công thức $mX = M(C_{đích} - C_{nền})/(\eta X \cdot CX)$, trong đó $\eta X$ là hiệu suất thu hồi. Bù Fe bằng thép phế/gang và kiểm tra tổng khối lượng mẻ.

Điểm kiểm soát Yêu cầu/biện pháp

Hồ sơ nguyên liệu Có mã lô, khối lượng, thành phần và tình trạng sấy.

Bảng phối liệu Được kỹ sư công nghệ duyệt; không nhân trực tiếp công thức của mác thép khác.

Dung sai cân Theo quy định thiết bị cân của cơ sở; ghi lượng cân thực tế.

Al và TiTính theo hàm lượng còn lại mục tiêu và hiệu suất thu hồi thực tế, không lấy trực tiếp 0,192% và 0,151% làm lượng nạp.

5.2. Trình tự nấu luyện

Bước 1 – Kiểm tra và sấy lò: Kiểm tra lớp chịu lửa, vòng cảm ứng, nước làm mát, cơ cấu nghiêng, thiết bị đo nhiệt và máy phân tích. Khi lò nguội, sấy khoảng 50% công suất trong 20–30 phút hoặc theo quy định vận hành lò.

Bước 2 – Nạp liệu nền: Nạp thép phế và gang theo thứ tự bảo đảm xếp chặt, không gây cầu liệu. Tăng công suất từng bước; bổ sung liệu từng phần khi đã hình thành bể kim loại lỏng.

Bước 3 – Nấu chảy: Duy trì bể lỏng đủ sâu, thường xuyên xử lý liệu treo bằng dụng cụ khô, đúng quy định an toàn. Không để liệu phía trên quá nhiệt hoặc rơi đột ngột vào bể lỏng.

Bước 4 – Làm sạch lần 1: Sau khi chảy hoàn toàn, vớt xỉ và làm sạch bề mặt kim loại lỏng trước khi bổ sung hợp kim.

Bước 5 – Hợp kim hóa: Bổ sung, hòa tan và hiệu chỉnh C, Mn, Si, Cr, Mo và Ni theo bảng phối liệu; ưu tiên hợp kim khó chảy/ít cháy hao trước, tuân thủ trình tự đã thẩm định tại cơ sở.

Bước 6 – Phân tích trung gian: Lấy mẫu, phân tích C–Mn–Si–Cr–Mo–Ni. Hiệu chỉnh từng nguyên tố theo kết quả thực tế; khuấy điện từ vừa đủ để đồng nhất.

Bước 7 – Khử oxy và biến tính: Khử oxy bằng Al, sau đó biến tính kết hợp Al–Ti ở giai đoạn cuối. Lượng bổ sung phải xét hàm lượng dư và hiệu suất thu hồi; hạn chế giữ lỏng kéo dài sau biến tính.

Bước 8 – Kiểm tra trước rót: Lấy mẫu cuối phân tích C–Mn–Si–Cr–Mo–Ni–Al–Ti. Chỉ cho phép rót khi thành phần được kỹ sư công nghệ/KCS chấp nhận.

Bước 9 – Ra thép: Vớt xỉ lần cuối, kiểm tra nhiệt độ, chuẩn bị thùng rót đã sấy khô và ra thép theo phương án an toàn.

5.3. Tiêu chí kết thúc công đoạn nấu luyện

Nội dung Tiêu chí chấp nhận

Thành phần hóa học Phù hợp thành phần M2 đã duyệt hoặc khoảng kiểm soát nội bộ được xác lập từ thử nghiệm.

Kim loại lỏng Bề mặt sạch, xỉ được loại bỏ, không có dấu hiệu cuốn xỉ bất thường.

Nhiệt độ Đủ bù tổn thất khi chuyển thùng và bảo đảm nhiệt độ rót 1.480–1.490°C tại khuôn.

Hồ sơ Đủ nhật ký mẻ, lượng nạp thực tế, kết quả phân tích và xác nhận cho phép rót.

6. Quy trình đúc

6.1. Chuẩn bị khuôn, lõi và hệ thống rót

Áp dụng đúc khuôn cát; ưu tiên hệ cát thạch anh–nước thủy tinh đóng rắn $CO_2$ theo báo cáo tổng hợp. Thiết kế mẫu, lõi, hệ thống rót và đậu ngót phải phù hợp hình dạng, chiều dày và khối lượng chi tiết. Với răng gầu khoảng 24 kg, chiều dày lớn nhất khoảng 40 mm, cần đặc biệt kiểm soát điền đầy và bù ngót.

Hạng mục Yêu cầu kiểm soát

Cát áo/cát đệm Cát áo khoảng 10–15%; cát đệm khoảng 85–90%. Cát tái sinh chỉ dùng sau khi xử lý và kiểm tra.

Hỗn hợp khuôn Đủ độ bền, tính lún, thông khí và bền nhiệt; độ ẩm phải theo hệ chất kết dính đang áp dụng. Không dùng mốc 6–8% cho khuôn nước thủy tinh nếu chưa được thẩm định.

Khuôn và lõi Đúng kích thước, không nứt/vỡ, bề mặt sạch; lỗ thoát khí thông suốt; lõi được định vị chắc chắn.

Rót và đậu ngót Dòng chảy êm, hạn chế cuốn khí/xỉ; bảo đảm đông đặc có hướng và bù co cho vùng dày.

Sấy/đóng rắn Khuôn, lõi và dụng cụ tiếp xúc kim loại lỏng phải đạt độ bền, khô và sạch trước khi lắp ráp.

6.2. Rót, đông đặc và làm sạch

Xác nhận trước rót: Khuôn lắp hoàn chỉnh, thùng rót khô, thành phần đạt, xỉ đã vớt và nhiệt độ kim loại phù hợp.

Rót kim loại: Rót liên tục, ổn định ở 1.480–1.490°C; tránh gián đoạn, rối dòng, cuốn xỉ và va xói khuôn. Duy trì cấp kim loại qua đậu ngót theo thiết kế.

Đông đặc/làm nguội: Giữ vật đúc trong khuôn đến khi đủ bền để phá khuôn; thời gian cụ thể phải được xác lập theo khối lượng, chiều dày và điều kiện sản xuất.

Phá khuôn: Phá khuôn an toàn, lấy vật đúc, cắt hệ thống rót và đậu ngót, làm sạch cát, phun bi/mài sửa theo yêu cầu bản vẽ.

Phân loại: Loại riêng sản phẩm có nứt, không điền đầy, rỗ/co ngót nghiêm trọng hoặc sai lệch kích thước không thể sửa; lập phiếu không phù hợp trước khi tái luyện.

6.3. Kiểm tra sau đúc

Phép kiểm tra Mục đích/tiêu chí

Ngoại quan và kích thước Không nứt, thiếu hụt, dính cát nghiêm trọng; kích thước theo bản vẽ và lượng dư gia công.

Thành phần hóa học Xác nhận mẫu đại diện phù hợp M2.

Khuyết tật bên trong Siêu âm UT hoặc phương pháp NDT phù hợp; tiêu chí chấp nhận phải quy định theo bản vẽ/tiêu chuẩn sản phẩm.

Tổ chức sơ bộ Kiểm tra quang học/SEM–EDS khi cần; xác nhận hiệu quả biến tính và phát hiện bất thường.

Quyết định chuyển bước Chỉ vật đúc đạt yêu cầu hoặc được chấp nhận có điều kiện mới chuyển xử lý nhiệt.

7. Quy trình xử lý nhiệt

7.1. Chuẩn bị

• Làm sạch vật đúc; loại bỏ khuyết tật bề mặt có nguy cơ phát triển khi tôi. Xếp chi tiết bảo đảm thông khí và hạn chế biến dạng.

• Kiểm tra lò, cặp nhiệt điện, bộ ghi nhiệt; kiểm tra bể tôi, khả năng khuấy/tuần hoàn và phương án chuyển tải.

• Thời gian giữ được tính khi nhiệt độ chi tiết/vùng kiểm soát đạt giá trị quy định; phải ghi biểu đồ nhiệt của từng mẻ.

7.2. Chế độ nhiệt luyện M2 hoàn thiện

Giai đoạn Nhiệt độ Thời gian giữMôi trường/kết thúc Mục đích

Gia nhiệt sơ bộ650°C 2 giờ Trong lò Giảm chênh lệch nhiệt và ứng suất nhiệt.

Austenit hóa 920°C 3 giờ Trong lò Đồng đều hóa và chuẩn bị tổ chức cho quá trình tôi.

Tôi Từ 920°C Chuyển nhanh Nước Hạn chế chuyển biến khuếch tán, tạo tổ chức nền theo yêu cầu.

Ram 250°C 6 giờ Nguội không khí Giảm ứng suất, ổn định tổ chức và cân bằng độ cứng–độ dai.

650°C/2 h → 920°C/3 h → tôi nước → 250°C/6 h → nguội trong không khí

Điểm kiểm soát quan trọng: Nhiệt độ nước tôi, tỷ lệ tải/bể, mức khuấy, thời gian chuyển từ lò sang bể và tiêu chí biến dạng phải được xác lập trong hướng dẫn vận hành của cơ sở. Không coi các thông số chưa được tài liệu xác nhận là giá trị mặc định.

7.3. Kết quả yêu cầu sau nhiệt luyện

Chỉ tiêu Mức tham chiếu Phương pháp xác nhận

Tổ chức Bainite + austenite dư Hiển vi quang học/FESEM; XRD khi cần.

Khoảng cách tấm ferrite 0,36–0,56 μm Đo ảnh tổ chức đại diện.

Cấp hạt hiệu quả Khoảng cấp 4 ASTM Theo phương pháp đánh giá cấp hạt áp dụng.

Độ cứng Khoảng 50,3 HRC Đo nhiều vị trí; báo cáo trung bình và độ phân tán.

Độ dai va đập Khoảng 57,5 J/cm² Mẫu và phương pháp thử thống nhất với hồ sơ nghiên cứu.

Khuyết tật/biến dạng Trong giới hạn bản vẽ/tiêu chuẩn sản phẩm Ngoại quan, kích thước và UT khi quy định.

8. Kế hoạch kiểm soát chất lượng và nghiệm thu

Công đoạn Đặc tính kiểm soát Tần suất đề xuất Hồ sơ

Nhập liệu Thành phần, độ sạch, độ khô Mỗi lô Phiếu nhập/chứng chỉ/phân tích

Phối liệu Khối lượng và tính toán cháy hao Mỗi mẻ Bảng phối liệu đã duyệt

Nấu luyện Nhiệt độ, xỉ, lượng hợp kim Theo mẻ và từng lần bổ sung Nhật ký nấu luyện

Trước rót Thành phần và nhiệt độ Mỗi mẻ Phiếu phân tích/phiếu cho phép rót

Khuôn–lõi Kích thước, độ bền, thông khí, độ khô Mỗi khuôn hoặc theo lô đã thẩm định Phiếu kiểm tra khuôn

Sau đúc Ngoại quan, kích thước, NDT Mỗi sản phẩm; NDT theo kế hoạch Phiếu kiểm tra vật đúc

Nhiệt luyện Biểu đồ nhiệt, thời gian, môi trường tôi Mỗi mẻ Biểu đồ/nhật ký nhiệt luyện

Thành phẩm Hóa học, tổ chức, độ cứng, độ dai, UT Theo lô; tối thiểu theo kế hoạch thử nghiệm Biên bản nghiệm thu

Trước khi chuyển sang sản xuất hàng loạt, cần kiểm chứng quy trình trên ít nhất 10 bộ sản phẩm răng gầu, đánh giá độ lặp lại về thành phần, tổ chức, độ cứng, độ dai, kích thước và khuyết tật UT. Chỉ ban hành giới hạn kiểm soát chính thức sau khi có dữ liệu đủ để xác định độ phân tán và năng lực quá trình.

9. Xử lý sản phẩm không phù hợp

• Cách ly, nhận diện và lập phiếu không phù hợp ngay khi phát hiện.

• Kỹ sư công nghệ cùng KCS xác định nguyên nhân theo nhóm: nguyên liệu/phối liệu, nấu luyện, khuôn–rót, nhiệt luyện hoặc kiểm tra.

• Chỉ sửa chữa, nhiệt luyện lại hoặc tái luyện khi có phương án được phê duyệt và vẫn bảo đảm truy xuất nguồn gốc.

• Không trộn sản phẩm không phù hợp với lô đạt; cập nhật hành động khắc phục vào hồ sơ mẻ.

10. Hồ sơ bắt buộc và biểu mẫu ghi chép

Mã gợi ý Tên hồ sơ Nội dung tối thiểu

BM-M2-01 Phiếu nguyên liệu và phối liệu Mã lô, thành phần, độ khô, lượng tính toán và lượng cân.

BM-M2-02 Nhật ký nấu luyện Thời gian, công suất, nhiệt độ, lượng bổ sung, xỉ, mẫu phân tích.

BM-M2-03 Phiếu kiểm tra khuôn–lõi Mã khuôn, tình trạng, thông khí/độ bền, lắp lõi và xác nhận trước rót.

BM-M2-04 Phiếu rót và vật đúc Nhiệt độ rót, thời gian rót, mã khuôn, ngoại quan và kích thước.

BM-M2-05 Biểu đồ nhiệt luyện Mã mẻ, tải lò, nhiệt độ–thời gian, tôi, ram và bất thường.

BM-M2-06 Phiếu kiểm tra thành phẩm Hóa học, tổ chức, HRC, va đập, UT, kết luận nghiệm thu.

11. Bộ thông số công nghệ tóm tắt

Công đoạn Thông số kiểm soát chính

Nấu luyện Lò cảm ứng trung tần; quy mô tham chiếu ≈250 kg/mẻ; mác M2; khử oxy Al; biến tính Al–Ti.

Thành phần M2 C 0,249%; Mn 0,869%; Si 1,479%; Cr 1,579%; Mo 0,219%; Ni 0,365%; Al 0,192%; Ti 0,151%.

Đúc Khuôn cát; cát áo 10–15%, cát đệm 85–90%; nhiệt độ rót 1.480–1.490°C.

Nhiệt luyện 650°C/2 h → 920°C/3 h → tôi nước → ram 250°C/6 h → nguội không khí.

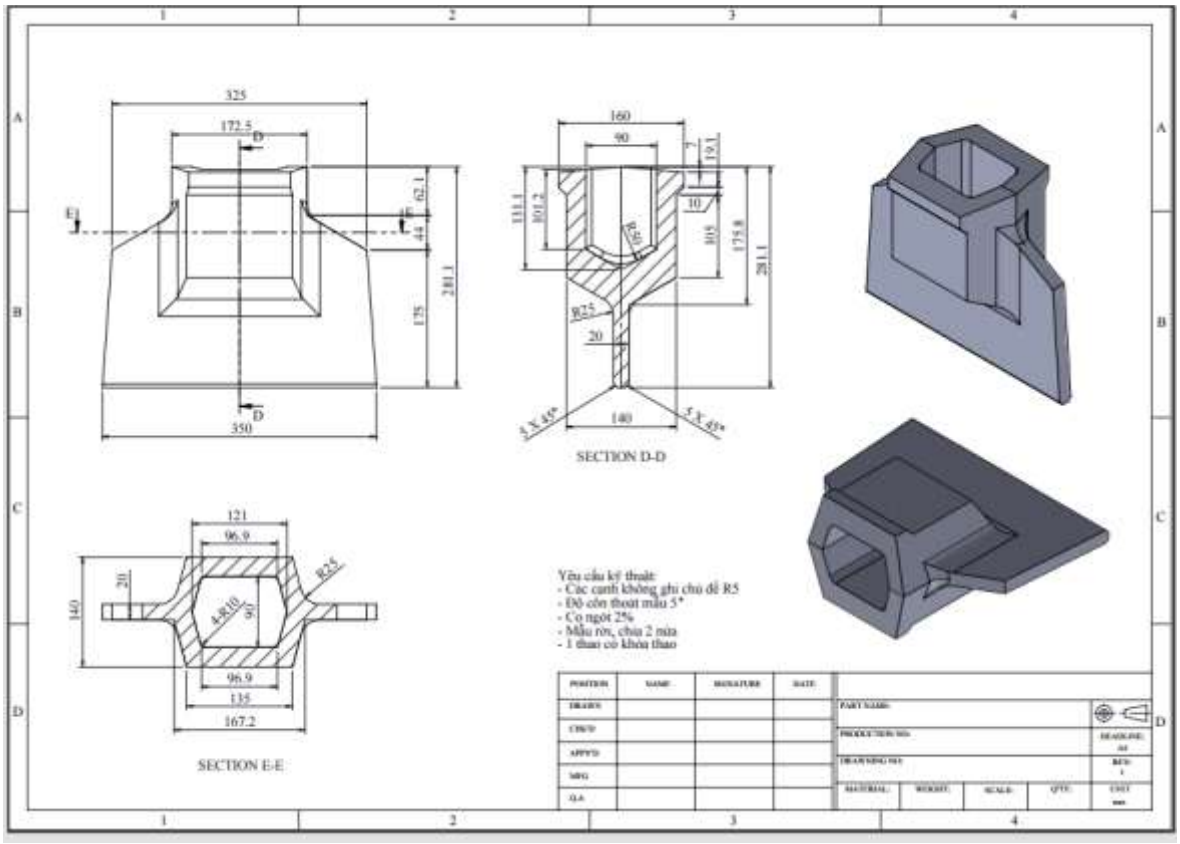
Kết quả tham chiếu Bainite + austenite dư; 0,36–0,56 μm; ≈ cấp 4 ASTM; ≈50,3 HRC; ≈57,5 J/cm².

12. Kết luận áp dụng

Bộ quy trình đã liên kết đầy đủ ba công đoạn nấu luyện, đúc và xử lý nhiệt thành một chuỗi có điểm kiểm soát và tiêu chí chuyển bước. Khi áp dụng tại cơ sở sản xuất, các khoảng chấp nhận về thành phần, độ ẩm/độ bền khuôn, nước tôi, thời gian phá khuôn, kích thước và NDT phải được cụ thể hóa theo thiết bị, bản vẽ sản phẩm và dữ liệu xác nhận quá trình. Mọi thay đổi về nguồn nguyên liệu, quy mô mẻ, thiết kế vật đúc hoặc thiết bị nhiệt luyện phải được đánh giá lại trước khi áp dụng hàng loạt.

## 5.2. Chế tạo thử nghiệm sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp, đánh giá chất lượng sản phẩm

### 5.2.1. Thiết kế bản vẽ đúc đối với răng gầu




### 5.2.2. Phối liệu và nấu luyện thép Mn thấp cho sản phẩm răng gầu

Tính toán phối liệu

Tính phối liệu cho một răng gầu có khối lượng 24 kg, chọn quy mô 30 kg thép lỏng sau cháy hao, tương ứng lượng nguyên liệu nạp khoảng 30,14 kg. Phép tính sử dụng thành phần mẫu nền M0 ở Bảng 5.11. M1 và M2 là các mẫu nghiên cứu riêng; khi nấu từng mẫu phải lập lại cân bằng theo thành phần tương ứng, không dùng trực tiếp phối liệu M0 cho M2.

Cơ sở chọn quy mô mẻ: giả thiết hiệu suất thu hồi vật đúc $\eta_đ = 80\%$, tính theo tỷ lệ khối lượng răng gầu sau cắt hệ thống rót và đậu ngót trên khối lượng thép lỏng cần chuẩn bị. Khi đó $M = 24/0{,}80 = 30$ kg; phần chênh lệch $30 - 24 = 6$ kg dành cho hệ thống rót, đậu ngót và tổn thất từ sau nấu đến khi thu được vật đúc. Đây là

giả thiết thiết kế cần kiểm chứng bằng cân thực tế, không phải hiệu suất đã được xác nhận.

*Bảng 5. 11: Thành phần các mác thép nghiên cứu*

| Mẫu | C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | Al | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **M0** | 0.255 | 0.887 | 1.631 | 1.676 | 0.251 | 0.040 | 0.053 | - |
| **M1** | 0.282 | 0.883 | 1.433 | 1.602 | 0.218 | 0.369 | 0.211 | - |
| **M2** | 0.249 | 0.869 | 1.479 | 1.579 | 0.219 | 0.365 | 0.192 | 0.151 |

Nguyên liệu tính toán gồm CT3, gang xám, FeMn C thấp, FeCr C thấp, FeSi75, FeMo60, Ni kim loại và Al kim loại.

Thành phần nguyên liệu giả định được trình bày ở Bảng 5.12; đơn vị % khối lượng.

*Bảng 5. 12: Phối liệu và thành phần hóa học của các cấu tử trong mẻ liệu*

| Nguyên liệu | C | Mn | Si | Cr | Mo | Ni | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thép vụn CT3 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Gang xám | 3,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMn C thấp | 1,00 | 70,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeCr C thấp | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeSi75 | 0,00 | 0,00 | 75,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMo60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ni kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,90 | 0,00 |
| Al kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,70 |

Thành phần đích của thép Mn thấp dùng để tính phối liệu (mẫu nền M0): C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Cơ sở tính giả định: giữ các giá trị đã nêu cho CT3 (0,20% C; 0,02% Cr), gang xám (3% C), FeMn (1% C; 0,6% Si; 70% Mn) và FeCr (1% C; 60% Cr). Bổ sung giả thiết FeSi75 chứa 75% Si, FeMo60 chứa 60% Mo, Ni kim loại chứa 99,9% Ni và Al kim loại chứa 99,7% Al. Các ô 0 là giả thiết bỏ qua đóng góp, không phải kết quả phân tích; phần còn lại quy ước là Fe.

Hiệu suất thu hồi giả định: C 85%; Mn 90%; Si 90%; Cr 95%; Mo 100%; Ni 100%; Al 50%. C, Mn, Cr kế thừa tỷ lệ cháy hao đã chọn trong báo cáo; Si lấy theo trường hợp FeSi bổ sung cuối kỳ hoàn nguyên; Mo, Ni theo bảng hiệu suất của báo cáo. Al 50% là giả thiết tính thử cần xác nhận. Giả thiết Fe thu hồi 100%, chưa xét tổn thất cơ học và kim loại cuốn theo xỉ.

Quy ước M = 30 kg là khối lượng thép lỏng sau cháy hao, không phải tổng lượng nạp và không phải khối lượng răng gầu 24 kg sau cắt hệ thống rót. Khối lượng từng nguyên liệu $m_j$ tính bằng kg; $a_{ij}$ là phần khối lượng nguyên tố i trong nguyên liệu j; $c_i$ là phần khối lượng đích; $\eta_i$ là hiệu suất thu hồi nguyên tố, phân biệt với hiệu suất thu hồi vật đúc $\eta đ$ = 80%.

Cân bằng đồng thời từng nguyên tố: $\eta_i \times \Sigma(a_{ij} \times m_j) = M \times c_i$. Cân bằng khối lượng thép lỏng: $\Sigma m_j - \Sigma_i[(1 - \eta_i) \times \Sigma_j(a_{ij} \times m_j)] = M$. Các hàm lượng trong phương trình dùng dạng phần khối lượng (ví dụ 0,255% = 0,00255).

Đặt t, g, f, r, s, u, n, a lần lượt là khối lượng CT3, gang xám, FeMn, FeCr, FeSi75, FeMo60, Ni và Al. Hệ phương trình gồm:

C: 0,85 × (0,002t + 0,03g + 0,01f + 0,01r) = 0,00255M.

Mn: 0,90 × 0,70f = 0,00887M; Si: 0,90 × (0,006f + 0,75s) = 0,01631M.

Cr: 0,95 × (0,0002t + 0,60r) = 0,01676M; Mo: 0,60u = 0,00251M.

Ni: 0,999n = 0,00040M; Al: 0,50 × 0,997a = 0,00053M.

Khối lượng: 0,99969t + 0,9955g + 0,9279f + 0,9685r + 0,925s + u + n + 0,5015a = M.

Giải hệ cho M = 30 kg thu được lượng nạp dự kiến như sau (kg). Với cùng thành phần và hiệu suất thu hồi, các lượng nạp bằng 6 lần kết quả chưa làm tròn của mẻ 5 kg:

| Nguyên liệu | Khối lượng nạp, kg |
|---|---|
| Thép vụn CT3 | 27,198499 |
| Gang xám | 0,754960 |
| FeMn C thấp | 0,422381 |
| FeCr C thấp | 0,873039 |
| FeSi75 | 0,721510 |
| FeMo60 | 0,125500 |
| Ni kim loại | 0,012012 |
| Al kim loại | 0,031896 |
| Tổng lượng nạp | 30,139796 |

Kiểm tra khối lượng: 30,139796 − 0,139796 = 30,000000 kg thép lỏng. Cháy hao tính toán là 0,139796 kg, chỉ gồm phần cháy hao các nguyên tố theo giả thiết; không cộng lặp vào phần chênh lệch 6 kg sau nấu. Cân bằng tổng quát: 30,139796 kg nguyên liệu nạp = 0,139796 kg cháy hao + 6,000000 kg phần ngoài vật đúc + 24,000000 kg răng gầu. Như vậy, lượng nạp lý thuyết xấp xỉ 30,14 kg; không đồng nhất 30 kg nguyên liệu nạp với 30 kg thép lỏng.

Kiểm tra thành phần sau thu hồi: C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Đây là phối liệu tính toán theo giả thiết, chưa phải định mức nạp đã được xác nhận thực nghiệm. Trước mỗi mẻ phải thay các giả thiết bằng chứng chỉ/kết quả phân tích nguyên liệu và hiệu suất thu hồi thực tế, tính lại đồng thời cả hệ, cân theo độ chính xác thiết bị và kiểm tra quang phổ để hiệu chỉnh. Al nạp bao gồm phần bị oxy hóa và phần còn lại trong thép; không cộng thêm tùy ý lượng Al khử oxy ngoài cân bằng này.

Điều kiện áp dụng phương án 30 kg: mục 5.2.3 hiện tính riêng khoảng 9,6 kg đậu ngót và 2,8 kg hệ thống rót, tổng kim loại rót khoảng 36,4 kg cho răng gầu 24 kg. Vì vậy, phối liệu quy mô 30 kg ở đây chỉ đáp ứng phương án đúc đã điều chỉnh để tổng phần ngoài vật đúc không vượt 6 kg và vẫn bảo đảm điền đầy, bù ngót. Nếu giữ nguyên thiết kế tại mục 5.2.3, cần tính lại theo ít nhất 36,4 kg thép lỏng, cộng dự phòng vận hành phù hợp; không sử dụng mẻ 30 kg cho thiết kế đó.

Quy trình nấu luyện

Quy trình nấu trong lò điện cảm ứng được chia ra làm nhiều thời kỳ

- Nạp liệu:

Thép vụn và gang xám được chất vào lò đầu tiên để nấu chảy

Các loại fero được nung nóng và đưa vào sau khi thép vụn và gang xám được nấu chảy

- Nấu chảy:

Khi lò nguội đóng điện 50% công suất sấy lò khoảng 20 - 30 phút

Nâng công suất cao cho chảy liệu

Tiến hành bổ sung dần liệu vào lò, ấn liệu xuống, thường xuyên cho thép lỏng dâng lên và liệu đi xuống.

Trong quá trình nấu luyện thì các lớp liệu phía trên chảy rất chậm vì vậy thường hay xuất hiện hiện tượng treo liệu. Để khắc phục cần chú ý thường xuyên đẩy liệu chưa chảy xuống phía dưới vùng kim loại lỏng

Tiến hành vớt xỉ trước và sau khi nạp fero vào lò để loại bỏ tạp chất

- Tinh luyện và khử khí: sử dụng các loại fero phù hợp và Al để tinh luyện và khử khí

3.2. Kết quả nghiên cứu

Các mác thép được tiến hành nấu trong lò trung tần có khối lượng mẻ nấu trung bình là 250kg với mục đích để các mác thép nghiên cứu đảm bảo tính đồng đều thành phần và ổn định. Kết quả này được tiến hành tại Công ty TNHH Thắng Lợi. Mẫu nghiên cứu được lấy trên sản phẩm là răng gầu xuất khẩu của công ty. Vị trí lấy mẫu được lấy ở vị trí lưỡi răng gầu xúc nơi chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn và đảm bảo độ dai nhất định.

Quy mô khoảng 250 kg/mẻ nêu trên là quy mô các mẻ nghiên cứu tại cơ sở; phép tính phối liệu trong mục này được quy đổi riêng cho một răng gầu 24 kg với 30 kg thép lỏng, không thay thế số liệu quy mô mẻ nghiên cứu đã thực hiện.

Thành phần mỗi mẻ nấu được tiến hành phân tích thành phần trên thiết bị phân tích nguyên tố ARL-3460 của hãng Fisons Thụy Sĩ cho kết quả như trong Bảng 5.13

*Bảng 5. 13: Thành phần nguyên tố hợp kim chính*

| **Mẫu** | **C** | **Mn** | **Si** | **Cr** | **Mo** | **Ni** | **Al** | **Ti** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M0 | 0,255 | 0,887 | 1,631 | 1,676 | 0,251 | 0,040 | 0,053 | - |
| M1 | 0,282 | 0,883 | 1,433 | 1,602 | 0,218 | 0,369 | 0,211 | - |
| M2 | 0,249 | 0,869 | 1,479 | 1,579 | 0,219 | 0,365 | 0,192 | 0,151 |

### 5.2.3. Tính toán thiết kế khuôn đúc cho sản phẩm răng gầu

1. Cơ sở và phạm vi tính toán

Hồ sơ này đưa ra phương án công nghệ và kích thước sơ bộ để thiết kế mẫu, lõi, hòm khuôn, hệ thống rót và đậu ngót. Do đầu vào là ảnh bản vẽ, chưa có mô hình 3D, dung sai kích thước, tiêu chuẩn nghiệm thu và khối lượng ghi trên khung tên, kết quả phải được kiểm tra lại bằng mô hình CAD/khối lượng thực trước khi chế tạo bộ mẫu.

| **Thông số đầu vào** | **Giá trị sử dụng** | **Ghi chú** |
|---|---|---|
| Kích thước bao chi tiết | 350 × 325 × 281,1 mm | Đọc từ các hình chiếu. |
| Bề rộng theo mặt cắt E–E | Tối đa khoảng 167,2 mm | Các kích thước liên quan: 121; 96,9; 135 mm. |
| Hốc lắp | Khoảng 90–96,9 mm; sâu khoảng 105 mm | Bo R10/R50 theo mặt cắt; cần kiểm tra CAD. |
| Chiều dày vùng mỏng | Khoảng 20 mm | Đọc tại mặt cắt D–D/E–E. |
| Góc thoát mẫu | 5° | Ghi chú kỹ thuật trên bản vẽ. |
| Bán kính góc | Không ghi chú: R5 tối thiểu | Theo yêu cầu kỹ thuật. |
| Khối lượng vật đúc | 24 kg | Theo báo cáo tổng hợp; dùng để tính rót sơ bộ. |

| Thông số đầu vào | Giá trị sử dụng | Ghi chú |
|---|---|---|
| Vật liệu | Thép Mn thấp M2 | Khối lượng riêng giả thiết 7,75 kg/dm³. |
| Độ co dài mẫu | 2,0% | Giá trị thiết kế ban đầu cho thép đúc; phải hiệu chỉnh theo xưởng. |

2. Phân tích tính đúc và chọn phương án khuôn

Chi tiết có hốc lắp kín một đầu và hình dạng thay đổi tiết diện; bắt buộc dùng lõi cát để tạo hốc và các mặt trong không rút mẫu được.

Chọn mặt phân khuôn ngang đi qua đường E–E/vùng chuyển tiếp thân–lưỡi. Mặt này giảm chiều sâu mỗi nửa khuôn, cho phép mẫu chia hai nửa như yêu cầu bản vẽ và thuận lợi bố trí rót ngang.

Đặt chi tiết theo tư thế lưỡi răng gần nằm ngang, phần thân/hốc ở phía trên. Vùng dày quanh hốc được đưa về phía đậu ngót để tạo đông đặc có hướng.

Dùng một lòng khuôn cho một hòm khuôn vì vật đúc lớn khoảng 350 mm, thép lỏng có nhiệt độ cao và cần khoảng cát an toàn lớn.

Chọn rót đáy–hông, hai cửa vào đối xứng ở phần lưỡi/thân dưới; kim loại điền đầy từ dưới lên, giảm bắn tóe, xói cát và cuốn xỉ.

3. Thiết kế bộ mẫu và lõi

3.1. Kích thước mẫu theo độ co

Với hệ số co dài k = 2,0%, kích thước mẫu chưa kể lượng dư gia công được tính theo Lm = Lct(1 + k).

| Kích thước chi tiết (mm) | Kích thước mẫu co 2% (mm) | Giá trị làm tròn chế tạo (mm) |
|---|---|---|
| 350 | 357,0 | 357 |
| 325 | 331,5 | 332 |
| 281,1 | 286,7 | 287 |
| 175,8 | 179,3 | 179 |
| 167,2 | 170,5 | 171 |
| 160 | 163,2 | 163 |
| 140 | 142,8 | 143 |
| 121 | 123,4 | 123 |
| 96,9 | 98,8 | 99 |
| 90 | 91,8 | 92 |
| 20 | 20,4 | 20,5 |

Các bề mặt lắp ghép cần gia công nên cộng lượng dư sau khi bù co. Đề xuất sơ bộ: 3 mm cho mặt phẳng nhỏ và thành hốc; 4 mm cho mặt chuẩn/lỗ lắp quan trọng; 5 mm cho mặt lớn hoặc bề mặt có nguy cơ cong vênh. Bề mặt làm việc của lưỡi răng nếu để nguyên đúc chỉ bù co, không tự động cộng lượng dư.

3.2. Mẫu, hộp lõi và gối lõi

| Bộ phận | Phương án thiết kế |
|---|---|
| Mẫu ngoài | Mẫu chia 2 nửa theo E–E, có chốt định vị; vật liệu gỗ cứng/nhựa cho thử nghiệm, nhôm cho sản xuất lặp lại. |
| Góc thoát | Giữ 5° theo bản vẽ; hướng thoát vuông góc mặt phân khuôn. Không giảm góc tại các gân/hốc lõm. |
| Bo góc | R5 tối thiểu cho góc chưa chỉ định; giữ R10, R25, R50 theo bản vẽ. |
| Lõi chính | Lõi cát tạo hốc lắp, tiết diện biến đổi khoảng 90–96,9 mm, đáy bo theo R10/R50; chiều sâu làm việc khoảng 105 mm. |
| Gối lõi | Bố trí gối lõi phía miệng hốc và đầu đối diện nếu hình học cho phép. Chiều dài gối sơ bộ 40–50 mm; khe lắp ráp 0,5–1,0 mm mỗi phía. |
| Hộp lõi | Hộp lõi hai nửa, có rãnh thoát khí; dùng cát lõi nước thủy tinh–$CO_2$ hoặc hệ cold-box phù hợp đúc thép. |
| Sơn khuôn/lõi | Sơn chịu lửa nền zircon hoặc tương đương tại bề mặt chịu nhiệt/xói mạnh; sấy khô hoàn toàn. |

4. Chọn kích thước hòm khuôn

Kích thước mẫu sau bù co xấp xỉ 357 × 332 × 287 mm. Chọn lớp cát từ vật đúc đến thành hòm tối thiểu 90–100 mm; phía bố trí rãnh dẫn, ống rót và đậu ngót cần 130–170 mm. Với một lòng khuôn, phương án hòm khuôn sơ bộ như sau:

| Hạng mục | Kích thước trong đề xuất | Lý do |
|---|---|---|
| Hòm khuôn | 700 × 600 mm | Đủ chỗ cho mẫu 357 × 332 mm, hệ thống rót bên hông và đậu ngót. |
| Hòm dưới (drag) | Cao 250 mm | Chứa phần lưỡi/thân dưới và rãnh dẫn đáy. |
| Hòm trên (cope) | Cao 300 mm | Chứa thân trên, lõi, ống rót và đậu ngót. |

| Hạng mục | Kích thước trong đề xuất | Lý do |
|---|---|---|
| Tổng chiều cao cát | Khoảng 550 mm | Bảo đảm lớp cát đáy/đỉnh và cột áp kim loại. |
| Khoảng cát tối thiểu | ≥90 mm ở thành; ≥100 mm ở đáy/đỉnh | Dùng cho thép đúc; tăng cục bộ quanh đậu và ống rót. |

Kiểm tra hình học: 357 + 2×90 = 537 mm < 700 mm và 332 + 2×90 = 512 mm < 600 mm; phần dư còn lại đủ bố trí hệ thống rót về một phía. Kích thước hòm phải được dựng layout 2D trước khi chế tạo.

5. Tính hệ thống rót sơ bộ

5.1. Khối lượng kim loại và thời gian rót

Chọn một đậu ngót chính có ống bọc tỏa nhiệt, khối lượng hữu ích sơ bộ khoảng 9–10 kg; hệ thống rót khoảng 2,5–3,0 kg. Khối lượng kim loại rót dự kiến:

G = Gvật đúc + Gđậu + Grót = 24 + 9,5 + 2,8 ≈ 36,3 kg

Chọn thời gian rót ban đầu 10–12 s; dùng 11 s để tính. Thể tích dòng chảy Q = G/(ρt) = 36,3/(7,75×11) ≈ 0,426 dm³/s = 426 cm³/s.

5.2. Tiết diện nút thắt

Với chiều cao cột áp hữu hiệu H = 0,20 m và hệ số lưu lượng μ = 0,70:

Fch = Q/[μ√(2gH)] = 426/[0,70×198] ≈ 3,07 cm²

Chọn hệ thống rót không ép, tỷ lệ tiết diện ống rót : rãnh dẫn : tổng cửa vào = 1 : 2 : 2. Nút thắt đặt tại đáy ống rót.

| Bộ phận | Tiết diện tính/chọn | Kích thước đề xuất |
|---|---|---|
| Chén rót | Giảm xoáy và giữ xỉ | Khoảng 120 × 100 × 60 mm; đáy bo tròn. |
| Ống rót côn | F đáy ≥3,07 cm² | Đáy Ø20 mm (3,14 cm²); miệng Ø28 mm; cao hữu hiệu ≈220 mm. |
| Giếng rót | Hãm động năng | Ø55 × 35 mm, chuyển tiếp êm sang rãnh dẫn. |
| Rãnh dẫn | ≈6,2 cm² | Tiết diện thang tương đương 20 × 32 mm; kéo dài bẫy xỉ 60–80 mm sau cửa cuối. |
| Cửa vào | Tổng ≈6,2 cm² | 2 cửa, mỗi cửa 16 × 20 mm = 3,2 cm²; đặt đối xứng, rót đáy/hông. |
| Lọc gốm | Theo năng lực xưởng | Có thể dùng lọc chịu thép khoảng 50 × 50 × 22 mm; phải kiểm tra lưu lượng thực. |

Vận tốc lý thuyết tại nút thắt sau hệ số lưu lượng khoảng 1,39 m/s. Khi chạy thử, điều chỉnh tiết diện/thời gian rót để dòng ổn định, không trào chén, không thiếu hụt và không xói khuôn. Không thu nhỏ cửa vào dưới giá trị tính nếu chưa thử nghiệm.

6. Tính và bố trí đậu ngót

Vùng nóng tập trung quanh thân dày và đáy hốc lắp; phần lưỡi mỏng hơn đông đặc trước. Bố trí một đậu ngót chính trên vùng thân dày, đối diện hướng cấp kim loại, kết hợp tấm làm nguội cục bộ ở vùng giao thân–lưỡi nếu mô phỏng cho thấy điểm nóng thứ hai.

Do chưa có mô hình CAD để xác định chính xác môđun nhiệt của vùng nóng, chọn đậu theo phương án bảo thủ và yêu cầu kiểm chứng bằng mô phỏng/đúc thử: đậu ngót trụ có ống bọc tỏa nhiệt, đường kính trong 110 mm, chiều cao kim loại 130 mm, cổ đậu 50–60 mm, cao 25–35 mm.

$V_{đậu} = \pi D^2 H/4 = \pi \times 0{,}11^2 \times 0{,}13/4 \approx 1{,}235\ dm^3$

$G_{đậu} \approx 1{,}235 \times 7{,}75 \approx 9{,}57\ kg$

Với đậu trụ hở, môđun hình học xấp xỉ $V/A \approx 2{,}1$ cm (không tính đáy tiếp xúc); ống bọc tỏa nhiệt làm tăng môđun hiệu dụng. Cổ đậu phải đủ lớn để không đông đặc trước vùng cấp bù nhưng vẫn thuận lợi cắt. Nếu mô phỏng cho thấy hai điểm nóng tách biệt, thay bằng hai đậu tỏa nhiệt Ø80–90 mm đặt đối xứng và tính lại lượng kim loại/yield.

| Yêu cầu bố trí | Giá trị/giải pháp |
|---|---|
| Vị trí | Trên vùng thân dày quanh hốc, đường cấp bù ngắn và không qua tiết diện mỏng. |
| Đậu ngót | Ø110 × 130 mm, có ống bọc tỏa nhiệt; cổ Ø50–60 × 25–35 mm. |
| Khoảng cách tới lõi | Bảo đảm lớp cát đủ bền, không làm yếu gối lõi; kiểm tra layout thực. |
| Đông đặc có hướng | Cửa vào ở phần dưới/lưỡi; đậu ở phần thân trên để kim loại đông đặc dần về đậu. |
| Tấm làm nguội | Chỉ dùng sau mô phỏng hoặc đúc thử; đặt ngoài tại vùng nối thân–lưỡi nếu xuất hiện co lõm/rỗ co. |

7. Cân bằng kim loại và hiệu suất công nghệ

| Thành phần | Khối lượng sơ bộ |
|---|---|
| Vật đúc răng gầu | 24,0 kg |
| Đậu ngót chính | 9,6 kg |
| Ống rót + rãnh dẫn + cửa vào | 2,8 kg |
| Tổng kim loại rót | 36,4 kg |

| Thành phần | Khối lượng sơ bộ |
|---|---|
| Hiệu suất thu hồi vật đúc | 24/36,4 ≈ 65,9% |

Khối lượng rót cho một khuôn nên chuẩn bị khoảng 37–38 kg để có dự phòng vận hành nhỏ; lượng dư này không thay thế việc cân kiểm soát và không được làm tràn khuôn. Sau đúc thử, cân riêng vật đúc, đậu và hệ thống rót để hiệu chỉnh mô hình.

8. Trình tự chế tạo và lắp ráp khuôn

Chế tạo mẫu hai nửa có bù co, lượng dư gia công, góc thoát 5° và gối lõi; kiểm tra kích thước mẫu.

Làm hòm dưới, đặt nửa mẫu dưới; bố trí rãnh dẫn và hai cửa vào ở mặt phân khuôn; đầm cát đồng đều.

Lật khuôn, lắp nửa mẫu trên; đặt mẫu ống rót, đậu ngót và hệ thống thoát khí; làm hòm trên.

Rút mẫu theo phương vuông góc mặt phân khuôn; sửa lòng khuôn, bo chỗ sứt và sơn chịu lửa.

Chế tạo lõi trong hộp lõi hai nửa; tạo lỗ thoát khí, sấy/đóng rắn và sơn lõi.

Đặt lõi vào gối lõi; kiểm tra độ đồng tâm, khe hở và độ chắc. Chỉ dùng con mã nếu gối lõi không đủ và vật liệu con mã tương thích.

Lắp hòm trên–dưới bằng chốt định vị, kẹp/đè khuôn; kiểm tra chén rót, đậu, lỗ thoát khí và vệ sinh lòng khuôn.

Rót liên tục ở 1.480–1.490°C; theo dõi đậu ngót, giữ khuôn đến khi đủ nguội rồi phá khuôn và làm sạch.

9. Kế hoạch kiểm tra và đúc thử

| Giai đoạn | Nội dung kiểm tra | Tiêu chí ban đầu |
|---|---|---|
| Mẫu/hộp lõi | Kích thước, co, lượng dư, góc thoát, bo góc | 100% kích thước chính; không có góc âm. |
| Khuôn/lõi | Độ bền, thông khí, độ khô, định vị lõi | Không nứt/vỡ; lỗ thoát khí thông; lõi không xê dịch. |
| Rót | Nhiệt độ, thời gian, độ ổn định dòng | 1.480–1.490°C; mục tiêu 10–12 s; không trào/cuốn xỉ. |
| Sau phá khuôn | Thiếu hụt, xói cát, dính cát, nứt nóng | Không có khuyết tật nghiêm trọng; ghi vị trí khuyết tật. |
| NDT | UT vùng thân/hốc; MT bề mặt sau làm sạch | Theo mức chấp nhận của bản vẽ/tiêu chuẩn được duyệt. |
| Cắt kiểm chứng | Mẻ thử đầu: cắt hoặc chụp vùng nóng nếu cho phép | Xác nhận không rỗ co tại đáy hốc và vùng nối thân–lưỡi. |

| Giai đoạn | Nội dung kiểm tra | Tiêu chí ban đầu |
|---|---|---|
| Hiệu chỉnh | Cân đậu/rót, đo thời gian, lập bản đồ khuyết tật | Chốt lại kích thước cửa vào, đậu và thời gian phá khuôn. |

10. Các thông số cần xác nhận trước khi phát hành bản vẽ khuôn

Tệp CAD 3D hoặc thể tích/khối lượng chính xác của chi tiết sau gia công.

Bề mặt nào gia công và lượng dư yêu cầu; dung sai kích thước và độ nhám.

Mặt phân khuôn E–E có được chấp nhận theo thiết bị làm khuôn thực tế hay không.

Loại cát/chất kết dính, độ bền khuôn và kích thước hòm khuôn hiện có tại xưởng.

Khoảng thành phần M2 chấp nhận, nhiệt độ rót đã thẩm định và tiêu chuẩn NDT/nghiệm thu.

Dữ liệu mô phỏng đông đặc hoặc kết quả ít nhất 3 khuôn thử để chốt đậu ngót, tấm làm nguội và thời gian phá khuôn.

11. Kết luận thiết kế sơ bộ

Phương án đề xuất sử dụng một lòng khuôn trong hòm 700 × 600 mm, hòm dưới cao 250 mm và hòm trên cao 300 mm; mẫu chia hai nửa theo E–E, lõi chính tạo hốc lắp, hệ thống rót đáy–hông gồm ống rót đáy Ø20 mm, rãnh dẫn tương đương 20 × 32 mm và hai cửa vào 16 × 20 mm. Đậu ngót chính tỏa nhiệt Ø110 × 130 mm đặt trên vùng thân dày. Khối lượng kim loại rót sơ bộ khoảng 36,4 kg, hiệu suất công nghệ khoảng 65,9%. Đây là bộ thông số khởi đầu cho dựng layout khuôn và mô phỏng; phải hiệu chỉnh bằng CAD, mô phỏng đông đặc và đúc thử trước khi chế tạo hàng loạt.

### 5.2.4. Tính toán quy trình đúc rót và biện pháp nâng cao chất lượng sản phẩm đúc răng gầu

Tạp chất trong thép và quá trình khử bỏ tạp

Nguồn gốc tạp chất trong thép

Hàm lượng tạp chất, cách phân bố tạp chất, hình dạng tạp chất và loại tạp chất có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng thép. Vì vậy để nâng cao chất lượng thép phải ngăn ngừa và khử bỏ tạp chất.

Trong luyện thép, nguồn tạp chất chủ yếu đưa vào từ:

Sản phẩm của các phản ứng trong quá trình nấu luyện

Các chất bẩn, gỉ sắt cùng vật liệu đưa vào lò.

Khi ra thép, đúc thép, vật liệu chịu lửa bị tẩm thực hoá học và cơ học mang vào thép các oxít như $SiO_2$, $Al_2O_3$, MgO...Mặt khác do thép lỏng tiếp xúc với không khí bị ôxy hoá hoặc tách xỉ không tốt.

Trong thực tế sản xuất, nếu thực hiện quy trình nấu luyện, đúc rót tốt thì nguồn tạp chất từ nguyên vật liệu, hay từ khâu đúc rót có thể giải quyết được,

nhưng riêng nguồn gốc từ các sản phẩm khử ôxy trong và ngoài lò đòi hỏi các nhà luyện kim phải nghiên cứu khử bỏ chúng .

***I.2. Các biện pháp khử tạp chất trong thép***

Để giảm bớt tạp chất phi kim và khí trong thép, người ta thường dùng các biện pháp sau:

Chọn vật liệu sạch tạp chất, sấy khô và bảo quản liệu cẩn thận. Phải xử lý và phân loại trước khi dùng, hạ thấp áp suất riêng phần của H và hơi nước trong không gian lò.

Chọn chế độ thao tác nấu luyện thích hợp (chế độ xỉ, chế độ nhiệt…) nâng cao tốc độ khử các bon để sôi tốt, rút ngắn thời gian sôi tĩnh trong lò.

Các thiết bị đúc thép, máng ra thép…, vật liệu chịu lửa nhất thiết phải được sấy khô và làm sạch cẩn thận. Áp dụng những biện pháp tinh luyện ngoài lò như tinh luyện chân không, xỉ tổng hợp, phun khí phản ứng, phun khí trơ…

3.2. Quá trình khử bỏ một số tạp chất phi kim

*a) Quá trình khử P*

Trong kim loại, P thường tồn tại ở dạng $Fe_3P$, $Fe_2P$ và P. Nhưng khi nghiên cứu các phản ứng cân bằng vẫn thường dùng dạng phốtpho nguyên tử. Phản ứng ôxy hoá phốt pho được tiến hành như sau:

$2[P] + 5(FeO) \rightarrow (P_2O_5) + 5[Fe] + Q$

$2[P] + 8(FeO) \rightarrow (3FeO.P_2O_5) + 5[Fe]$

$$L_P = \frac{(P_2O_5)}{[P]^2} \quad \text{Hoặc} \quad L_P = \frac{(P_2)}{[P]^2}$$

Các phản ứng theo chiều thuận trên là các phản ứng phát nhiệt. Ở nhiệt độ cao, $P_2O_5$ ở trạng thái tự do, ngay cả phốt phosắt cũng không bền, có thể bị hoàn nguyên bởi các nguyên tố như Si và Mn và Fe cũng có thể hoàn nguyên phốtpho.

Vì vậy, để khử phốtpho phải tạo xỉ có độ kiềm cao. Trong trường hợp này P bị ôxy hoá theo phương trình sau:

$$2[P] + 5(FeO) + 4(CaO) \rightarrow (4CaO.P_2O_5) + 5[Fe] + Q$$

Hằng số cân bằng của phản ứng trên là:

$$K_P = a.\frac{(4CaO.P_2O_5).a^5_{[Fe]}}{a^2_{[P]}.a^4_{CaO}.a^5_{(FeO)}}$$

Nếu trong xỉ có $SiO_2$ tự do tồn tại, thì sự kết hợp bền chắc của CaO và $P_2O_5$ bị phá huỷ theo phương trình:

$$(4CaO.P_2O_5) + 4SiO_2 \rightarrow 4(CaO).SiO_2 + (P_2O_5)$$

Vì vậy điều kiện cần thiết để khử P là số lượng CaO trong xỉ phải đủ để hình thành ($4CaO.P_2O_5$), ($CaO).SiO_2$, $CaO.Fe_2O_3$….

Qua nghiên cứu về sự cân bằng của phản ứng khử P, người ta đã rút ra kết luận xỉ có độ bazơ và tính ôxy hoá cao, có khả năng khử P lớn nhất. Vai trò của FeO trong xỉ là rất quan trọng, nếu không có FeO trong xỉ, ví dụ thời kỳ đầu giai đoạn hoàn nguyên của lò điện thì hàm lượng FeO trong xỉ là thấp nhất, mặc dù trong xỉ lượng CaO rất cao nhưng vẫn không thể khử được P.

Do phản ứng khử P là phản ứng phát nhiệt, vì vậy khi nhiệt độ trong lò cao không thuận lợi cho quá trình khử P.

*Tóm lại, điều kiện để khử P là:*

Xỉ có độ kiềm cao, hàm lượng FeO cao (xỉ có tính ôxy hoá).

Nhiệt độ lò và nhiệt độ kim loại lỏng phải tương đối thấp (nhưng không được quá thấp).

Trong quá trình luyện thép, thông thường, ở giai đoạn vừa nấu chảy xong là phù hợp cho việc khử P nhất bởi vì khi đó nhiệt độ kim loại lỏng còn thấp, FeO trong xỉ cao, nếu kết hợp với điều kiện tạo xỉ trước thì việc khử P rất thuận lợi.

Bể lò phải được khuấy đảo, sôi sục, xỉ phải loãng.

Lượng xỉ phải nhiều nhằm giảm hàm lượng ($4CaO.P_2O_5$) trong xỉ. Khi đã khử P đạt mác yêu cầu cần phải tháo hết xỉ để tránh hiện tượng P hoàn nguyên trở lại theo phản ứng trên.

*b) Quá trình khử S*

Trong quá trình luyện thép, việc khử S chủ yếu thông qua xỉ, muốn khử S cần phải chuyển nó thành những sunfua không hoà tan trong kim loại.

Qua nghiên cứu người ta thấy rằng CaS hầu như không hoà tan vào trong kim loại lỏng, MnS ít hoà tan hơn, còn FeS thì có độ hoà tan lớn trong thép. Do đó việc chuyển FeS thành MnS trong kim loại và CaS trong xỉ thì S sẽ được chuyển qua xỉ và khử đi.

Phản ứng tạo thành MnS trong kim loại là:

$$[FeS] + [Mn] \rightarrow [MnS] + [Fe]$$

Khi trong xỉ có CaO thì trên bề mặt giữa xỉ và kim loại sẽ có phản ứng sau:

$$[MnS] + (CaO) \rightarrow (CaS) + (MnO)$$

$$[FeS] + (CaO) \rightarrow (CaS) + (FeO)$$

Trong giai đoạn ôxy hoá, phản ứng khử S xảy ra không đáng kể vì môi trường ôxy hoá cao, hơn nữa thành phần kim loại lúc này chưa đúng quy chuẩn, còn giai đoạn hoàn nguyên là giai đoạn khử S tốt nhất bởi vì lượng ôxy trong kim loại rất ít (sau khi khử ôxy). Đặc biệt ở lò điện không thể dùng ôxy để khử S như trong lò thổi, mà trái lại, nếu trong kim loại lỏng còn dư nhiều ôxy thì không thể khử triệt để S được. Môi trường bây giờ là môi trường hoàn nguyên, có nghĩa là nhiệt bức xạ rất lớn và phản xạ cũng vậy, làm cho kim loại có nhiệt độ cao, đồng đều và đặc biệt hoạt tính của kim loại và xỉ lỏng rất cao tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình khử S.

*Điều kiện khử S là:*

Xỉ phải có độ kiềm cao.

Nhiệt độ cao để tạo xỉ loãng và có độ kiềm cao, đồng thời phản ứng cháy cácbon tiến hành mãnh liệt nhằm giảm hàm lượng (FeO). Và tăng độ khuấy trộn nhờ {CO} sinh ra.

Bể kim loại phải sôi mạnh để tăng bề mặt tiếp xúc giữa xỉ và kim loại.

Lượng xỉ lớn để giảm nồng độ CaS trong xỉ, thuận tiện cho việc khử S.

*Tóm lại, việc khử S ra khỏi thép lỏng phu thuộc vào các yếu tố sau:*

Tính chất khử của kim loại và xỉ, độ bazơ của xỉ, lượng các bon và silic trong kim loại, tỉ lệ xỉ, nhiệt độ, đảo trộn kim loại và xỉ, giữ kim loại ở dưới xỉ hoàn nguyên, hàm lượng S trong vôi và các chất tạo xỉ khác.

*c) Quá trình khử Oxy*

Mục đích khử ôxy trong thép là khử bỏ bớt lượng ôxy quá nhiều trong thép dùng một chất (nguyên tố) có ái lực hoá học mạnh với ôxy lớn hơn ái lực của Fe với ôxy để giảm thấp lượng ôxy hoà tan trong thép. Vì vậy điều kiện của các sản phẩm của các phản ứng khử ôxy là: không được hoà tan trong thép lỏng, tạo ôxýt hoặc các hợp chất nhẹ hơn thép lỏng và có thể nổi trên dễ dàng lên bề mặt xỉ. Từ điều kiện như vậy trong thực tế sản xuất hiện nay thường có các phương pháp khử ôxy sau:

Khử lắng.

Khử khuếch tán.

Khử chân không.

*+ Phương pháp khử lắng*

Quá trình tiến hành được chia làm 2 giai đoạn:

Nguyên tố khử ôxy hoà tan trong thép lỏng tạo ra những ôxít không hoà tan trong thép lỏng. Sau đó khử những ôxit sinh ra trong thép.

Sự khử ôxy của một nguyên tố thường dùng:

- Sự khử ôxy của Mn

Mn là thuốc thử được dùng lớn nhất, Mn có khả năng khử oxy khá yếu

Phản ứng khử ôxy của Mn:

$$[Mn] + (FeO) \rightarrow (MnO) + [Fe]$$

- Đặc điểm khử Oxy của Mn:

Khả năng khử Oxy của Mn thay đổi theo nhiệt độ. Nhiệt độ càng cao khả năng khử oxy càng yếu.

Trong phương pháp luyện thép tạo xỉ bazơ, Mn có khả năng khử yếu hơn trong phương pháp tạo xỉ axit.

Sản phẩm (MnO) có thể kết hợp với các oxit khác thành những hợp chất có dung điểm thấp có lợi cho việc khử bỏ chúng ra khỏi thép. Khi Mn tồn tại đồng thời với các nguyên tố khử oxy khác, nó có thể làm tăng khả năng khử oxy của các nguyên tố đó.

Thuốc khử oxy là Mn thường được dùng ở dạng FeMn có hàm lượng Mn khác nhau.

- Sự khử oxy của Si:

Phản ứng khử Oxy của Si:

$$[Si] + 2[O] \rightarrow SiO_{2r}$$

$$LgkSi = -\frac{32100}{T} + 12,32$$

Si là nguyên tố có khả năng khử oxy tương đối mạnh. Ở nhiệt độ càng thấp, khả năng khử oxy của Si càng cao, khả năng khử Oxy của Si trong xỉ bazơ khá mạnh. Sản vật khử oxy của Si là $SiO_2$ khó hoà tan, khó loại trừ ra khỏi thép lỏng.

Thuốc khử oxy là Si thường được dùng dưới dạng FeSi có hàm lượng Si khác nhau, hoặc là các Silico.

- Sự khử oxy của Al:

Al là nguyên tố khử ôxy rất mạnh. Để đạt được mục đích khử oxy hoàn toàn, phải dùng nhôm để khử.

Phản ứng khử Oxy của Al:

$$2[Al] + 3[O] \rightarrow Al_2O_{3r}$$

Quá trình hình thành và điều kiện khử sản phẩm của phản ứng khử oxy: Nhiệm vụ khử oxy không chỉ khử bỏ oxy hoà tan trong thép mà còn phải khử bỏ tạp chất ôxit, sản phẩm khử oxy ra khỏi thép lỏng.

Điều kiện thuận lợi để tạp chất dễ nổi lên trong thép lỏng: Kích thước hạt cùng lớn tạp chất cùng dễ nổi lên trên tỉ trọng cùng nhỏ tạp chất cùng dễ nổi lên trên.

Xỉ phải loãng.

Tần số và cường độ va chạm giữa các hạt càng mạnh càng tốt.

Tìm cách hạ thấp dung điểm của các tạp chất ôxit bằng cách dùng nhiều thuốc thử khác nhau, kết hợp cả thuốc khử tính axit và thuốc khử tính bazơ.

+ Phương pháp khử oxy khuếch tán:

Căn cứ vào định luật phân phối, FeO trong thép và xỉ có một tỉ lệ nhất định:

$$L_{FeO} = [FeO]/(FeO)$$

Nên ta giảm thấp lượng (FeO). Vì $L_{FeO}$ = hằng số nên [FeO] cũng giảm theo. Vì (FeO) được giảm bằng phương pháp khuếch tán nên gọi phương pháp khử ôxy nay là phương pháp khử ôxy khuếch tán.

Tiến hành: cào bỏ xỉ cũ, tạo xỉ mới, sau đó cho hỗn hợp khử oxy dạng bột lên mặt xỉ lỏng. Thành phần của chất hỗn hợp thường dùng là vật liệu có chứa C như: than cốc, than gỗ hoặc graphit. Điều kiện tất yếu của phương pháp khử ôxy khuếch tán là phải hết sức khống chế cho môi trường khí trong lò là môi trường hoàn nguyên để các thành phần trong hỗn hợp không bị cháy tổn nhiều.

Ưu điểm của phương pháp này là có thể thu được thép chứa tạp chất phi kim loại thấp vì quá trình khử ôxy tiến hành trên bề mặt xỉ, sản vật khử oxy còn lại trong thép tự nhiên giảm bớt.

Khuyết điểm của phương pháp này là thời gian khử oxy quá dài, năng suất của thiết bị thấp. Để loại bỏ khuyết điểm này, có thể dùng phương pháp khử oxy bằng xỉ tổng hợp. Phương pháp này tiến hành như sau:

Tạo trước một loại xỉ chứa FeO thấp trong một thiết bị khác, chứa vào một thùng rót thép, sau đó đổ thép lỏng chưa khử oxy vào thùng rót thép với tốc độ cao, làm cho xỉ và thép khuấy trộn mãnh liệt. Lợi dụng sự tăng bề mặt tiếp xúc giữa xỉ và kim loại để tăng tốc độ quá trình khử ôxy.

+ Phương pháp khử oxy chân không:

Muốn cải thiện một cách căn bản chất lượng thép thì phải dùng phương pháp khử ôxy chân không. Vì các phương pháp khử ôxy khác hầu như không có khả năng hoàn toàn khử tạp chất ra khỏi thép. Mặc dù trong quá trình nấu luyện sản vật khử ôxy có thể được khử bỏ hoàn toàn khỏi kim loại lỏng nhưng việc sinh ra những ôxit mới vẫn không thể tránh được. Đó là vì phản ứng khử ôxy thuộc loại phản ứng phát nhiệt cho nên trong quá trình rót thép và đúc, cân bằng vẫn di chuyển về phía hình thành sản vật của phản ứng.

Phương pháp khử ôxy chân không dùng cácbon làm thuốc khử ôxy

$$[C] + [O]_x \rightarrow CO_x(\text{khí})$$

$$K = \frac{P_{CO_x}}{\left[\%C\right].\left[\%O\right]^x}$$

Ở mỗi nhiệt độ, K có giá trị nhất định. Khi giảm $P_{COx}$ thì tích $[\%C].[\%O]^x$ cũng giảm. Vì vậy việc ứng dụng chân không trở thành một thủ đoạn để nâng cao khả năng khử ôxy của cácbon.

Việc xử lý thép lỏng trong chân không được sử dụng rộng rãi trong các nước công nghiệp phát triển. Sử dụng chân không xử lý thép lỏng sẽ được thỏi thép có thành phần vô cùng đồng đều, cấu tạo mịn chắc. Đây là một hướng kỹ thuật mới nâng cao chất lượng thép.

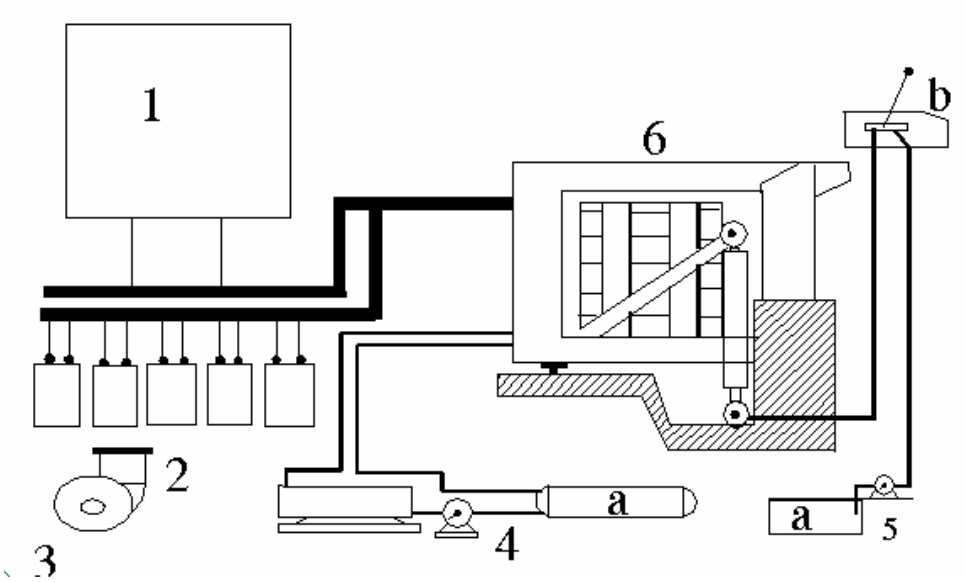
3.3. Công nghệ nấu luyện

***II.1. Lò nấu***

*a) Nguyên lý hoạt động*

Sử dụng lò điện cảm ứng trung tần 1-1,5 tấn. Lò cảm ứng làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ. Khi đặt một khối kim loại vào trong một từ trường biến thiên thì trong khối kim loại sẽ xuất hiện (cảm ứng) các dòng điện xoáy (dòng Fuco). Nhiệt năng của dòng điện xoáy sẽ đốt nóng kim loại.

*b) Cấu tạo lò*



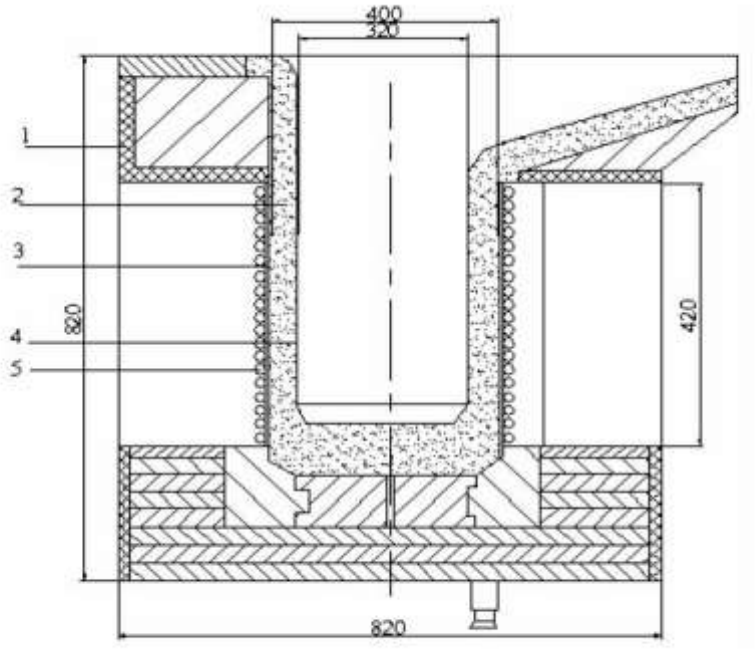

Hình 5. 41: **Sơ đồ tổng thể lò trung tần**

*1- Tủ điện; 2- Bộ tụ; 3 - Quạt mát; 4 - Hệ thống nước làm nguội; 4a-Thiết bị trao đổi nhiệt; 4.b - thùng chứa nước làm nguội; 5- Hệ thống thuỷ lực nghiêng lò; 5.a- thùng chứa dầu; 5.b - Cần điều khiển; 6- lò*

Lò cảm ứng trung tần có cấu tạo gồm: hai nồi lò, cơ cấu nghiêng lò, hệ thống nước làm nguội, tủ điện... tất cả các thiết bị của lò được đặt trên sàn thao tác.

Tủ điện của lò được bố trí ở trong cùng gần với nguồn điện vào. Tủ điện được bố trí cao, thoáng mát, tránh ẩm ướt. Hệ thống nước làm nguội và hệ thống thuỷ lực được bố trí ở hai bên tủ điện và có khoảng cách an toàn với tủ. Hai nồi lò được đặt phía ngoài cùng và cách xa các thiết bị như tụ điện, hệ thống thuỷ lực, hệ thống nước làm nguội đề phòng những sự cố khi nấu luyện, ra thép nước thép có thể bắn toé rơi vào các thiết bị làm hỏng chúng. Quanh hai nồi lò phải có khoảng trống tạo điều kiện thuận lợi cho người thao tác. Đặc biệt phải có chỗ thoát hiểm cho người thao tác khi xảy ra sự cố. Sàn đúc được bố trí thấp hơn sàn thao tác với khoảng cách vừa đủ để thuận lợi cho việc rót thép.

***Cấu tạo nồi lò***



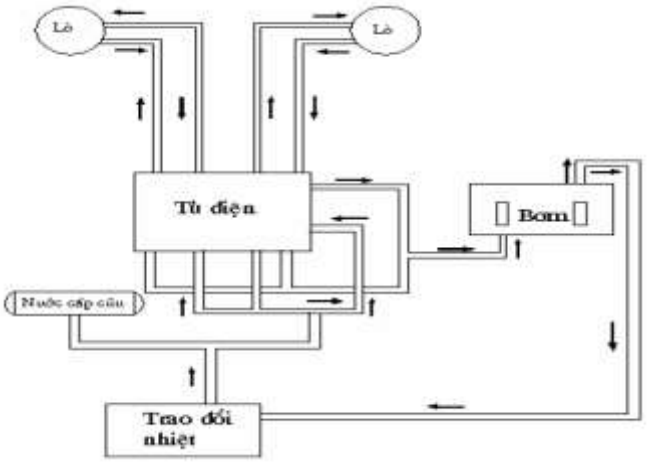

*Hình 5. 42: Cấu tạo nội hình lò*
*1-Vỏ lò: 2- áo lò; 3- lớp Amiăng; 4-Vòng cảm ứng; 5- Dưỡng lò*

Nồi lò gồm 3 lớp cơ bản:

Trong cùng là lớp chịu lửa, tiếp theo là lớp cách nhiệt, ngoài cùng là lớp cách điện tiếp giáp với vòng cảm ứng. Vật liệu làm tường lò tuỳ theo từng mác thép và tuỳ theo công nghệ nấu luyện. Độ dày của tường lò mỏng hơn đáy lò vì đáy lò còn chịu trọng lượng của kim loại. Vòng cảm ứng làm bằng ống đồng có nước làm nguội. Khung lò có chức năng cố định vòng cảm ứng với nồi lò và để lắp đặt các hệ thống nghiêng lò ...Vật liệu làm khung phải là vật liệu phi từ. Khung lò gồm có khung ngoài và khung trong: khung ngoài để đỡ lò, thiết bị nghiêng lò. Khung ngoài được cố định vào sàn thao tác. Khung trong có tác dụng chứa toàn bộ lò. Yêu cầu của khung trong phải chắc chắn, phi từ, không khép kín mạch điện. Khung trong được nối với khung ngoài bằng hai gối trục qua.

Hệ thống nghiêng lò: hệ thống nghiêng lò bằng thuỷ lực gồm thùng chứa dầu, bơm thuỷ lực các van điều chỉnh, hệ thống xi lanh, pít tông, máy lọc dầu, đồng hồ đo...Giả sử muốn nghiêng lò rót thép ta mở cho bơm chạy. Do lực hút bơm, dầu từ bể chứa qua máy lọc, qua van đến bơm. Từ bơm, dầu được đẩy đi qua ống dẫn đến xi lanh đẩy pít tông lên, lúc này cần điều chỉnh áp suất, đầu tay xi lanh tức là điều chỉnh độ nghiêng của lò, tốc độ nghiêng của lò. Muốn hạ lò ta dùng cần điều chỉnh sao cho áp suất đầu tay xi lanh nhỏ hơn lực của lò đè lên pít tông lập tức lò được hạ xuống. Với hệ thống thuỷ lực ta cần kiểm tra, bảo dưỡng định kỳ dầu tuyệt đối không được sử dụng dầu cũ, phải thay dầu khi dầu bẩn.

Hệ thống nước làm nguội bao gồm: bơm nước, ống dẫn, máy lọc... Để hệ thống nước hoạt động ta mở bơm nước, nước từ nguồn qua máy lọc, qua bơm, qua van điều chỉnh một phần qua cuộn cảm ứng, một phần đi vào tủ điện, các bảng mạch điện tử, tụ bù, tiếp điểm...Nhiệt độ nước vào làm nguội không quá $35^0$C và nước ra khi đã làm nguội các bộ phận không quá $50^0$C. Hệ thống nước làm nguội phải có bể dự trữ để cấp cứu khi hệ thống làm nguội có sự cố.




*Hình 5. 43: Sơ đồ hệ thống nước làm mát lò*

***II.2. Giai đoạn chuẩn bị***

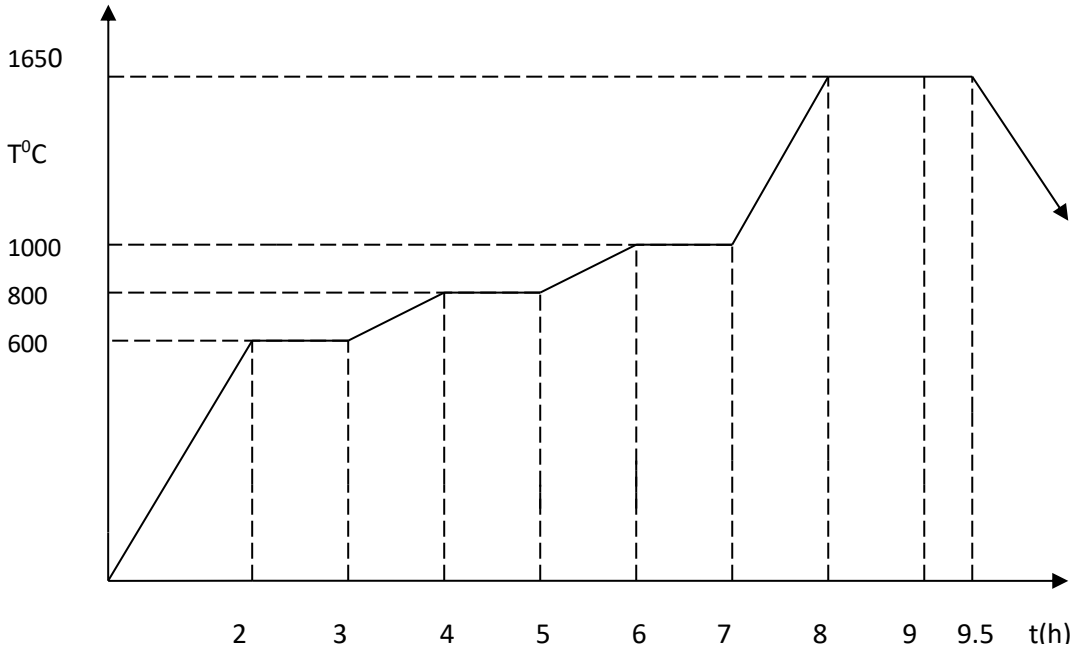
Quy trình nấu thép trong lò điện cảm ứng trung tần phải trải qua những giai đoạn sau:

*a) Chuẩn bị lò nấu*

Kiểm tra nội hình lò đảm bảo.

Vá lại lò nếu mẻ nấu bắt đầu khi lò nguội theo tiêu chuẩn công ty

Vá sửa nồi rót, sấy nóng 700 - $800^0$C




Hình 5. *44: Sơ đồ thiêu kết lò*

*b) Chuẩn bị nguyên liệu*

*Yêu cầu kỹ thuật:*

Yêu cầu kỹ thuật các vật liệu: thép vụn, fero, chất tăng cacbon, vật liệu tạo xỉ, chất oxi hoá theo tiêu chuẩn.

Với thép vụn tổng các tạp không khử được không vượt quá thành phần quy định của các mác thép (có tính đến tạp đưa vào từ fero), %P, S < 0,04%

*Tính phối liệu:*

Căn cứ thành phần yêu cầu và tỉ lệ cháy hao hợp kim khi nấu

Với thép hợp kim thấp %C tính giới hạn dưới mác thép

Với gang %C tính giới hạn trên của mác

Với Ni, Mo, Cu tính giới hạn dưới hoặc giữa mác thép. % Ti tính giới hạn trên mác thép.

Với Mn, Cr tính giới hạn giữa mác thép.

*Bảng 5. 14: Hiệu suất thu hồi các nguyên tố hợp kim khi nấu trong lò điện cảm ứng bazơ theo phương pháp không oxi hoá*

| Nguyên tố | Thời điểm hợp kim | Dạng vật liệu | Hiệu suất (%) |
|---|---|---|---|
| C | Nạp liệu | Vụn điện cực | 95 |
| C | " | Than cốc | 70 |
| Mn | " | Phế thép chứa Mn | 40 (85*) |
| Si | " | Phế thép chứa Si | 10 - 20 |
| Ni | " | Ni kim loại | 100 |
| Mo | " | FeMo | 100 |
| Cr | " | FeCr | 80 - 90 |
| Ti | " | Phế thép chứa Ti | 5 - 10 |
| V | " | Phế thép chứa V | 10 - 20 |

| Nguyên tố | Thời điểm hợp kim | Dạng vật liệu | Hiệu suất (%) |
|---|---|---|---|
| C | Hoàn nguyên | Than cốc | 80 |
| C | " | Điện cực vụn | 95 |
| Mn | Đầu thời kỳ hoàn nguyên | FeMn | 80 – 90 |
| Mn | Cuối thời kỳ hoàn nguyên | FeMn | 95 |
| Si | Đầu thời kỳ hoàn nguyên | FeSi | 60 |
| Si | Cuối thời kỳ hoàn nguyên | FeSi | 90 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Cr | Đầu thời kỳ hoàn nguyên | FeCr | 95 |
| Ti | Trước khi ra thép 3 phút | FeTi | 80 - 90 |
| V | Cuối thời kỳ hoàn nguyên | FeV | 90 |

Tính toán phối liệu:

Có 2 phương án:

Mẻ liệu gồm thép phế C, gang luyện thép.

Mẻ liệu có hồi liệu thép Mn thấp, thép vụn và gang thỏi.

***Cơ sở tính toán phối liệu***

Thành phần nguyên liệu giả định dùng thống nhất cho phép tính được nêu ở Bảng 5.15; không sử dụng hồi liệu.

*Bảng 5. 15: Thành phần phối liệu kim loại chính, %*

| **Nguyên liệu** | **C** | **Mn** | **Si** | **Cr** | **Mo** | **Ni** | **Al** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thép vụn CT3 | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Gang xám | 3,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMn C thấp | 1,00 | 70,00 | 0,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeCr C thấp | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeSi75 | 0,00 | 0,00 | 75,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| FeMo60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ni kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,90 | 0,00 |
| Al kim loại | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 99,70 |

Tính phối liệu theo thành phần mẫu nền M0 ở Bảng 5.11: C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Thành phần đích của thép Mn thấp dùng để tính phối liệu (mẫu nền M0): C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Cơ sở tính giả định: giữ các giá trị đã nêu cho CT3 (0,20% C; 0,02% Cr), gang xám (3% C), FeMn (1% C; 0,6% Si; 70% Mn) và FeCr (1% C; 60% Cr). Bổ sung giả thiết FeSi75 chứa 75% Si, FeMo60 chứa 60% Mo, Ni kim loại chứa 99,9% Ni và Al kim loại chứa 99,7% Al. Các ô 0 là giả thiết bỏ qua đóng góp, không phải kết quả phân tích; phần còn lại quy ước là Fe.

Hiệu suất thu hồi giả định: C 85%; Mn 90%; Si 90%; Cr 95%; Mo 100%; Ni 100%; Al 50%. C, Mn, Cr kế thừa tỷ lệ cháy hao đã chọn trong báo cáo; Si lấy theo trường hợp FeSi bổ sung cuối kỳ hoàn nguyên; Mo, Ni theo bảng hiệu suất của báo cáo. Al 50% là giả thiết tính thử cần xác nhận. Giả thiết Fe thu hồi 100%, chưa xét tổn thất cơ học và kim loại cuốn theo xỉ.

Quy ước M = 100 kg là khối lượng thép lỏng sau cháy hao, không phải tổng lượng nạp và không phải khối lượng vật đúc sau cắt hệ thống rót. Khối lượng từng nguyên liệu $m_j$ tính bằng kg; $a_{ij}$ là phần khối lượng nguyên tố i trong nguyên liệu j; $c_i$ là phần khối lượng đích; $\eta_i$ là hiệu suất thu hồi.

Cân bằng đồng thời từng nguyên tố: $\eta_i \times \Sigma(a_{ij} \times m_j) = M \times c_i$. Cân bằng khối lượng thép lỏng: $\Sigma m_j - \Sigma_i[(1 - \eta_i) \times \Sigma_j(a_{ij} \times m_j)] = M$. Các hàm lượng trong phương trình dùng dạng phần khối lượng (ví dụ 0,255% = 0,00255).

Đặt t, g, f, r, s, u, n, a lần lượt là khối lượng CT3, gang xám, FeMn, FeCr, FeSi75, FeMo60, Ni và Al. Hệ phương trình gồm:

C: 0,85 × (0,002t + 0,03g + 0,01f + 0,01r) = 0,00255M.

Mn: 0,90 × 0,70f = 0,00887M; Si: 0,90 × (0,006f + 0,75s) = 0,01631M.

Cr: 0,95 × (0,0002t + 0,60r) = 0,01676M; Mo: 0,60u = 0,00251M.

Ni: 0,999n = 0,00040M; Al: 0,50 × 0,997a = 0,00053M.

Khối lượng: 0,99969t + 0,9955g + 0,9279f + 0,9685r + 0,925s + u + n + 0,5015a = M.

Giải hệ cho M = 100 kg thu được lượng nạp dự kiến như sau (kg):

| Nguyên liệu | Khối lượng nạp, kg |
|---|---|
| Thép vụn CT3 | 90,661663 |
| Gang xám | 2,516534 |
| FeMn C thấp | 1,407937 |
| FeCr C thấp | 2,910130 |

| Nguyên liệu | Khối lượng nạp, kg |
|---|---|
| FeSi75 | 2,405033 |
| FeMo60 | 0,418333 |
| Ni kim loại | 0,040040 |
| Al kim loại | 0,106319 |
| Tổng lượng nạp | 100,465988 |

Kiểm tra khối lượng: 100,465988 − 0,465988 = 100,000000 kg thép lỏng. Phần hao hụt trên chỉ gồm cháy hao các nguyên tố theo giả thiết.

Kiểm tra thành phần sau thu hồi: C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng).

Đây là phối liệu tính toán theo giả thiết, chưa phải định mức nạp đã được xác nhận thực nghiệm. Trước mỗi mẻ phải thay các giả thiết bằng chứng chỉ/kết quả phân tích nguyên liệu và hiệu suất thu hồi thực tế, tính lại đồng thời cả hệ, cân theo độ chính xác thiết bị và kiểm tra quang phổ để hiệu chỉnh. Al nạp bao gồm phần bị oxy hóa và phần còn lại trong thép; không cộng thêm tùy ý lượng Al khử oxy ngoài cân bằng này.

Quy đổi cho 1.000 kg thép lỏng sau cháy hao (kg): Thép vụn CT3 906,6166; Gang xám 25,1653; FeMn C thấp 14,0794; FeCr C thấp 29,1013; FeSi75 24,0503; FeMo60 4,1833; Ni kim loại 0,4004; Al kim loại 1,0632. Tổng lượng nạp 1004,6599 kg. Cần kiểm tra dung tích và khối lượng nạp cho phép của lò; đây là quy đổi tính toán, không mặc định cho phép nạp vượt công suất lò.

### *II.4. Quy trình nấu trong lò điện cảm ứng*

Quy trình nấu trong lò điện cảm ứng được chia ra làm nhiều thời kỳ :

Nạp liệu

Nấu chảy

Oxi hóa và tinh luyện

*a) Quá trình nạp liệu*

Nạp liệu:

Nạp lót khoảng 50 kg thép vụn loại nhỏ nhằm bảo vệ đáy lò.

Nạp chất tăng C (nạp vảy rèn và đá vôi nếu cần oxi hoá Si, khử P)

Nạp fero, liệu thép vụn, Ni, FeMo…

Xếp các cục liệu to sát tường lò, chèn liệu nhỏ cho đầy lò, các liệu nhỏ tập trung ở giữa và phía trên.

Chiều cao xếp liệu ở mức 2/3 chiều cao của lò

*b) Quá trình nấu luyện*

Nấu chảy:

Khi lò nguội đóng điện 50% công suất sấy lò khoảng 20 - 30 phút

Nâng công suất cao cho chảy liệu

Tiến hành bổ sung dần liệu vào lò, ấn liệu xuống, thường xuyên cho thép lỏng dâng lên và liệu đi xuống.

Trong quá trình nấu luyện thì các lớp liệu phía trên chảy rất chậm vì vậy thường hay xuất hiện hiện tượng treo liệu. Để khắc phục cần chú ý thường xuyên đẩy liệu chưa chảy xuống phía dưới vùng kim loại lỏng.

Khi cục liệu cuối cùng chìm vào kim loại lỏng thì tiến hành tạo xỉ che phủ bề mặt để kim loại lỏng không bị hút khí và đỡ tốn nhiệt. Nếu nấu trong lò axit thì dùng vật liệu tạo xỉ là vụn thủy tinh, còn nấu trong lò bazo dùng hỗn hợp 60% vôi +20% cát mannhehit + 20% huỳnh thạch, lượng xỉ dùng trên dưới 3% trọng lượng kim loại lỏng.

Tuy nhiên khi cho chất tạo xỉ vào thì những chất này rất khó nóng chảy, đồng thời lớp kim loại lỏng tiếp xúc với lớp này nhiệt độ cũng không cao do đó dễ bám vào tường lò gây hỏng và bào mòn nhanh tường lò, vì vậy cần nung nóng xỉ. Có 2 cách nung nóng xỉ:

Dùng nắp đậy graphit để dòng cảm ứng nung nóng xỉ

Dùng 2 điện cực graphit nhúng vào xỉ để nung nóng xỉ

Khi liệu chảy hoàn toàn ở mức lò 80 - 90% trọng lượng mẻ nấu tiến hành vớt sạch xỉ, dùng que thép khuấy đều lò và lấy mẫu phân tích thành phần.

*c) Oxi hóa*

Thông thường chỉ áp dụng khi cần oxi hoá Si, P. Nếu thành phần mẻ liệu đạt giới hạn mác thép thì bỏ qua giai đoạn này.

Căn cứ thành phần mẫu phân tích tiến hành oxi hoá

Nâng nhiệt lên 1550 -1600$^{o}$C

Định kỳ 7 - 10 phút vớt sạch xỉ, nạp mỗi lần (0,7 - 1%) vảy rèn và (0,7 - 1%) đá vôi tính theo trọng lượng mẻ nấu.

Lấy mẫu kiểm tra thành phần lần 2. Nếu thành phần C, Mn, Si ≤ mác thép (có tính đến lượng đưa vào khi hoàn nguyên) thì dừng oxi hoá chuyển sang giai đoạn hoàn nguyên.

*d) Hoàn nguyên*

Vớt sạch xỉ tạo xỉ mới.

Dùng bột than cốc khô rắc mỏng trên bề mặt.

Căn cứ mẫu phân tích hợp kim hoá các loại fero cho đủ yêu cầu mác thép. Thành phần mác thép điều chỉnh < giới hạn dưới mác thép ~ 0,2%

Nâng nhiệt đạt nhiệt độ yêu cầu của công nghệ đúc

$T^0_{\text{ra thép}} = T^0_{\text{rót}} + \Delta T_{\text{nồi rót}}$

Khử oxi trực tiếp bằng FeSi, tính toán đưa vào lượng 0,2 - 0,3% Si

Khử oxi lần cuối bằng Al (0,7- 0,8 kg/tấn) nhúng vào kim loại lỏng

Nếu mẻ nấu có hợp kim hoá bằng Ti thì khử oxi sơ bộ sau đó hợp kim hóa bằng FeTi.

*e) Ra thép*

Cho Al thường dùng 0,5 kg/ tấn vào nồi rót sau đó ra thép.

Lấy mẫu kiểm soát thành phần.

Khi ra lò lượng nhiệt mất đi ta tham khảo bảng giá trị sau:

*Bảng 5. 16: Lượng mất nhiệt độ trung bình ở nồi rót 1-2 tấn khi ra thép.*

| Nhóm mác thép | T$^o$ thép lỏng khi ra lò, $^0$C | Lượng mất nhiệt ở nồi rót ΔT,$^0$C | |
|---|---|---|---|
| | | Nồi 1 tấn | Nồi 2 tấn |
| Thép cacbon, kết cấu hợp kim | 1630 - 1700 | 100 - 120 | 60 - 80 |
| Thép Cr cacbon cao | 1530 - 1650 | 80 - 100 | 50 - 70 |
| Thép không gỉ, chịu nhiệt | 1650 - 1720 | 110 - 130 | 70 - 90 |
| Thép Mn thấp | 1550 - 1650 | 80 - 100 | 50 - 70 |
| Gang | 1420 - 1480 | 70 - 100 | 50 - 70 |

***II.5. Ra lò và rót***

Kim loại lỏng sau khi được nâng nhiệt lên nhiệt độ cao đạt nhiệt độ ra lò, tiến hành tắt nguồn điện lò và đưa gầu rót vào để rót. Trước đó phải tiến hành quá trình sấy gầu rót thật kỹ, đưa nhiệt độ bên trong gầu rót lên xấp xỉ nhiệt độ của kim loại lỏng tránh hiện tượng sôi kim loại lỏng khi đưa sang gầu rót. Gầu rót được cần trục đưa đến các khu vực làm khuôn và rót, khi rót tốc độ dòng chảy không được cao quá hoặc thấp quá. Bởi tốc độ dòng chảy ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng vật đúc, khi dòng chảy kim loại cao đi vào khuôn tạo lực mạnh tác dụng lên thành khuôn gây vỡ khuôn, bong cát tại những nơi khuôn có độ bền kém hoặc những nơi thành mỏng, đồng thời kim loại đi vào khuôn chưa kịp điền đầy bên trong khuôn thì đã đầy bát rót hoặc điền đầy khuôn nhưng do tốc độ nguội lớn nên gây ra lõm co và ngót co. Khi tốc độ dòng chảy thấp kim loại chưa kịp điền đầy khuôn thì đã có phần nguội trước. Vì vậy mà khi rót tốc độ dòng chảy đảm bảo là dòng chảy tầng, đảm bảo được các yếu tố trên.

**5.2.5. Tiến hành đúc, nấu luyện sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp**

1. Công nghệ nấu luyện

Thiết bị lò nấu: Quá trình nấu luyện được thực hiện trong lò điện cảm ứng trung tần có dung tích 1-1,5 tấn, hoạt động dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ.

Giai đoạn chuẩn bị: Lò nấu phải được kiểm tra nội hình, vá sửa cẩn thận và gầu rót (nồi rót) cần được sấy nóng từ 700 - 800°C trước khi nấu.

Nạp liệu: Nạp lót đáy lò bằng khoảng 50 kg thép vụn loại nhỏ nhằm bảo vệ đáy, sau đó nạp chất tăng cacbon, fero, niken, FeMo, và các khối thép vụn vào lò.

Nấu chảy: Khởi động lò để liệu tan chảy dần và khi kim loại lỏng ngập liệu thì phải tiến hành tạo lớp xỉ che phủ bề mặt để chống hút khí và tránh mất nhiệt.

Tinh luyện (Oxi hóa và Hoàn nguyên): Tùy chỉnh thành phần mẻ nấu, loại bỏ xỉ cũ, tạo xỉ mới, và bổ sung bột than cốc. Quá trình khử oxy được thực hiện trực tiếp bằng FeSi và khử oxy lần cuối bằng Nhôm (Al) nhúng vào kim loại lỏng.

Ra thép: Kim loại lỏng được nâng lên nhiệt độ ra lò, bổ sung Al vào nồi rót, lấy mẫu kiểm soát thành phần và chuyển sang quá trình rót vào khuôn.

2. Công nghệ đúc và rót khuôn

Chuẩn bị khuôn và ruột: Khuôn và ruột đúc được chế tạo bằng công nghệ cát thạch anh trộn với nước thủy tinh lỏng, sau đó đóng rắn bằng cách thổi khí CO2.

Nhiệt độ rót: Nhiệt độ kim loại lỏng khi rót vào khuôn được duy trì nghiêm ngặt trong khoảng 1480 – 1490°C.

Kỹ thuật rót: Dòng chảy của thép lỏng phải hướng đúng vào ống rót, chảy êm (dòng chảy tầng) và liên tục. Lượng thép lỏng trong phễu rót phải luôn luôn đầy để ngăn xỉ xâm nhập vào bên trong vật đúc.

Xử lý trong khi rót: Khi đang rót thép, người thợ sẽ cho thêm một ít vảy rèn vào khuôn để tránh hiện tượng nước thép bị đông đặc sớm, làm giảm khả năng điền đầy và sinh ra khuyết tật.

Dỡ và làm sạch vật đúc: Sau khi rót xong khoảng từ 10 giờ trở lên để vật đúc đông nguội hoàn toàn, người ta sẽ sử dụng máy cẩu để phá khuôn và nhấc toàn bộ chi tiết ra ngoài. Hệ thống đậu ngót sẽ được cắt bỏ bằng máy hàn hơi và vật đúc được làm sạch sơ bộ trước khi chuyển sang phân xưởng nhiệt luyện Công Nghệ Làm Khuôn Và Lõi Cát

Quá trình đúc sử dụng công nghệ khuôn cát nước thủy tinh đóng rắn bằng khí CO2. Vật liệu chủ yếu gồm cát thạch anh (hàm lượng SiO2 ~ 99.3 - 99.79%) và nước thủy tinh.

1.1. Chuẩn bị hỗn hợp

**Tỷ lệ phối trộn:** Cát thạch anh mới (92%) trộn cùng Thủy tinh lỏng (8%).

**Lớp cát:** Sử dụng cát áo (cát mới 100%, chiếm 10-15% khối lượng) phủ sát mẫu để đảm bảo chất lượng bề mặt; phần còn lại dùng cát đệm (cát tái sinh) để tiết kiệm chi phí.

1.2. Các bước làm khuôn và lõi

**Định hình:** Đắp lớp cát áo bọc quanh mẫu, sau đó điền đầy cát đệm và đầm chặt vừa phải để đảm bảo độ thông khí.

**Xì khí CO2:** Dùi lỗ và xì khí CO2 trong khoảng 10 – 12 giây để đóng rắn khuôn nhờ phản ứng hóa học của nước thủy tinh.

**Sơn khuôn:** Phủ lớp sơn (thành phần gồm Manhezit, cồn trắng, nhựa thông) để ngăn kim loại dính vào khuôn và tránh cháy cát.

**Sấy và lắp ráp:** Sấy khuôn trong 25-30 phút. Ghép hai nửa khuôn và định vị chắc chắn, sau đó làm hệ thống rót và đậu ngót.

2. Thiết Kế Hệ Thống Rót Và Đậu Ngót

Việc thiết kế hệ thống cấp kim loại lỏng được tính toán cẩn thận để đảm bảo kim loại chảy êm, điền đầy khuôn và bù ngót hiệu quả.

**Đậu ngót:** Đặt ở phần dày nhất của vật đúc (đảm bảo nguội sau cùng). Kích thước đậu ngót được tính toán để hệ số tiêu hao kim loại nằm ở mức ~50%, đảm bảo cấp đủ kim loại bù co ngót.

**Hệ thống rót:** Sử dụng phương pháp rót bên hông, đưa kim loại vào nửa chiều cao của vật đúc để dòng chảy êm, tránh xói lở khuôn.

**Thời gian rót:** Được tính toán khoảng 11.7 - 13 giây cho một mẻ đúc có khối lượng cả hệ thống rót ngót khoảng 17.5 kg.

3. Quy Trình Nấu Luyện

Sử dụng **lò điện cảm ứng trung tần** với nồi lò 3 lớp (lớp chịu lửa, cách nhiệt, và vòng cảm ứng làm mát bằng nước). Nấu luyện mẻ có khối lượng trung bình 5kg (mẻ thí nghiệm) đến 250kg (mẻ đúc thực tế công nghiệp).

3.1. Phối liệu

Nguyên liệu tính cho thép Mn thấp mẫu nền M0 gồm CT3, gang xám, FeMn C thấp, FeCr C thấp, FeSi75, FeMo60, Ni và Al kim loại. Thành phần đích: C = 0,255%; Mn = 0,887%; Si = 1,631%; Cr = 1,676%; Mo = 0,251%; Ni = 0,040%; Al = 0,053% (theo khối lượng). Với các mẫu biến tính M1, M2 phải tính lại theo thành phần tương ứng. Các hiệu suất sau là giả thiết tính toán cần xác nhận:

| Nguyên tố | Cháy hao giả định, % |
|---|---|
| C | 15 |
| Mn | 10 |
| Si | 10 |
| Cr | 5 |
| Mo | 0 |
| Ni | 0 |
| Al | 50 |

3.2. Các thời kỳ nấu luyện

**Nạp liệu và Nấu chảy:** Nạp thép vụn và gang xám trước. Đóng điện sấy lò, sau đó nâng công suất. Các loại Fero được nung nóng và bổ sung sau khi thép và gang đã chảy lỏng.

**Khử xỉ:** Vớt xỉ trước và sau khi nạp Fero để loại bỏ tạp chất.

**Tinh luyện và khử khí:** Bổ sung các nguyên tố hợp kim (Ni, Mo, Ti) và sử dụng Nhôm (Al) hoặc tổ hợp (Mn-Si-Al) để khử oxy triệt để.

4. Công Nghệ Đúc Rót Và Làm Sạch

**Rót khuôn:** Tiến hành rót ở nhiệt độ **1480 – 1490°C**. Điều chỉnh dòng rót liên tục, giữ phễu rót luôn đầy để ngăn xỉ xâm nhập. Cho thêm vảy rèn vào cuối quá trình để tránh kim loại đông đặc sớm ở đậu ngót.

**Dỡ khuôn:** Sau khi rót khoảng ≥ 10 giờ, vật đúc nguội hẳn mới tiến hành phá khuôn bằng máy cẩu và búa chuyên dụng.

**Làm sạch:** Dùng máy hàn hơi cắt bỏ đậu ngót và hệ thống rót (lưu ý cắt nghiêng để tránh om nhiệt gây nứt). Kiểm tra khuyết tật sơ bộ trước khi chuyển sang công đoạn nhiệt luyện.

5. Đánh Giá Kết Quả Chế Tạo

Phân tích tổ chức tế vi của các mẫu đúc thực tế để đánh giá hiệu quả của các chất biến tính:

**Mẫu M0 (Khử khí bằng 0.053% Al):** Cấu trúc hạt rất lớn (lớn hơn 1mm), vượt tiêu chuẩn ASTM. Tổ chức có sự xuất hiện của ferit biên hạt và ferit hòa tan các nguyên tố hợp kim bên trong hạt. Vật liệu sau đúc rất giòn, độ dai va đập thấp (Ak ~ 9J). Vẫn còn rỗ khí.

**Mẫu M1 (Biến tính bằng ~0.2% Al):** Nhôm có tác dụng khử khí, nhưng khi tăng hàm lượng, nó kích thích tiết ra quá nhiều Ferit Delta từ trạng thái lỏng. Kích thước hạt không giảm đáng kể và tổ chức không có lợi cho quá trình nhiệt luyện sau này.

**Mẫu M2 (Biến tính kết hợp Al và Ti):** Việc bổ sung Titan (>0.1%) cùng Nhôm (~0.19%) đã làm **nhỏ mịn tổ chức hạt tinh thể đáng kể** (đạt cấp hạt 3.45 theo chuẩn ASTM). Ferit tiết ra ở biên hạt ít và nhỏ hơn. Độ dai va đập tăng lên (13.3 - 13.6 J). Đây là phương án cho tổ chức cấu trúc tốt nhất, đáp ứng yêu cầu cơ tính của chi tiết làm việc trong môi trường chịu mài mòn.

### 5.2.6. Tiến hành xử lý nhiệt sản phẩm răng gầu

Quy trình xử lý nhiệt đối với thép hợp kim mangan thấp chế tạo răng gầu được xây dựng nhằm mục tiêu điều chỉnh tổ chức tế vi sau đúc, nâng cao độ cứng và khả năng chống mài mòn, đồng thời duy trì độ dai va đập phù hợp với điều kiện làm việc chịu tải và va đập của chi tiết. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu, quy trình nhiệt luyện được thực hiện theo trình tự **thường hóa – tôi – ram**. Việc kết hợp các công đoạn này cho phép từng bước cải thiện tổ chức kim loại và kiểm soát sự cân bằng giữa độ cứng và độ dai của vật liệu.

Trước hết, công đoạn **thường hóa ở 900°C trong 4 giờ** được sử dụng để cải thiện tổ chức sau đúc. Sau quá trình đúc, tổ chức thép có đặc điểm tương đối thô và không đồng nhất; vì vậy, thường hóa có tác dụng làm thay đổi tổ chức ban đầu và tạo điều kiện thuận lợi cho các công đoạn nhiệt luyện tiếp theo. Kết quả quan sát tổ chức tế vi cho thấy sau thường hóa, đặc biệt đối với mẫu có bổ sung Ti, xuất hiện các hạt nhỏ mịn hơn và biên giới hạt được thể hiện rõ hơn. Điều này cho thấy việc bổ sung Ti kết hợp với chế độ thường hóa có tác dụng tích cực đối với quá trình kiểm soát kích thước hạt và tổ chức của thép.

Sau thường hóa, chi tiết được **tôi ở 900°C trong 2 giờ và làm nguội nhanh bằng nước**. Đây là công đoạn quan trọng nhằm tạo tổ chức có độ cứng cao. Kết quả phân tích tổ chức tế vi cho thấy sau tôi, tổ chức của thép Mn thấp chủ yếu là **mactenxit**, phù hợp với mục tiêu nâng cao độ cứng và khả năng chống biến dạng của lớp vật liệu làm việc. Tuy nhiên, trạng thái sau tôi thường đi kèm với ứng suất dư và độ giòn tương đối cao, do đó cần thực hiện công đoạn ram để điều chỉnh lại cơ tính.

Công đoạn **ram ở 250°C trong 2 giờ**, sau đó làm nguội trong không khí, được thực hiện nhằm giảm ứng suất bên trong, giảm một phần độ cứng và đồng thời cải thiện độ dẻo, độ dai của thép. Kết quả nghiên cứu cho thấy sau ram, tổ chức có dạng tấm, được xác định có thể là mactenxit hoặc bainite, đồng thời xuất hiện các hạt cacbit nhỏ mịn phân bố trong nền. Sự hình thành tổ chức mịn và phân tán này có ý nghĩa quan trọng đối với việc tạo sự cân bằng giữa độ cứng và độ dai của vật liệu.

Hiệu quả của quy trình thể hiện rõ qua sự thay đổi độ cứng. Đối với mẫu có Ti, độ cứng trung bình giảm từ **47,3 HRC ở trạng thái đúc xuống 44,1 HRC sau ram**; trong khi mẫu không Ti giảm từ **43,9 HRC xuống 38,4 HRC**. Như vậy, mặc dù ram làm giảm độ cứng so với trạng thái ban đầu, mẫu có Ti vẫn duy trì được độ cứng tương đối cao, cho thấy vai trò tích cực của Ti trong việc ổn định và tăng cường tổ chức của thép. Đồng thời, quá trình ram giúp tăng độ dẻo, độ dai và khử bớt ứng suất bên trong, từ đó làm cho cơ tính của vật liệu phù hợp hơn với điều kiện làm việc của răng gầu.

Để xác định chế độ nhiệt luyện tối ưu, nghiên cứu đã khảo sát nhiệt độ tôi trong khoảng **880–920°C**, nhiệt độ ram **200–260°C** và thời gian ram **2–6 giờ**, với thời gian giữ khi tôi cố định ở 2 giờ. Kết quả phân tích quy hoạch thực nghiệm cho thấy nhiệt độ ram có ảnh hưởng lớn nhất đến độ cứng, tiếp theo là thời gian ram và nhiệt độ tôi; đồng thời tồn tại tương tác đáng kể giữa nhiệt độ tôi và nhiệt độ ram. Mô hình hồi quy độ cứng có hệ số xác định $\mathbf{R^2 = 97,73\%}$, cho thấy mô hình có khả năng mô tả tốt ảnh hưởng của các thông số nhiệt luyện đến độ cứng của thép. Đáng chú ý, kết quả tối ưu hóa cho thấy bộ thông số **nhiệt độ tôi 893°C, nhiệt độ ram 260°C và thời gian ram 2 giờ** cho độ cứng khoảng **43,7 HRC** và độ dai va đập khoảng **69,7** theo kết quả tối ưu hóa của nghiên cứu. Khi áp dụng chế độ nhiệt luyện thực nghiệm có Ti gồm thường hóa 900°C/4 giờ, tôi 900°C/2 giờ, làm nguội nhanh bằng nước và ram 250°C/2 giờ, độ dai va đập đạt **34,5 J/cm²**, là giá trị cao nhất trong các trạng thái được so sánh. Quá trình nhiệt luyện được thực hiện trong lò có hỗ trợ hút chân không nhằm hạn chế hiện tượng oxy hóa bề mặt. Như vậy, có thể đánh giá rằng quy trình **thường hóa → tôi → ram** là phù hợp với yêu cầu chế tạo răng gầu từ thép hợp kim mangan thấp. Thường hóa có vai trò tinh luyện và đồng nhất hóa tổ chức sau đúc; tôi tạo tổ chức có độ cứng cao; còn ram giúp giảm ứng suất và điều chỉnh lại độ dẻo, độ dai mà vẫn duy trì độ cứng cần thiết. Đặc biệt, sự xuất hiện của tổ chức mactenxit ram/bainite mịn kết hợp với các hạt cacbit phân tán góp phần tạo ra sự cân bằng giữa **khả năng chống mài mòn và khả năng**

**chịu va đập**, là hai yêu cầu cơ bản đối với răng gầu làm việc trong điều kiện tải trọng và mài mòn cao.

### 5.2.7. Đánh giá phân tích chất lượng răng gầu theo các chỉ tiêu đánh giá sản phẩm

Chất lượng răng gầu được đánh giá trên cơ sở tổng hợp các chỉ tiêu về tổ chức tế vi, độ cứng và độ dai va đập, trong đó đặc biệt chú trọng đến khả năng đáp ứng đồng thời yêu cầu **chống mài mòn và chịu tải trọng va đập** trong quá trình làm việc. Đây là hai yêu cầu có mối quan hệ tương đối chặt chẽ và thường có xu hướng đối nghịch: nếu độ cứng quá cao thì khả năng chống mài mòn được cải thiện nhưng độ dai và khả năng chống nứt gãy có thể giảm; ngược lại, nếu vật liệu quá mềm và dẻo thì khả năng chịu mài mòn của răng gầu sẽ không cao. Vì vậy, chất lượng sản phẩm phải được xem xét trên cơ sở cân bằng giữa độ cứng và độ dai va đập. Chuyên đề xác định đây là yêu cầu đặc trưng đối với các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn kết hợp va đập như răng gầu xúc.

Về **thành phần hóa học**, mẫu thép Mn thấp nghiên cứu có hàm lượng C khoảng 0,24%, Mn khoảng 1,02% đối với mẫu có Ti, cùng với Si, Cr, Mo và một số nguyên tố vi hợp kim khác; đặc biệt mẫu biến tính Ti chứa khoảng 0,16% Ti. Việc bổ sung Ti có tác dụng thúc đẩy quá trình hình thành các hạt cacbit chứa Ti, đồng thời góp phần làm nhỏ và đồng đều tổ chức tế vi sau xử lý nhiệt. Kết quả SEM–EDS cho thấy trong mẫu có Ti xuất hiện các hạt cacbit với hàm lượng Ti tương đối cao, khoảng 74,16% tại vị trí phân tích, trong khi sau ram hàm lượng Ti tại vùng khảo sát đạt khoảng 5,59%. Điều này cho thấy Ti có vai trò đáng kể trong quá trình biến tính tổ chức và hóa bền vật liệu. Về **tổ chức tế vi**, trạng thái sau đúc của thép có độ hạt tương đối lớn; khi bổ sung Ti, số lượng hạt austenite xuất hiện nhiều hơn và phân bố đồng đều hơn. Sau thường hóa ở 900°C trong 4 giờ, mẫu có Ti xuất hiện nhiều hạt nhỏ mịn hơn và biên giới hạt rõ ràng hơn so với mẫu không Ti. Sau tôi, tổ chức chủ yếu được xác định là mactenxit; sau ram ở 250°C trong 2 giờ, tổ chức có dạng tấm, được nhận định có thể là mactenxit hoặc bainite, đồng thời xuất hiện các hạt cacbit nhỏ mịn phân bố trong nền. Tổ chức sau nhiệt luyện như vậy có ý nghĩa quan trọng đối với việc nâng cao khả năng chịu tải và chống mài mòn của răng gầu.
**Độ cứng** là một trong những chỉ tiêu quan trọng để đánh giá khả năng chống mài mòn của răng gầu. Kết quả thực nghiệm cho thấy mẫu có Ti có độ cứng sau đúc trung bình đạt 47,3 HRC, cao hơn mẫu không Ti là 43,9 HRC. Sau quy trình nhiệt luyện, mẫu có Ti đạt độ cứng trung bình 44,1 HRC, trong khi mẫu không Ti đạt 38,4 HRC. Như vậy, việc bổ sung Ti không những làm tăng độ cứng của vật liệu mà còn giúp duy trì mức độ cứng tương đối cao sau nhiệt luyện. Đối với răng gầu, mức độ cứng này có ý nghĩa tích cực trong việc hạn chế biến dạng và giảm tốc độ hao mòn khi tiếp xúc với đất, đá, sỏi và các vật liệu có tính mài mòn cao.

Bên cạnh độ cứng, **độ dai va đập** là chỉ tiêu không thể thiếu khi đánh giá chất lượng răng gầu. Răng gầu thường chịu tải trọng động, va đập và thay đổi liên tục

trong quá trình đào, xúc và phá vỡ vật liệu. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ dai va đập của mẫu có Ti đạt 27,3 J/cm² ở trạng thái đúc và tăng lên 34,5 J/cm² sau chế độ nhiệt luyện; giá trị này cao hơn mẫu không Ti, đạt 33,8 J/cm² sau xử lý. Kết quả chứng minh rằng việc kết hợp biến tính Ti với chế độ nhiệt luyện thích hợp có thể cải thiện sự cân bằng giữa độ cứng và độ dai của vật liệu.

Đáng chú ý, kết quả tối ưu hóa bằng phương pháp Design-Expert cho thấy chế độ **tôi ở 893°C, ram ở 260°C trong 2 giờ** cho sự kết hợp tối ưu giữa độ cứng và độ dai va đập, với độ cứng dự đoán đạt **43,7 HRC** và độ dai va đập đạt **69,7 J/cm²**. Mô hình hồi quy có hệ số xác định $R^2 = 97,73\%$ đối với độ cứng và $R^2 = 93,93\%$ đối với độ dai va đập, cho thấy các mô hình có mức độ tương thích cao với dữ liệu thực nghiệm. Kết quả ANOVA cũng chỉ ra rằng nhiệt độ ram có ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng, trong khi độ dai va đập chịu ảnh hưởng đồng thời của nhiệt độ tôi và nhiệt độ ram. Từ các kết quả trên có thể đánh giá rằng **răng gầu chế tạo từ thép Mn thấp biến tính Ti và được xử lý nhiệt theo chế độ thích hợp có chất lượng đáp ứng tương đối tốt yêu cầu làm việc trong điều kiện chịu mài mòn kết hợp va đập**. Sự hình thành tổ chức hạt tương đối mịn, sự xuất hiện của các hạt cacbit chứa Ti phân tán, cùng với độ cứng khoảng 43–44 HRC và độ dai va đập cao tạo cơ sở để vật liệu vừa có khả năng chống mài mòn, vừa hạn chế nguy cơ nứt gãy giòn khi chịu tải trọng động. Đặc biệt, việc xác định được vùng thông số nhiệt luyện bảo đảm **độ cứng lớn hơn 38 HRC và độ dai va đập lớn hơn 65 J/cm²** là cơ sở quan trọng để kiểm soát chất lượng sản phẩm răng gầu trong quá trình chế tạo.

## 5.3. Kết luận chương 5

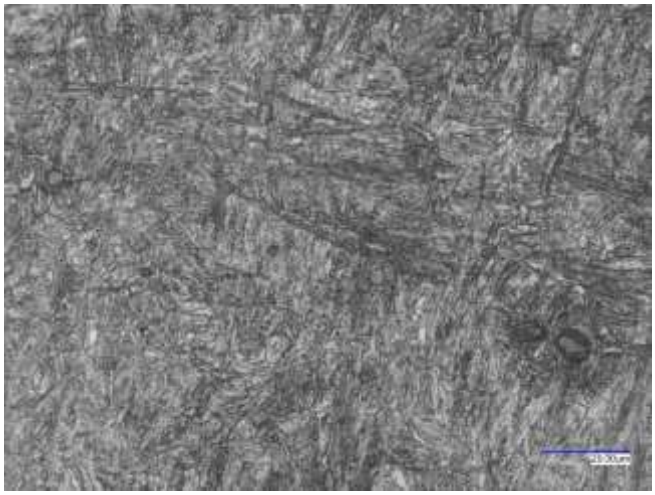
Trong ba phương án khảo sát, mẫu biến tính kết hợp Al–Ti cho kết quả tốt nhất: tổ chức hạt nhỏ hơn, ferit biên hạt ít hơn và độ dai được cải thiện. Sản phẩm răng gầu sau quy trình thường hóa–tôi–ram có sự cân bằng tương đối tốt giữa khả năng chống mài mòn và chống nứt gãy.

Kết quả tối ưu hóa xác định chế độ tôi 893°C, ram 260°C trong 2 giờ có thể cho độ cứng khoảng 43,7 HRC và độ dai va đập khoảng 69,7 J/cm². Vùng công nghệ bảo đảm độ cứng trên 38 HRC và độ dai trên 65 J/cm² là cơ sở để kiểm soát chất lượng sản phẩm. Tuy nhiên, cần tiếp tục kiểm tra không phá hủy bằng siêu âm và thử nghiệm trên nhiều bộ răng gầu để đánh giá tính ổn định, khả năng lặp lại và khuyết tật bên trong.

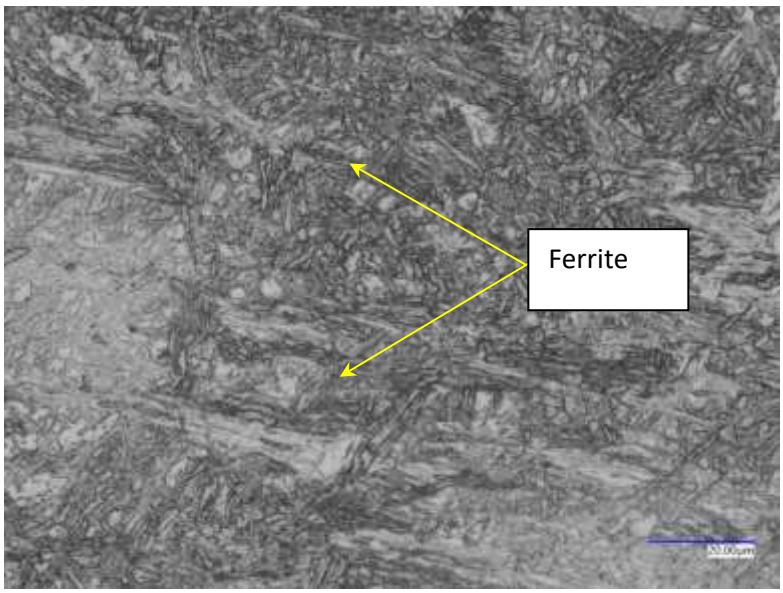
# CHƯƠNG 6. THỬ NGHIỆM SẢN PHẨM RĂNG GẦU VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ, XÂY DỰNG BÁO CÁO KINH TẾ KỸ THUẬT

## 6.1. Kết quả thử nghiệm

Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc



*Hình 6. 1:Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc không có Ti (zoom x2000)*

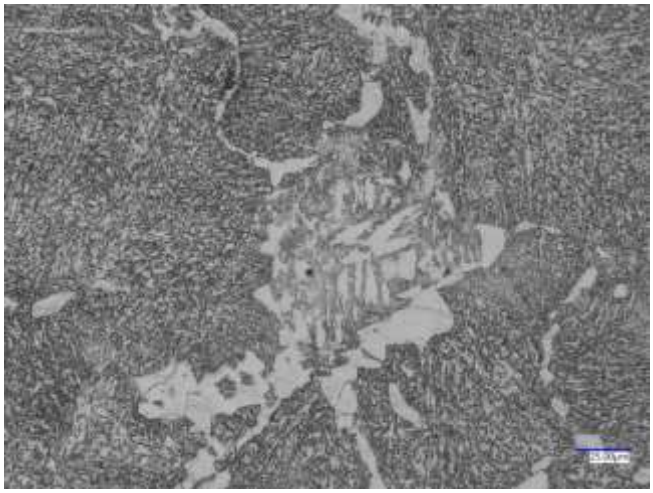



*Hình 6. 2: Tổ chức tế vi của mẫu sau đúc có Ti (zoom x2000)*

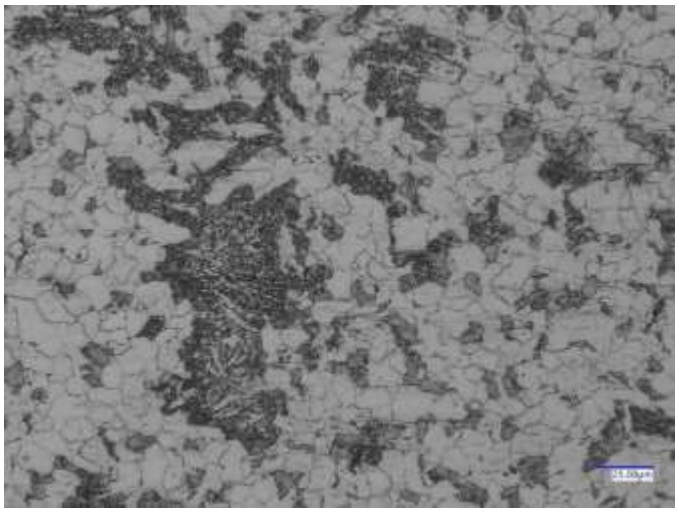
Tổ chức của vật liệu quyết định trực tiếp đến tính chất và cơ tính của nó. So sánh tổ chức tế vi của hai mẫu sau đúc để xem việc bổ sung hàm lượng titan vào thép nó sẽ có ảnh hưởng như thế nào đến tổ chức tế vi của mẫu sau đúc. Quan sát tổ chức tế vi của hai mẫu sau đúc cho thấy độ hạt của hợp kim khá lớn, với chế độ này cũng không xác định được biên giới hạt của hợp kim nghiên cứu khi thêm nguyên tố titan vào thép thì số lượng hạt austenite xuất hiện nhiều hơn và nó được phủ rộng một cách đồng đều.

Tổ chức tế vi của mẫu sau khi xử lý nhiệt

1.3.1.Tổ chức tế vi của mẫu sau thường hóa



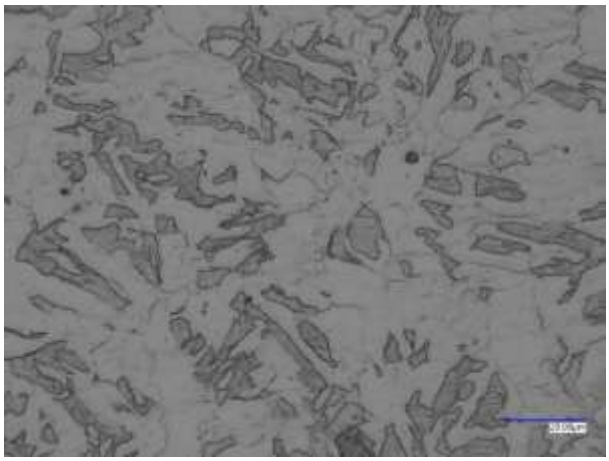
*Hình 6. 3: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau thường hóa (zoom x1000)*



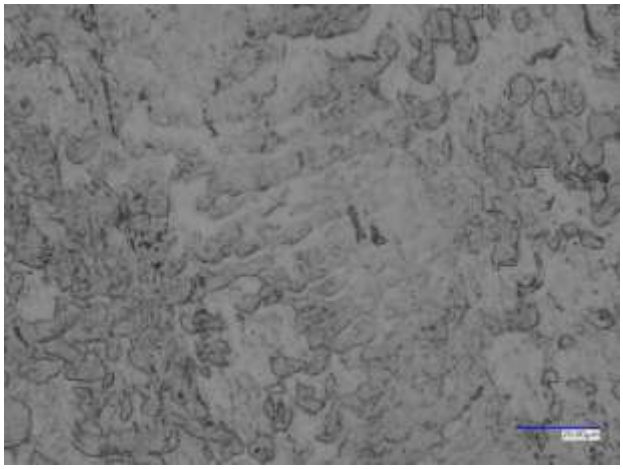
*Hình 6. 4: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau thường hóa (zoom x1000)*

Quan sát tổ chức tế vi của mẫu sau quá trình thường hóa ở nhiệt độ 900°C trong thời gian 4 giờ cho thấy sự biến đổi rõ rệt về cấu trúc. Sau xử lý nhiệt, mẫu có bổ sung Ti xuất hiện nhiều hạt nhỏ mịn hơn, đồng thời các biên giới hạt được thể hiện rõ ràng và sắc nét hơn.

1.3.2. Tổ chức tế vi của mẫu sau tôi



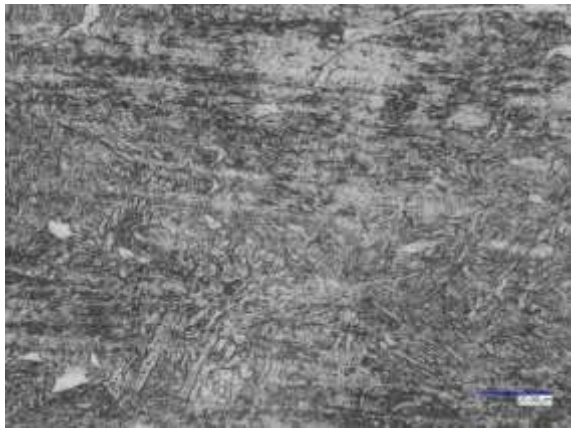
*Hình 6. 5: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau tôi (zoom x2000)*



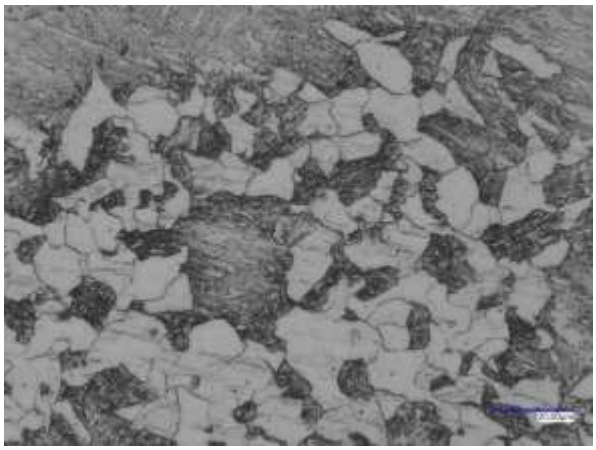
*Hình 6. 6: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau tôi (zoom x2000)*

Sau quá trình tôi, quan sát tổ chức tế vi cho thấy tổ chức của mẫu thép Mn thấp là tổ chức mactenxit.

Tổ chức tế vi của mẫu sau ram



*Hình 6. 7: Tổ chức tế vi của mẫu không Ti sau ram (zoom x2000)*



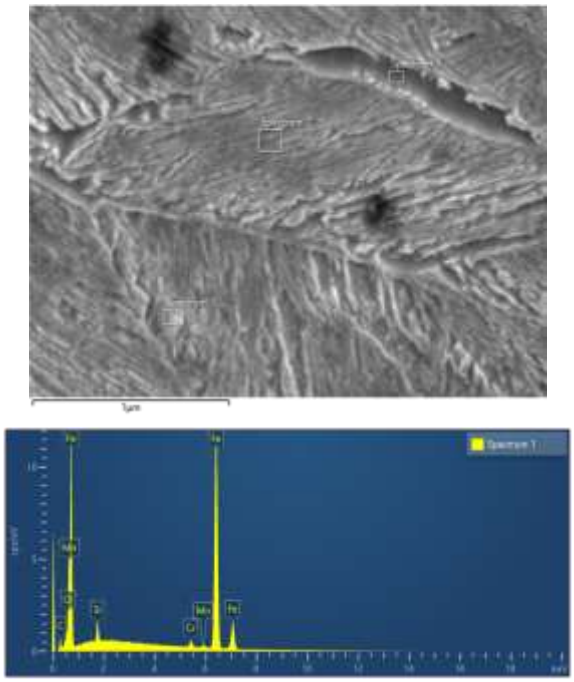
*Hình 6. 8: Tổ chức tế vi của mẫu có Ti sau ram (zoom x2000)*

Quá trình nhiệt luyện giữ vai trò then chốt trong việc hòa tan các pha cacbit dư, đồng thời thúc đẩy sự đồng nhất hóa tổ chức austenit trong thép. Thông qua việc lựa chọn và điều chỉnh hợp lý các thông số công nghệ, tổ chức tế vi của vật liệu có thể

được kiểm soát theo định hướng mong muốn, qua đó cải thiện và tối ưu hóa các tính chất cơ học nhằm đáp ứng yêu cầu làm việc cụ thể.

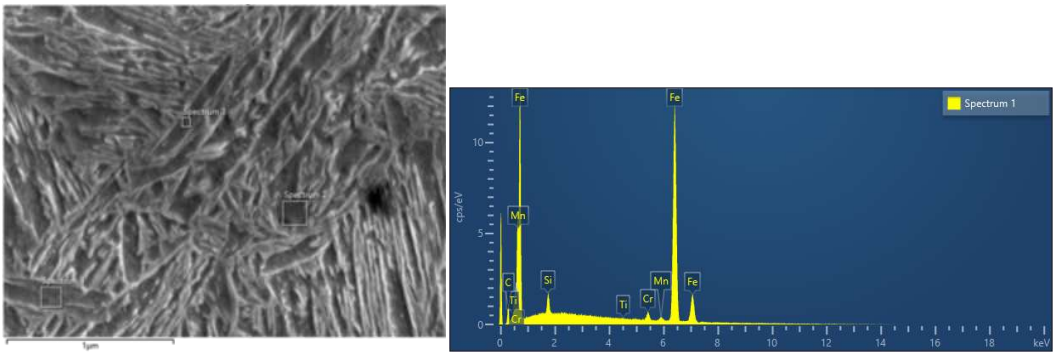
Kết quả phân tích tổ chức tế vi sau công đoạn ram cuối cùng ở 250°C trong thời gian 2 giờ cho thấy, khi có sự bổ sung Ti, tổ chức của hợp kim (Hình 4.12) chủ yếu có dạng tấm, có thể là mactenxit hoặc bainite. Đồng thời, trong nền còn xuất hiện các hạt cacbit nhỏ mịn phân bố phân tán.

1.4. Quan sát ảnh chụp hiển vi điện tử quét SEM



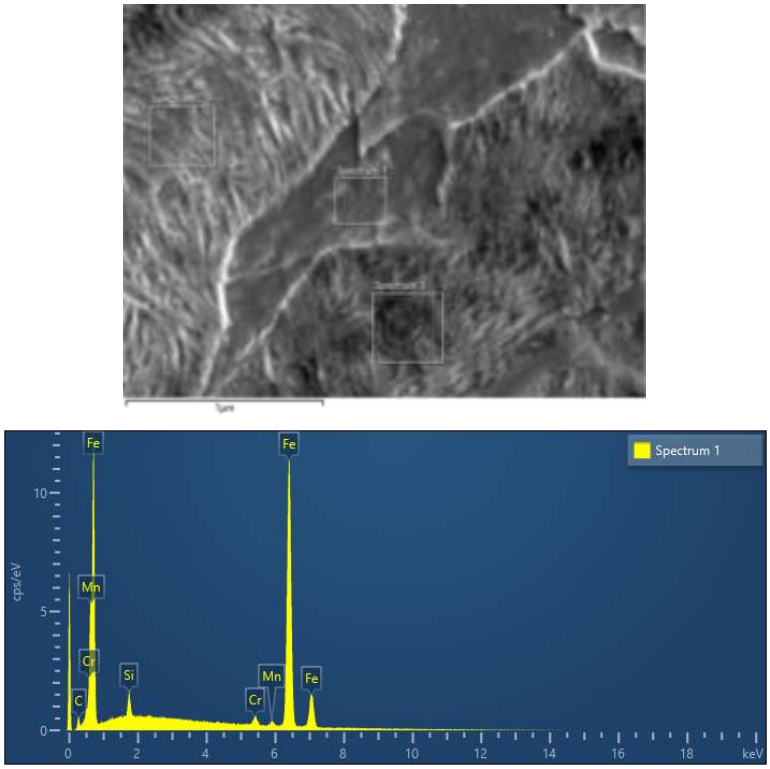

*Hình 6. 9: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti*

Quan sát ảnh SEM của mẫu đúc không chứa nguyên tố Ti cho thấy tổ chức tế vi của mẫu có dạng nhánh cây. Việc không chứa Ti trong hợp kim thì quan sát ảnh chụp cho ta thấy chưa xuất hiện các hạt.

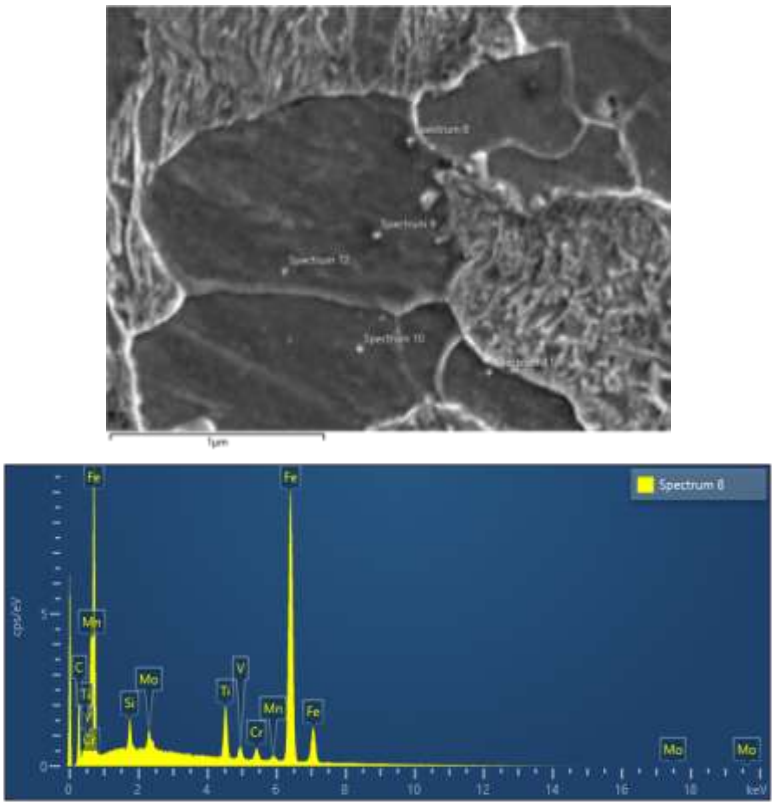



*Hình 6. 10: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti*

Kết quả phân tích ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) kết hợp với phổ tán xạ năng lượng (EDS) cho thấy thành phần hóa học của mẫu chủ yếu là Fe, kèm theo một số nguyên tố vi lượng khác. Các vùng tối (các chấm đen) quan sát trên bề mặt được xác định là các hạt cacbit, trong đó hàm lượng Ti chiếm tỷ lệ tương đối cao, xấp xỉ 74,16%. Ảnh SEM và EDS mẫu sau ram




*Hình 6. 11: Ảnh chụp SEM mẫu đúc không Ti sau ram*



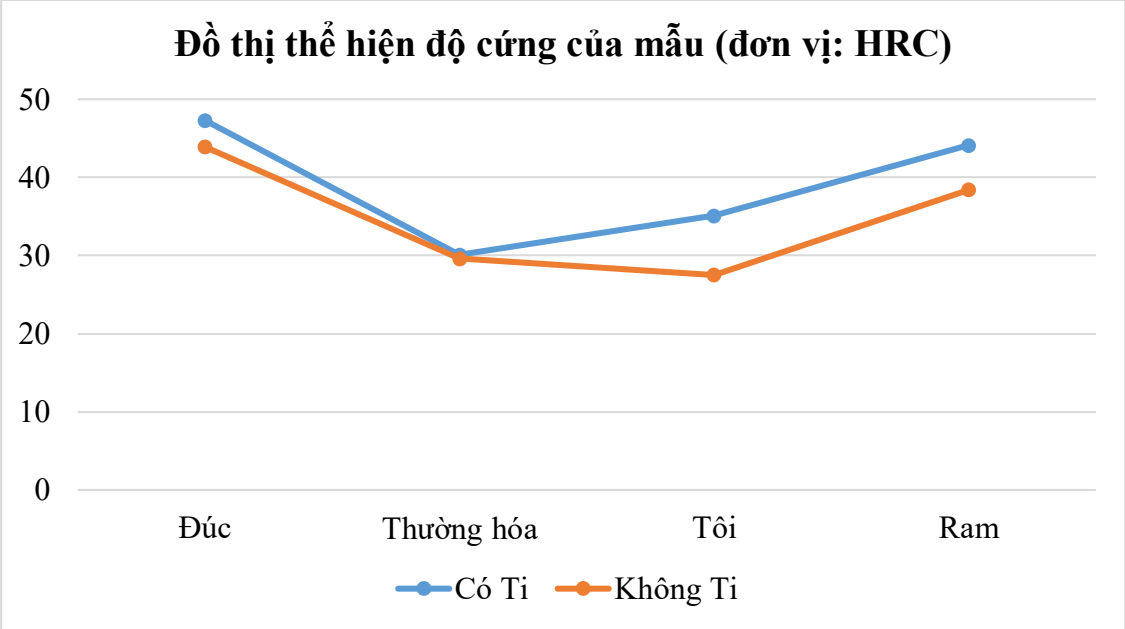

*Hình 6. 12: Ảnh chụp SEM mẫu đúc có Ti sau ram*

Phân tích SEM và EDS tại Spectrum 8 cho thấy Ti chiếm hàm lượng 5,59%.

Độ cứng của mẫu sau khi xử lý nhiệt

*Bảng 6. 1: Độ cứng của mẫu ở các chế độ (Đơn vị: HRC)*

| Lần | Mẫu đúc | | Thường hóa (900°C – 4h) | | Tôi (900°C – 2h) | | Ram (250°C – 2h) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti | Không Ti | Có Ti |
| **1** | 42 | 46,3 | 28,6 | 30,5 | 26,6 | 32,5 | 37,1 | 46,1 |
| **2** | 43,7 | 48,8 | 26,8 | 30,7 | 31,5 | 35,8 | 38,8 | 42,5 |
| **3** | 43,2 | 46,9 | 33,5 | 34,9 | 24,4 | 37,0 | 39,5 | 43,9 |
| **Trung bình** | **43,9** | **47,3** | **29,6** | **30,1** | **27,5** | **35,1** | **38,4** | **44,1** |




*Hình 6. 13: Đồ thị thể hiện độ cứng của mẫu*

Có thể thấy độ cứng của mẫu được tăng lên khi thêm nguyên tố Ti vào thành phần của mác thép.

So sánh độ cứng của mẫu sau đúc cho thấy, khi bổ sung nguyên tố Ti vào hợp kim thì độ cứng đạt được là 47,3 HRC trong khi mẫu sau đúc không có nguyên tố Ti thì độ cứng chỉ đạt 43,9 HRC.

Sau quá trình xử lý nhiệt, độ cứng của mẫu cũng đã giảm một lượng nhỏ. Cụ thể, sau quá trình xử lý nhiệt ở bước cuối cùng (ram ở nhiệt độ 250°C trong 2h) ta thấy:

Mẫu có Titan: Độ cứng giảm từ 47,3 HRC xuống còn 44,1 HRC tức là đã giảm 3,2 HRC.

Mẫu không có Ti: Độ cứng giảm từ 43,9 HRC xuống còn 38,4 HRC tức là đã giảm 5,5 HRC.

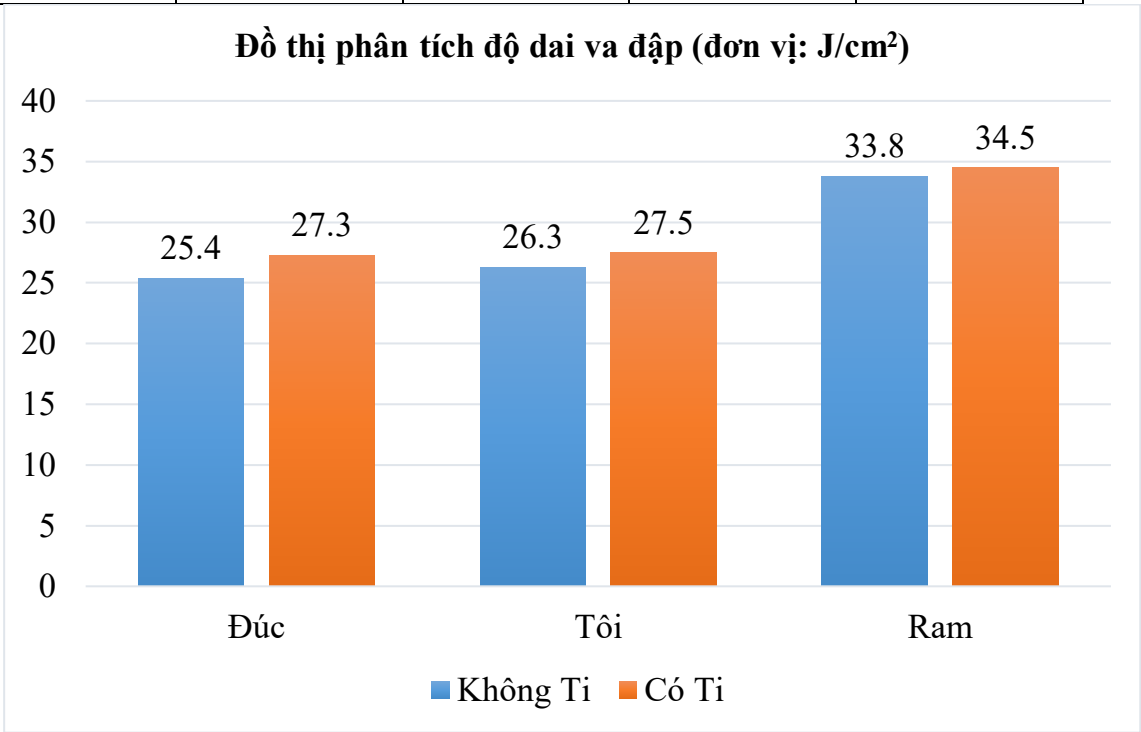
Sau quá trình ram, độ cứng đã được giảm bớt so với ban đầu, việc ram mẫu ở nhiệt độ 250°C trong vòng 2h sau đó để nguội ngoài không khí sẽ làm tăng độ dẻo,

độ dai, giảm hay khử bỏ ứng suất bên trong để cho cơ tính của thép phù hợp với điều kiện làm việc của chi tiết hay dụng cụ.

Độ dai va đập của mẫu

*Bảng 6. 2: Kết quả kiểm tra độ dai va đập của mẫu*

| Loại mẫu | Đúc (J/cm2) | Thường hóa (J/cm2) | Tôi (J/cm2) | Ram (J/cm2) |
|---|---|---|---|---|
| Không Ti | 25,4 | - | 26,3 | 33,8 |
| Có Ti | 27,3 | - | 27,5 | 34,5 |




*Hình 6. 14: Đồ thị phân tích độ dai va đập*

So sánh giá trị độ dai va đập của mẫu sau đúc và sau quá trình xử lý nhiệt (Hình 6.14) cho thấy: giá trị độ dai va đập đạt giá trị lớn nhất là 34,5 J/cm$^2$ khi mẫu được bổ sung thêm nguyên tố Ti và trải qua quá trình thường hóa 900$^o$C giữ nhiệt trong 04 giờ sau đó tôi với nhiệt độ 900$^o$C trong vòng 02 giờ và làm nguội nhanh bằng nước; sau đó mẫu được ram ở nhiệt độ 250$^o$C trong 02 giờ để đảm bảo các chuyển biến xảy ra hoàn toàn. Quá trình xử lý nhiệt được thực hiện trong lò nung có hỗ trợ hút chân không để đảm bảo mẫu khi nhiệt luyện không bị oxy hóa.

Với chế độ trên thu được giá trị độ dai va đập lớn nhất trong các chế độ xử lý. Với tổ chức đặc trưng là bainite xen kẽ đó là austenite dư thì nó vẫn đảm bảo được giá trị độ dai va đập của mẫu thép nghiên cứu.

Nhiệt độ tôi: 880, 900, 920 $^o$C

Thời gian giữ nhiệt khi tôi 2 giờ

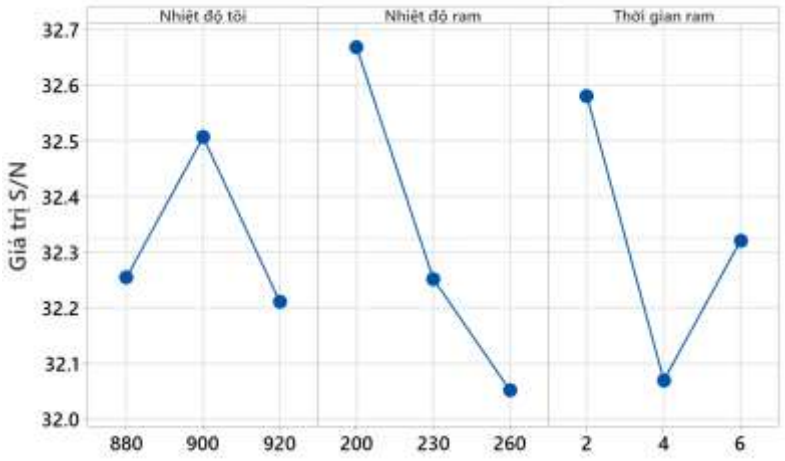
Nhiệt độ ram: 200, 230, 260 $^o$C

Thời gian giữ nhiệt khi ram: 2, 4, 6 giờ

| STT | Nhiệt độ tôi, $^oC$ | Nhiệt độ ram, $^oC$ | Thời gian ram, giờ | Độ cứng | S/N $_{độ\ cứng}$ | Độ dai va đập | S/N $_{Độ\ dai\ va\ đập}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 880 | 200 | 2 | 42.0 | 32.4650 | 28.12 | 28.9803 |
| 2 | 880 | 230 | 4 | 40.3 | 32.1061 | 37.50 | 31.4806 |
| 3 | 880 | 260 | 6 | 40.7 | 32.1919 | 43.75 | 32.8196 |
| 4 | 900 | 200 | 4 | 43.7 | 32.8096 | 42.25 | 32.5165 |
| 5 | 900 | 230 | 6 | 40.0 | 32.0412 | 43.75 | 32.8196 |
| 6 | 900 | 260 | 2 | 43.0 | 32.6694 | 71.87 | 37.1310 |
| 7 | 920 | 200 | 6 | 43.3 | 32.7298 | 32.88 | 30.3386 |
| 8 | 920 | 230 | 2 | 42.7 | 32.6086 | 34.38 | 30.7261 |
| 9 | 920 | 260 | 4 | 36.7 | 31.2933 | 56.25 | 35.0025 |

*Bảng 6. 3: Bảng giá trị đáp ứng của trị số S/N cho độ cứng*

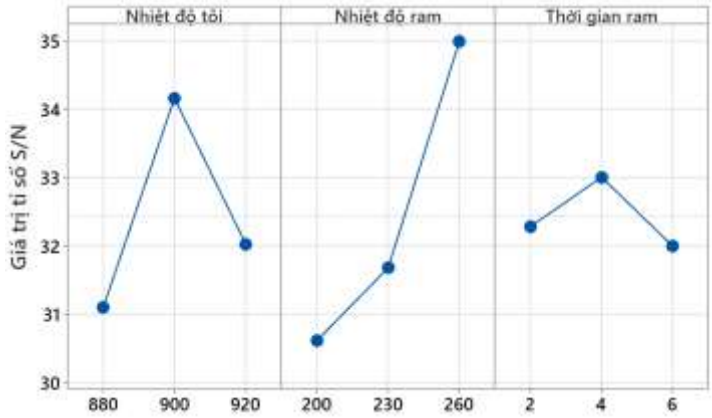
| **Mức** | **Nhiệt độ tôi** | **Nhiệt độ ram** | **Thời gian ram** |
|---|---|---|---|
| 1 | 32.25 | 32.67 | 32.58 |
| 2 | 32.51 | 32.25 | 32.07 |
| 3 | 32.21 | 32.05 | 32.32 |
| Delta | 0.30 | 0.62 | 0.51 |
| Xếp hạng | 3 | 1 | 2 |




*Hình 6. 15: Biểu đồ hiệu ứng của tỷ số S/N cho độ cứng*

*Bảng 6. 4: Bảng giá trị đáp ứng của trị số S/N cho độ dai va đập*

| Mức | Nhiệt độ tôi | Nhiệt độ ram | Thời gian ram |
|---|---|---|---|
| 1 | 31.09 | 30.61 | 32.28 |
| 2 | 34.16 | 31.68 | 33.00 |
| 3 | 32.02 | 34.98 | 31.99 |
| Delta | 3.06 | 4.37 | 1.01 |
| Xếp hạng | 2 | 1 | 3 |




*Hình 6. 16: Biểu đồ hiệu ứng của tỷ số S/N cho độ dai va đập*

**Độ cứng = -3526 + 6.87 A + 4.242 B - 1.023 C - 0.003208 $A^2$ - 0.004767 AB**

Trong đó A - Nhiệt độ tôi, B - Nhiệt độ ram và C - Thời gian ram

***Kiểm định pt hồi quy***

$R^2$ = 97.73, $R^2_{adj}$ = 93.96

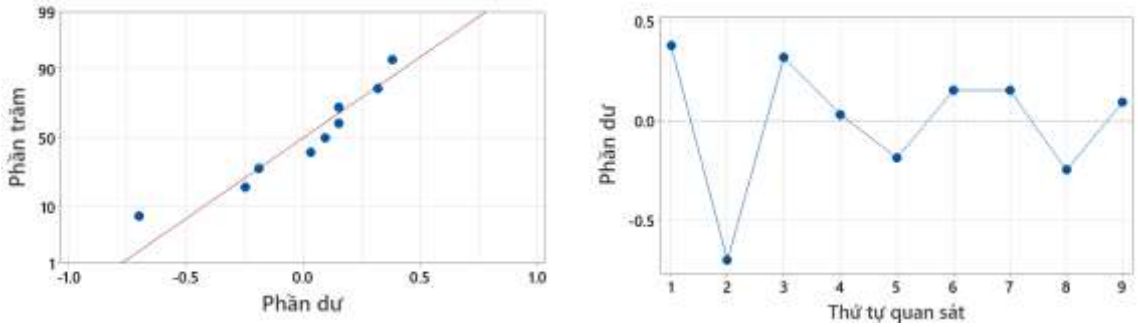
*Bảng 6. 5: Phân tích ANOVA phương trình hồi quy độ cứng*

| Nguồn | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Phương trình hồi quy | 5 | 38.3662 | 7.6732 | 25.88 | 0.011 |
| Nhiệt độ tôi | 1 | 4.6328 | 4.6328 | 15.63 | 0.029 |
| Nhiệt độ ram | 1 | 19.9919 | 19.9919 | 67.44 | 0.004 |
| Thời gian ram | 1 | 15.7082 | 15.7082 | 52.99 | 0.005 |
| Nhiệt độ tôi*Nhiệt độ tôi | 1 | 3.2939 | 3.2939 | 11.11 | 0.045 |
| Nhiệt độ tôi*Nhiệt độ ram | 1 | 20.4490 | 20.4490 | 68.98 | 0.004 |
| Lỗi | 3 | 0.8893 | 0.2964 | | |
| Tổng | 8 | 39.2556 | | | |

Giá trị F càng cao chứng tỏ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào đến biến đầu ra (độ cứng) càng rõ rệt. Dựa trên tiêu chí này, thứ tự mức độ tác động của các thông số công nghệ được xác định là: nhiệt độ ram > thời gian ram > nhiệt độ tôi, phù hợp với kết quả phân tích tỷ số S/N đã trình bày trước đó.

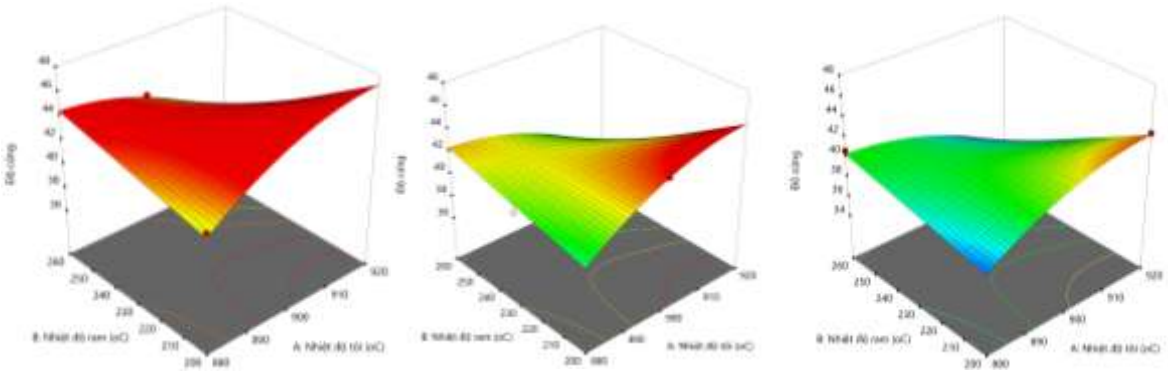
Đáng chú ý, với p-value = 0,004 và giá trị F rất lớn của yếu tố tương tác giữa nhiệt độ tôi và nhiệt độ ram, có thể khẳng định đây là một tương tác mạnh. Điều này cho thấy ảnh hưởng của nhiệt độ tôi đến độ cứng không cố định mà phụ thuộc đáng kể vào mức nhiệt độ ram áp dụng.

Ngoài ra, p-value của mô hình hồi quy bằng 0,011 (< 0,05) chứng tỏ mô hình có ý nghĩa thống kê ở mức tin cậy 95%. Kết quả này xác nhận rằng các thông số nhiệt luyện được lựa chọn thực sự có ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng của thép Mn.




*Hình 6. 17: Biểu đồ xác suất chuẩn và biểu đồ phần dư theo thứ tự quan sát*

Các điểm dữ liệu phân bố bám sát đường thẳng tham chiếu cho thấy sai số tuân theo phân phối chuẩn, từ đó củng cố độ tin cậy của các kết luận liên quan đến giá trị p-value đã nêu. Bên cạnh đó, biểu đồ phần dư theo thứ tự quan sát thể hiện các giá trị sai số phân tán ngẫu nhiên xung quanh đường 0, không xuất hiện xu hướng hay tính chu kỳ rõ rệt, chứng tỏ giả thiết về tính độc lập của các quan sát được thỏa mãn. Điều này cho thấy kết quả đo độ cứng không chịu ảnh hưởng của trình tự tiến hành thí nghiệm cũng như không bị chi phối bởi nhiễu thiết bị theo thời gian.



*Hình 6. 18: Biểu đồ ảnh hưởng Nhiệt độ tôi, ram lên độ cứng thép Mn trong a) 2 giờ, b) 4 giờ và c) 6 giờ*

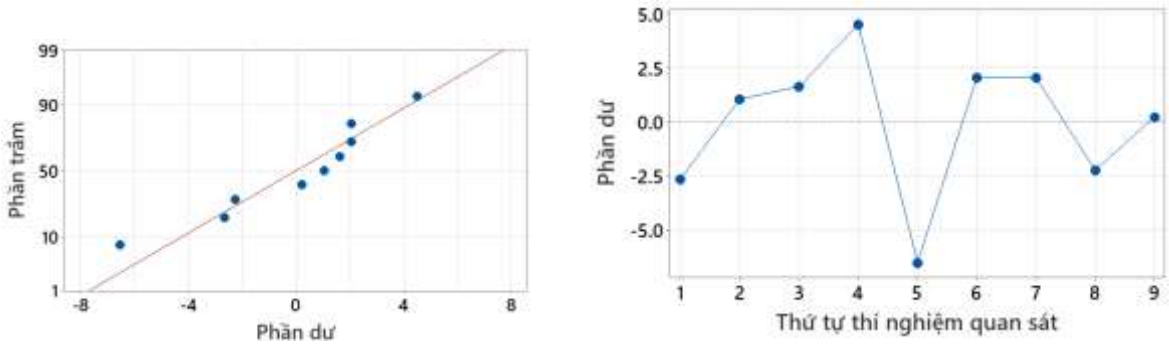
**Độ dai va đập = -27510 + 61.6 A + 0.4958 B - 155.8 C - 0.03452 $A^2$ + 0.1718 AC**

***Kiểm định pt hồi quy***

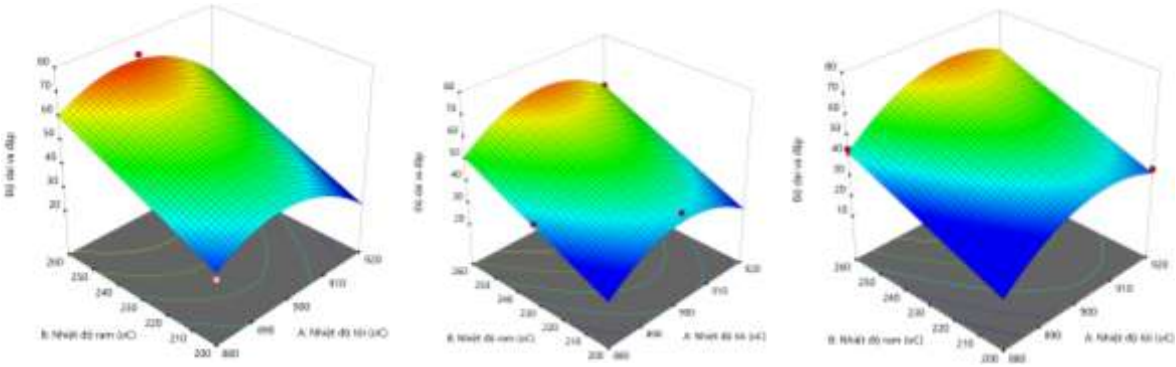
$R^2 = 93.93$, $R^2_{adj} = 83.80$

*Bảng 6. 6: Phân tích ANOVA phương trình hồi quy độ dai va đập*

| Nguồn | DF | Adj SS | Adj MS | F-Value | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| Phương trình hồi quy | 5 | 1350.22 | 270.04 | 9.28 | 0.048 |
| Nhiệt độ tôi | 1 | 374.31 | 374.31 | 12.86 | 0.037 |
| Nhiệt độ ram | 1 | 829.49 | 829.49 | 28.50 | 0.013 |
| Thời gian ram | 1 | 119.82 | 119.82 | 4.12 | 0.135 |
| Nhiệt độ tôi*Nhiệt độ tôi | 1 | 381.43 | 381.43 | 13.10 | 0.036 |
| Nhiệt độ tôi*Thời gian ram | 1 | 118.06 | 118.06 | 4.06 | 0.137 |
| Lỗi | 3 | 87.33 | 29.11 | | |
| Tổng | 8 | 1437.55 | | | |




*Hình 6. 19: Biểu đồ xác suất chuẩn và biểu đồ phần dư theo thứ tự thí nghiệm độ dai va đập*



*Hình 6. 20: Biểu đồ ảnh hưởng Nhiệt độ tôi, ram lên độ dai va đập thép Mn trong a) 2 giờ, b) 4 giờ và c) 6 giờ*

Lựa chọn thông số tối ưu: Nhằm đồng thời đạt giá trị lớn nhất cho độ cứng và độ dai va đập, mô-đun tối ưu hóa trong phần mềm *Design-Expert 11* đã được sử dụng để xác định chế độ nhiệt luyện phù hợp. Kết quả cho thấy bộ thông số tối ưu bao gồm: nhiệt độ tôi 893°C, nhiệt độ ram 260°C và thời gian ram 2 giờ. Với chế độ này, độ cứng đạt 43,7 HRC và độ dai va đập đạt 69,7.

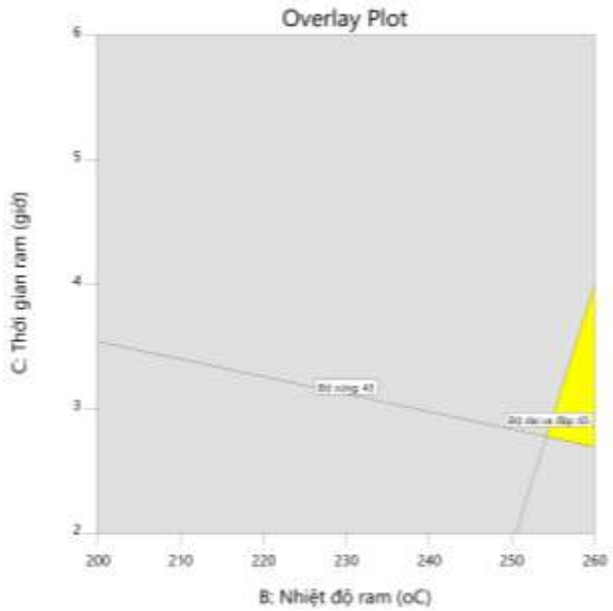
Để tăng tính linh hoạt khi áp dụng cho các chi tiết khác nhau, nhiệt độ tôi được cố định ở mức 893°C, trong khi nhiệt độ ram và thời gian ram có thể điều chỉnh nhằm đảm bảo độ cứng lớn hơn 38 HRC và độ dai va đập vượt 65. Vùng màu vàng trên đồ thị (Hình 7) biểu diễn miền thông số thỏa mãn các yêu cầu này, được xác định theo mối quan hệ:

$$-\mathbf{0,014}\boldsymbol{B}+\mathbf{6,33}<\boldsymbol{C}<\mathbf{1,0307}\boldsymbol{B}+\mathbf{1,986}$$

trong đó:

$\boldsymbol{B}$: nhiệt độ ram,

$\boldsymbol{C}$: thời gian ram.

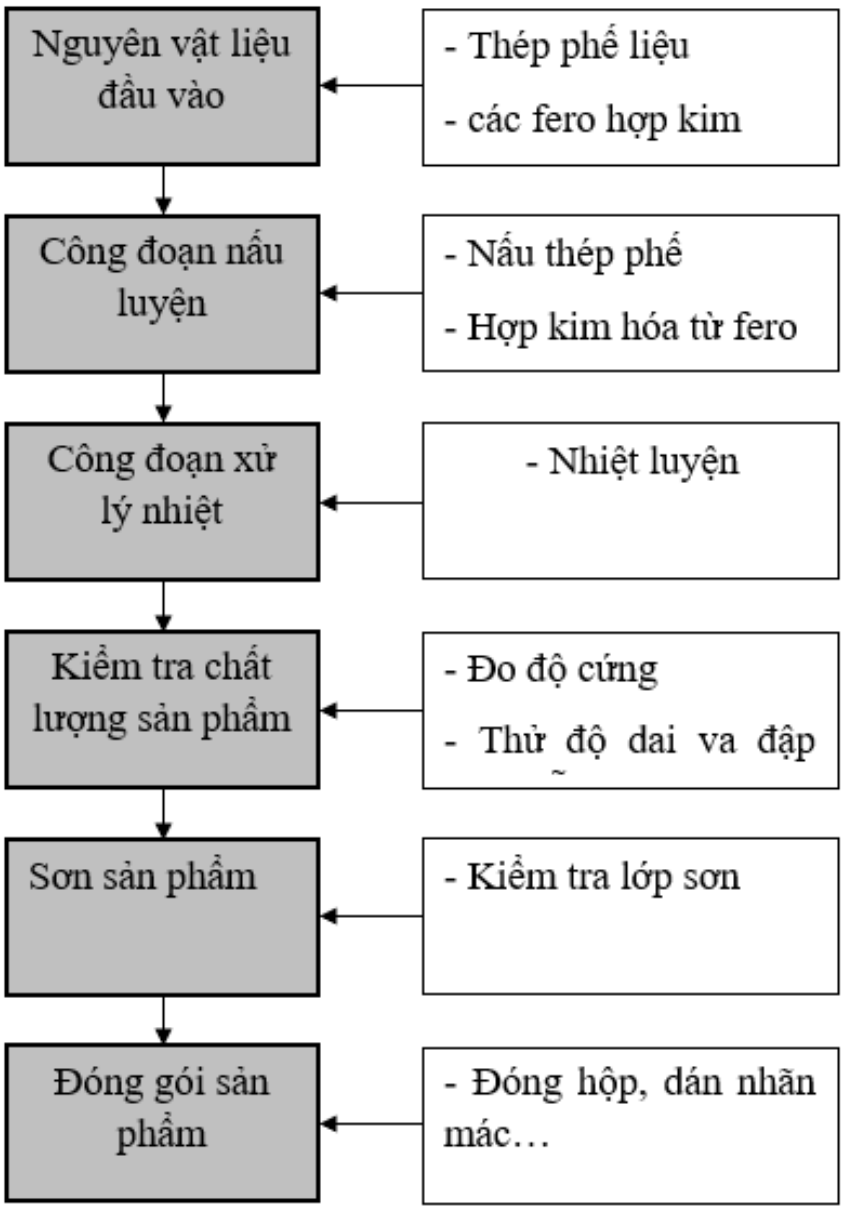



*Hình 6. 21: Vùng thông số nhiệt độ ram và thời gian ram tại nhiệt độ tôi 893 $^{o}$C cho độ cứng lớn hơn 38 và độ dai va đập lớn hơn 65*

## 6.2. Xác định chi phí liên quan tới quá trình sản xuất răng gầu

Hoạt động sản xuất thực chất là quá trình tiêu dùng các yếu tố sản xuất (tư liệu lao động, đối tượng lao động và sức lao động) để tạo ra sản phẩm cung cấp cho thị trường. Chi phí sản xuất là toàn bộ các hao phí về lao động sống, lao động vật hóa và các chi phí cần thiết khác chi ra trong quá trình sản xuất biểu hiện bằng thước đo tiền tệ, được tính cho một số lượng sản phẩm trong một thời kỳ nhất định.

Để hình dung được chi phí cho quá trình sản xuất chế tạo răng gầu ta tham khảo sơ đồ công nghệ su:



Sơ đồ trên chỉ thể hiện các nguyên công chính của quá trình sản xuất răng gầu, ngoài ra còn có các công đoạn phụ có thể xảy ra trong quá trình chế tạo. Chi phí sản xuất thường phân thành hai loại là chi phí cơ bản và chi phí chung. Theo đó, chi phí cơ bản là chi phí có liên quan trực tiếp đến quy trình công nghệ sản xuất chế tạo sản phẩm như chi phí nguyên vật liệu trực tiếp, chi phí nhân công trực tiếp, chi phí công cụ, dụng cụ sản xuất, chi phí khấu hao tài sản cố định dùng trực tiếp vào sản xuất sản phẩm…Còn chi phí chung là các chi phí liên quan đến phục vụ và quản lý sản xuất có tính chất chung như chi phí quản lý ở các phân xưởng sản xuất, chi phí quản lý doanh nghiệp. Tuy nhiên, từ sơ đồ trên có thể thấy chi phí sản xuất bao gồm các nhóm chính như sau:

***1. Chi phí cho nguyên vật liệu trực tiếp:***

- Các loại thép: Chủ yếu là thép phế liệu, các loại fero Mn, fero Cr, fero Vanadi và fero Titan. Các loại nguyên vật liệu này thị trường trong nước có thể đáp ứng được.

- Các loại nguyên vật liệu phục vụ xử lý nhiệt: nước, cát làm khuôn, chế tạo khuôn đều có sẵn ở thị trường trong nước.

***2. Chi phí cho thiết bị máy móc:***

- Thiết bị chế tạo: Thiết bị nấu trung tần, hệ thống cầu trục, thiết bị làm khuôn và một số thiết bị cơ khí phục vụ quá trình chế tạo.

Hiện tại, đề tài đã phối hợp với Công ty Cổ phần cơ khí Phú Sơn để thực hiện phần nấu luyện, chế tạo khuôn nên đối với chi phí cho nhóm thiết bị máy móc này chủ yếu bao gồm chi phí thuê tài sản cố định, công chế tạo, chi phí năng lượng, chi phí bảo dưỡng và chi phí nhà xưởng.

- Thiết bị xử lý nhiệt: Lò tôi thí nghiệm và lò tôi công nghiệp, và cầu trục phục vụ quá trình vận chuyển tháo dỡ sản phẩm.

Quá trình chế tạo thử nghiệm được thực hiện tại Viện Khoa học và kỹ thuật vật liệu – trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. Các trang thiết bị này đã có sẵn nên chi phí chủ yếu bao gồm khấu hao tài sản cố định, công vận hành, chi phí năng lượng, chi phí bảo dưỡng và chi phí nhà xưởng.

- Thiết bị kiểm nghiệm: Máy đo độ cứng thô đại, máy đo độ cứng tế vi, máy phân tích kim tương. Chi phí cho nhóm này được trả dưới dạng chi phí dịch vụ đo đạc, được tính theo số lượng mẫu cần phân tích và số lượng sản phẩm cần kiểm tra.

***3. Chi phí nhân công trực tiếp***

Chi phí lao động chủ yếu ở các công đoạn sau:

- Nấu luyện và chế tạo khuôn: với số lượng máy móc hiện có cần 3 công nhân làm khuôn, vận hành lò nấu trung tần.

- Công đoạn nhiệt luyện: với cơ sở nhiệt luyện hiện tại cần 3 công nhân để xây dựng và thực hiện quy trình tôi và các công việc xử lý nhiệt khác.

- Hai cán bộ kiểm tra chất lượng sản phẩm

***4. Chi phí khác***

Nhóm này thường gồm chi phí bao bì, công đóng gói, vận chuyển, tiếp thị quảng cáo...

2.2 Tập hợp chi phí sản xuất răng gầu

Chi phí sản xuất hoặc kinh doanh của một doanh nghiệp hay cơ sở sản xuất có thể phát sinh ở nhiều địa điểm khác nhau, liên quan đến việc sản xuất chế tạo các loại sản phẩm, dịch vụ khác nhau. Người quản lý sản xuất cần biết được chi phí đó phát sinh ở đâu, dùng vào việc sản xuất sản phẩm nào?.... Chính vì vậy, chi phí sản xuất kinh doanh phát sinh trong quá trình chế tạo, sản xuất phải được tập hợp theo phạm vi, giới hạn nhất định. Đó chính là đối tượng tập hợp chi phí sản xuất.

Đối tượng tập hợp chi phí sản xuất là phạm vi, giới hạn để chi phí sản xuất được tập hợp theo đó. Thực chất của việc xác định đối tượng tập hợp chi phí sản xuất là xác định nơi phát sinh chi phí (phân xưởng, bộ phận sản xuất, giai đoạn công nghệ...) hoặc đối tượng chịu chi phí (sản phẩm, đơn đặt hàng...).

Khi xác định đối tượng tập hợp chi phí sản xuất, trước hết phải căn cứ vào đặc điểm, công dụng của chi phí trong sản xuất, sau đó phải căn cứ vào cơ cấu tổ chức sản xuất, quy trình công nghệ sản xuất, loại hình sản phẩm và yêu cầu quản lý chi phí và yêu cầu tính giá thành của doanh nghiệp. Tùy vào đặc điểm, tình hình cụ thể mà đối tượng tập hợp chi phí sản xuất khác nhau. Trong sản xuất hàng loạt sản phẩm theo đơn đặt hàng thường tập hợp chi phí theo toàn bộ quy trình công nghệ sản xuất. Như vậy trong sản xuất chế tạo răng gầu đối tượng tập hợp chi phí là toàn bộ quy trình sản xuất như trình bày trong phần 3.1. Các chi phí phát sinh sau khi đã tập hợp là cơ sở để tính giá thành sản phẩm theo đối tượng tính giá thành đã xác định.

Đối tượng tính giá thành hợp lý cần phải căn cứ vào quy trình công nghệ sản xuất sản phẩm. Quá trình sản xuất lõi neo là quá trình tổ chức sản xuất hàng loạt theo đơn đặt hàng do vậy từng loạt sản phẩm và đơn vị sản phẩm thuộc từng đơn đặt hàng hoàn thành là đối tượng tính giá thành.

Dựa vào kết quả khảo sát nhu cầu răng gầu cung cấp cho thị trường của Công ty Cơ khí Quốc Dương, trang thiết bị máy móc, nguồn lực và khả năng tài chính hiện có, việc phân tích kinh tế này sẽ thực hiện cho quy mô sản xuất khoảng 100 tấn sản phẩm trong một năm (ở giai đoạn thử nghiệm sản phẩm).

Đối tượng tính giá thành và kết quả tập hợp chi phí dựa vào quy trình sản xuất và kết quả xác định chi phí ở phần 2.1 sẽ được trình bày dưới dạng bảng như sau.

*Bảng 6. 7: Nhu cầu nguyên vật liệu*

*Đơn vị tính: triệu đồng*

| TT | Nội dung | Đơn vị tính | Số lượng | Đơn giá | Thành tiền |
|---|---|---|---|---|---|
| | **KINH PHÍ** | | | | |
| **I** | **Nguyên vật liệu chủ yếu** | | | | **1490** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Thép vụn | Tấn | 120 | 10 | 1200 |
| 2 | Fero Mn (C thấp) | Tấn | 1.8 | 50 | 90 |
| 3 | Fero Cr (C thấp) | Tấn | 1 | 80 | 80 |
| 4 | Fero Ti (C thấp) | Tấn | 0.1 | 400 | 40 |
| 5 | Fero V (C thấp) | Tấn | 0.1 | 800 | 80 |
| **II** | **Nguyên vật liệu phụ** | | | | **5** |
| | Cát khuôn | $M^3$ | 10 | 0.5 | *5* |
| | **Cộng** | | | | **1495** |

- Nhu cầu nguyên vật liệu dự kiến trên dùng để sản xuất khối lượng sản phẩm cần thiết có thể tiêu thụ và tái sản xuất đợt tiếp theo.

- Đơn giá được lấy theo báo giá hiện tại, đã bao gồm thuế VAT và các khoản chi phí liên quan khác như chi phí vận chuyển, chi phí bình chứa.

- Số lượng nguyên vật liệu được tính gồm nguyên vật liệu cần thiết cho sản xuất cộng 5% dự phòng hao hụt trong quá trình chế tạo.

*Bảng 6. 8: Nhu cầu điện nước, xăng dầu*

*Đơn vị tính: triệu đồng*

| TT | Nội dung | Đơn vị đo | Số lượng | Đơn giá | Thành tiền |
|---|---|---|---|---|---|
| | **KINH PHÍ** | | | | |
| 1 | ***Về điện :*** | ***kW/h*** | | | |
| | - Điện sản xuất:<br>Tổng công suất thiết bị, máy móc.....kW | | 10000 | 0,002 | 200 |
| 2 | ***Về nước:*** | ***$m^3$*** | 50 | 0,002 | 0.1 |
| 3 | ***Về xăng dầu :*** | ***Tấn*** | | | |
| | - Cho thiết bị sản xuất ..... tấn | | | | |
| | - Cho phương tiện vận tải ..... tấn | | | | |
| | **Cộng:** | | | | **200.1** |

*Bảng 6. 9: Yêu cầu thiết bị, máy móc cho công đoạn xử lý nhiệt và kiểm tra chất lượng sản phẩm*

*Đơn vị tính: triệu đồng*

| **TT** | Nội dung | Đơn vị đo | Số lượng | Đơn giá | Thành tiền |
|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | |
| | **Thiết bị hiện có** (tính giá trị còn lại) | | | **780** | **780** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **I** | **Thiết bị công nghệ** | | | | |
| | Hệ thống vận chuyển trong x-ưởng | Chiếc | 1 | 80 | 80 |
| **II** | **Thiết bị thử nghiệm, đo lường** | | | | |
| 1 | Máy đo độ cứng thô đại | Chiếc | 1 | 100 | 100 |
| 2 | Thiết bị thử độ bền kéo, nén | Chiếc | 1 | 300 | 300 |
| 3 | Kính hiển vi kim loại học | Chiếc | 1 | 150 | 150 |
| 4 | Thiết bị thử độ dai va đập | Chiếc | 1 | 150 | 150 |
| | **Tổng** | | | | **780** |

*Bảng 6. 10: Yêu cầu thiết bị máy móc*

*Đơn vị: triệu đồng*

| TT | Nội dung | Đơn vị đo | Số lượng | Đơn giá | Thành tiền |
|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* |
| **I** | **Mua mới** | | | | **10** |
| | Thiết kế và chế tạo các loại đồ gá | *chiếc* | | 10 | 10 |
| **II** | **Thuê Thiết bị** | | | | **205** |
| | Thuê lò nấu thí nghiệm | *tháng* | 20 | 2 | 40 |
| | Thuê lò nấu công nghiệp | *tháng* | 20 | 4 | 80 |
| | Thuê lò tôi | *tháng* | 20 | 4 | 80 |
| | Thuê thiết bị vận chuyển | *tháng* | 5 | 1 | 5 |

- Các thiết bị cần thiết liệt kê trên bảng 9 và 10 dùng để tính khấu hao.
- Các thiết bị mua mới do công ty Cơ khí Quốc Dương thực hiện.
- Các thiết bị cần thuê và thử nghiệm sản phẩm do công ty cơ khí Quốc Dương thực hiện.

*Bảng 6. 11: Khấu hao thiết bị máy móc*

*Đơn vị: triệu đồng*

| **TT** | Nội dung | Đơn vị đo | Số lượng | Đơn giá | Thời hạn | Khấu hao 1 năm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | | *6* |
| **A** | **Thiết bị hiện có** (tính giá trị còn lại) | | | **780** | | **39** |
| **I** | **Thiết bị công nghệ** | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hệ thống vận chuyển trong x-ưởng | Chiếc | 1 | 80 | 20 | 4 |
| **II** | **Thiết bị thử nghiệm, đo lường** | | | | | |
| 1 | Máy đo độ cứng thô đại | Chiếc | 1 | 100 | 20 | 5 |
| 2 | Thiết bị thử độ bền kéo, nén | Chiếc | 1 | 300 | 20 | 15 |
| 3 | Kính hiển vi kim loại học | Chiếc | 1 | 150 | 20 | 7.5 |
| 4 | Thiết bị thử độ dai va đập | Chiếc | 1 | 150 | 20 | 7.5 |
| | **Tổng** | | | | | **39** |
| **B** | **Thiết bị mới** | | | **10** | | **5** |
| 1 | Thiết kế và chế tạo các loại đồ gá | *chiếc* | 1 | 10 | 2 | 5 |
| | **Tổng** | | | | | **44** |

- Khấu hao thiết bị và tài sản cố định được tính theo quy định của Nhà nước đối với từng loại thiết bị của từng ngành kinh tế tương ứng.

*Bảng 6. 12: Đầu tư cơ sở hạ tầng*

*Đơn vị tính: Triệu đồng*

**Nhà xưởng xây dựng mới và cải tạo**

| TT | Nội dung | Kinh phí |
|---|---|---|
| 1 | **Xây dựng nhà xưởng mới** | 0 |
| 2 | **Chi phí sửa chữa cải tạo:** | **80** |
| | Lắp đặt hệ thống ống nước | *10* |
| | Lắp đặt hệ thống khí thải | *5* |
| | Chi phí lắp đặt hệ thống điện | |
| | * Lắp đặt hệ thống dây dẫn | *10* |
| | * Lắp đặt biến thế | *30* |
| | Lắp đặt hệ thống vận chuyển | *22* |
| | Chi phí khác | *3* |
| | **Cộng** | **80** |

*Bảng 6. 13: Chi phí lao động*

*Đơn vị tính: Triệu đồng*

| TT | Nội dung | Số người | Số tháng | Chi phí | Thành tiền |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Chủ đầu tư | 1 | 12 | 1 | *12* |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Kỹ sư | 2 | 12 | 3 | *72* |
| 4 | Công nhân | 6 | 12 | 2 | *144* |
| | **Cộng** | | | | **228** |

*Bảng 6. 14: Chi phí khác*

*Đơn vị tính: Triệu đồng*

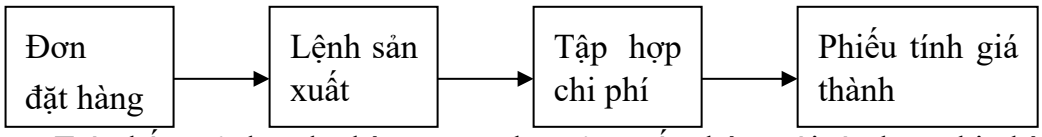
| TT | Nội dung | Đơn vị tính | Số lượng | Đơn giá | Thành tiền |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | **Quản lý phí** | | | | |
| | Quản lý hành chính thực hiện Dự án | | | | *30* |
| | **Tiếp thị, quảng cáo, hỗ trợ tiêu thụ sản phẩm** | | | | ***41,783*** |
| **2** | **Chi phí kiểm tra, đánh giá nghiệm thu:** | | | | ***9,27*** |
| **3** | **Chi khác:** | | | | |
| **3.1** | Hội thảo: Giới thiệu sản phẩm | | 1 | | ***6,4*** |
| | *Chủ trì* | Người | 1 | 0,2 | *0,2* |
| | *Thư ký hội thảo* | Người | 1 | 0,1 | *0,1* |
| | *Báo cáo tham luận* | BC | 5 | 0,5 | *2,5* |
| | *Đại biểu tham dự* | Người | 30 | 0,07 | *2,1* |
| | *Hội trường, nước uống, phục vụ* | Buổi | 1 | 1,5 | *1,5* |
| **3.2** | In ấn, văn phòng phẩm | | | | ***4,83*** |
| **4** | **Xe đi công tác, giao hàng** | chuyến | 7 | 1,5 | ***10,5*** |
| **5** | **Sửa chữa, bảo trì thiết bị** | | | | ***35*** |
| | **Cộng** | | | | **148** |

**Định giá bán sản phẩm và xác định doanh thu**

Hệ thống kế toán chi phí sản xuất và giá thành sản xuất theo công việc được áp dụng đối với doanh nghiệp sản xuất sản phẩm đơn chiếc, hoặc sản xuất hàng loạt với khối lượng nhỏ theo đơn đặt hàng. Yêu cầu quản lý đòi hỏi phải biết được chi phí sản xuất và giá thành của từng đơn đặt hàng.

Đối tượng tập hợp chi phí sản xuất là từng đơn đặt hàng. Trong trường hợp này chúng tôi khảo sát nhu cầu cơ sở tiêu thụ nói trong phần 3.1, dựa vào cơ sở vật chất và năng lực hiện tại để lấy một phần nhu cầu tiêu thụ của họ làm đơn đặt hàng, ước tính khoảng 100 tấn sản phẩm trong một năm. Đối tượng tính giá thành là từng đơn đặt hàng hoàn thành. Mỗi một đơn đặt hàng được mở riêng một phiếu tính giá thành theo công việc để phản ánh chi phí sản xuất của từng đơn đặt hàng từ khi chúng bắt đầu cho đến khi hoàn thành đơn đặt hàng. Quá trình xử lý đơn đặt hàng, sản xuất

và tập hợp chi phí sản xuất, tính giá thành theo công việc được thực hiện theo trình tự sau:




Trên kết quả đơn đặt hàng, năng lực sản xuất chúng tôi tập hợp chi phí và giá thành của sản phẩm như sau:

*Bảng 6. 15: Tổng chi phí và giá thành sản phẩm*

| | **Nội dung** | **Tổng số chi phí (1000đ)** | **Ghi chú** |
|---|---|---|---|
| ***1*** | ***2*** | ***3*** | ***4*** |
| | | ***100 tấn sản phẩm răng gầu quặng*** | |
| **A** | **Chi phí trực tiếp** | **1.988.184** | |
| 1 | Nguyên vật liệu, bao bì | 1.495.000 | Bảng 1 |
| 2 | Điện, nước, xăng dầu | 200.100 | Bảng 2 |
| 3 | Chi phí lao động | 228.000 | Bảng 5 |
| 4 | Sửa chữa, bảo trì thiết bị | 35.000 | Bảng 6 |
| 5 | Chi phí quản lý | 30.084 | Bảng 6 |
| **B** | **Chi phí gián tiếp và khấu hao tài sản cố định** | **370.783** | |
| 6 | Khấu hao thiết bị | | Bảng 3c |
| | - Khấu hao thiết bị cũ | 39.000 | |
| | - Khấu hao thiết bị mới | 5.000 | |
| 7 | Khấu hao nhà xưởng | | Bảng 3b |
| | - Khấu hao nhà xưởng cũ | | |
| | - Khấu hao nhà xưởng mới | | |
| 8 | Thuê thiết bị | 205.000 | Bảng 3b |
| 9 | Thuê nhà xưởng | | |
| 10 | Đầu tư cơ sở hạ tầng | 80.000 | Bảng 4 |
| 11 | Tiếp thị, quảng cáo | 41.783 | Bảng 6 |
| 12 | Khác (trả lãi vay, các loại phí,...) | | |
| - Tổng chi phí sản xuất (A+B): | | 2.358.967 | |
| - Giá thành 1 tấn sản phẩm: | | **23589,67** | |

Mục đích kinh doanh là lợi nhuận tối đa, song trước hết các doanh nghiệp hay nhà sản xuất phải bù đắp được các chi phí bỏ ra và có lãi, sau đó sẽ tối đa hóa lợi nhuận. Như vậy giá bán sản phẩm mong muốn là giá mà trước hết phải đủ để bù đắp, trang trải các chi phí và có lãi. Chính vì vậy, trong quá trình định giá bán sản phẩm

phải nghiên cứu xem xét kỹ phạm vi các chi phí được giới hạn, tính toán như thế nào vào trong giá bán sản phẩm phù hợp với yêu cầu quản trị sản xuất.

Giá bán sản phẩm là nhân tố có ảnh hưởng trực tiếp đến doanh thu, kết quả (lỗ, lãi) của doanh nghiệp hay nhà sản xuất. Chúng ta biết rằng lợi nhuận đạt được tối đa khi mà số chênh lệch dương giữa tổng doanh thu và tổng chi phí là lớn nhất, do đó phương trình kinh tế cơ bản xác định lợi nhuận là:

Lợi nhuận = Doanh thu – Chi phí

Trong quá trình định giá bán sản phẩm, điều quan trọng mong muốn trước hết là giá bán đủ để bù đắp chi phí và đạt được mức lợi nhuận mong muốn. Với quan điểm trên, các doanh nghiệp hay nhà sản xuất thường xác định giá bán của sản phẩm theo phương pháp thông thường. Phương pháp này lấy chi phí gốc làm cơ sở rồi đưa thêm phần chi phí khác gọi là phần tiền cộng thêm để xác định giá bán sản phẩm. Với cách xác định trên, giá bán sản phẩm được xác định như sau:

Giá bán sản phẩm = Chi phí gốc + Phần tiền cộng thêm

Phần tiền cộng thêm thường được tính theo tỷ lệ cộng thêm để cùng với chi phí gốc bù đắp được chi phí bỏ ra và thỏa mãn mức hoàn vốn mong muốn. Chi phí gốc là toàn bộ chi phí sản xuất của sản phẩm (giá thành sản xuất), bao gồm:

- Chi phí nguyên vật liệu trực tiếp
- Chi phí nhân công trực tiếp
- Chi phí sản xuất chung.

Căn cứ vào chính sách định giá bán sản phẩm của nhà sản xuất để xác định phần tiền cộng thêm đủ để bù đắp phần chi phí bán hàng và chi phí quản lý tính cho sản phẩm tiêu thụ và đạt lợi nhuận mong muốn.

Căn cứ vào số liệu bảng 7 ta có thể xác định giá bán sản phẩm như sau:

- Trước hết, xác định phần chi phí gốc, căn cứ vào bảng 7 ta tính được tổng giá thành là 2.358.967 (đơn vị tính 1000đ) và giá thành đơn vị là 23.589,67.

**- Tiếp theo xác định phần tiền cộng thêm vào chi phí gốc dựa vào tỷ lệ phần trăm chi phí cộng thêm và tổng giá thành sản xuất sản phẩm.**

$$\textbf{Tỷ lệ \% cộng thêm} = \frac{\text{Mức hoàn vốn mong muốn} + \text{Chi phí bán hàng và QL theo kế hoạch}}{\text{Chi phí gốc theo kế hoạch}} \times 100$$

$$= \frac{(10\% \times 22.139{,}670) + (41.783 + 30.084)}{(1.495.000 + 200.100) + 83.000 + 364.000} = 4\%$$

Số tiền cộng thêm là 94.358,68 (4% × 2.358.967), tương ứng tính cho một tấn sản phẩm là 943,5868

Cuối cùng xác định tổng giá bán và giá bán đơn vị sản phẩm tương ứng là:

2.453.325,68 (2.358.967+94.358,68) và 24.533,2568 (23.589,67+943,5868)

Qua kết quả tính toán trên, ta thấy nếu tiêu thụ hết 100 tấn sản phẩm thì kết quả như sau:

Tổng giá bán : 2.453.325,68
Giá vốn bán hàng : 2.358.967
Chi phí bán hàng : 41.783
Chi phí quản lý : 30.084
Kết quả tiêu thụ : + 22.491,68 → lãi

Như vậy, với số tiền cộng thêm là 94.358,68 đã bù đắp được phần chi phí bán hàng, chi phí quản lý sản xuất và còn đạt lãi là 22.491,68 với tỷ lệ hoàn vốn đầu tư thực tế là 22.491,68 /2.453.325,68 = 9%.

## 6.3. Kết luận chương 6

Quy trình chế tạo răng gầu từ thép Mn thấp biến tính Ti có tính khả thi ở quy mô sản xuất thử khoảng 100 tấn/năm. Tổng chi phí sản xuất ước khoảng 2.358,967 triệu đồng, tương ứng giá thành khoảng 23,59 triệu đồng/tấn. Với phương án giá bán được tính toán, sản xuất 100 tấn có thể đạt lãi khoảng 22,49 triệu đồng.

Hiệu quả có thể tiếp tục nâng cao bằng cách tối ưu lượng ferro hợp kim và Ti, tăng hiệu suất thu hồi vật đúc, giảm phế phẩm, tái sử dụng cát khuôn và tái luyện sản phẩm không đạt. Trước khi sản xuất hàng loạt cần thử nghiệm tối thiểu khoảng 10 bộ sản phẩm, kiểm tra đầy đủ thành phần, tổ chức, cơ tính và siêu âm UT, đồng thời cập nhật giá bán, lợi nhuận và thời gian hoàn vốn theo giá thị trường thực tế.

# KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

## Kết luận

Đề tài "Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim mangan thấp, ứng dụng chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn" đã hoàn thành các mục tiêu đặt ra. Đề tài rút ra các kết luận khoa học và thực tiễn trọng tâm như sau:

### 1. Kết luận về xây dựng quy trình công nghệ nấu luyện

Đã xây dựng được quy trình nấu luyện thép hợp kim Mn thấp sử dụng **lò điện cảm ứng trung tần dung tích 1–1,5 tấn**, phù hợp với điều kiện thiết bị và khả năng tổ chức sản xuất hiện có. Quy trình bao gồm các bước chuẩn bị và sấy lò, nạp liệu, nấu chảy, tạo xỉ che phủ, tinh luyện – hợp kim hóa, khử oxy, lấy mẫu kiểm tra thành phần và ra thép. Quá trình khử oxy được thực hiện bằng FeSi và khử oxy cuối bằng Al; các nguyên tố hợp kim được bổ sung theo yêu cầu thành phần của mác thép.

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc **biến tính kết hợp Al và Ti** có ảnh hưởng tích cực đến tổ chức và cơ tính của thép. So với thép không biến tính, việc bổ sung Ti với hàm lượng thích hợp góp phần làm nhỏ hạt, hạn chế sự phát triển của ferit tại biên hạt và tạo điều kiện hình thành các pha/hạt chứa Ti có tác dụng hóa bền. Mẫu biến tính kết hợp Al–Ti đạt tổ chức mịn hơn, cấp hạt khoảng 3,45 theo ASTM và độ dai va đập được cải thiện lên khoảng 13,3–13,6 J ở trạng thái khảo sát.

Thành phần hóa học của thép có Ti được xác định với khoảng **0,24% C; 1,58% Si; 1,02% Mn; 1,94% Cr; 0,23% Mo và 0,16% Ti**, cùng các nguyên tố vi hợp kim khác. Thành phần này tạo cơ sở để phát triển hệ thép Mn thấp có độ cứng tương đối cao nhưng vẫn duy trì được độ dai cần thiết cho chi tiết răng gầu.

Như vậy, **quy trình nấu luyện đã được chuẩn hóa ở mức phù hợp cho sản xuất thử nghiệm**, trong đó kiểm soát thành phần hóa học, quá trình khử oxy và biến tính Al–Ti là những yếu tố quan trọng quyết định chất lượng kim loại lỏng và tổ chức của vật đúc.

### 2. Kết luận về xây dựng quy trình công nghệ đúc

Đã xây dựng được quy trình công nghệ đúc răng gầu bằng phương pháp **đúc trong khuôn cát**, sử dụng cát thạch anh kết hợp với nước thủy tinh lỏng và đóng rắn bằng $CO_2$. Hệ thống rót, đậu ngót và ruột đúc được thiết kế phù hợp với hình dạng phức tạp và chiều dày thay đổi của sản phẩm răng gầu. Sản phẩm nghiên cứu có khối lượng

khoảng **24 kg**, chiều dày lớn nhất khoảng **40 mm**, do đó yêu cầu kiểm soát quá trình điền đầy và bù ngót tương đối cao.

Kết quả thực nghiệm xác định **nhiệt độ rót 1480–1490°C** là khoảng nhiệt độ phù hợp. Ở khoảng nhiệt độ này, kim loại lỏng có khả năng điền đầy khuôn tốt, hạn chế hiện tượng nguội sớm, đồng thời góp phần giảm các khuyết tật như rỗ khí, co ngót và không điền đầy.

Quy trình sau đúc gồm dỡ khuôn, làm sạch cát, cắt hệ thống rót – đậu ngót và kiểm tra sơ bộ bề mặt vật đúc. Những sản phẩm xuất hiện các khuyết tật nghiêm trọng như rỗ khí, nứt, co ngót hoặc không điền đầy được loại bỏ và tái luyện; các sản phẩm đạt yêu cầu được chuyển sang công đoạn xử lý nhiệt.

Như vậy, quy trình đúc đã được xây dựng theo hướng **kiểm soát đồng bộ từ chuẩn bị khuôn, nấu luyện – rót kim loại, đông đặc, dỡ khuôn đến làm sạch và kiểm tra vật đúc**, tạo cơ sở để nâng cao độ ổn định và giảm tỷ lệ phế phẩm khi sản xuất hàng loạt.

### 3. Kết luận về quy trình xử lý nhiệt

Xử lý nhiệt đóng vai trò quyết định trong việc điều chỉnh tổ chức sau đúc và tạo sự cân bằng giữa **độ cứng chống mài mòn và độ dai chống va đập**. Trên cơ sở kết quả thực nghiệm, quy trình xử lý nhiệt được xây dựng theo các bước thường hóa, tôi và ram nhằm loại bỏ hoặc cải thiện tổ chức thô sau đúc, đồng thời tạo tổ chức thích hợp cho điều kiện làm việc của răng gầu. Công đoạn thường hóa ở **900°C trong 4 giờ** được sử dụng để cải thiện tổ chức ban đầu trước các công đoạn tiếp theo.

Đối với chế độ xử lý nhiệt tối ưu theo kết quả thực nghiệm, thép được nung đến **650°C giữ 2 giờ, tiếp tục nung đến 920°C giữ 3 giờ, tôi nước và ram ở 250°C trong 6 giờ**. Với chế độ này, vật liệu đạt **độ cứng khoảng 50,3 HRC và độ dai va đập 57,5 J/cm²**. Tổ chức sau nhiệt luyện chủ yếu là **bainite kết hợp với austenite dư**, khoảng cách giữa các tấm ferrite khoảng 0,36–0,56 μm và độ hạt hiệu quả đạt cấp 4.

Ngoài ra, kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu bằng Design-Expert cho chế độ **tôi 893°C, ram 260°C trong 2 giờ** cho sự cân bằng tối ưu giữa độ cứng và độ dai va đập, tương ứng **43,7 HRC và 69,7 J/cm²**. Kết quả này cho thấy việc lựa chọn chế độ nhiệt luyện cần căn cứ vào mục tiêu sử dụng cụ thể: nếu ưu tiên khả năng chống mài mòn có thể lựa chọn vùng chế độ cho độ cứng cao hơn; nếu ưu tiên khả năng chịu va đập và hạn chế nứt gãy thì cần chú trọng đến sự cân bằng giữa độ cứng và độ dai.

**4. Nhận xét về tổ chức và cơ tính sản phẩm răng gầu**

Kết quả nghiên cứu cho thấy **biến tính Ti kết hợp với chế độ nhiệt luyện thích hợp đã tạo ra sự cải thiện rõ rệt về tổ chức và cơ tính của thép Mn thấp**. Ti có tác dụng thúc đẩy quá trình tinh luyện hạt và tạo các hạt chứa Ti, từ đó hạn chế sự phát triển của hạt austenite và góp phần làm tổ chức sau nhiệt luyện đồng đều hơn.

Sau xử lý nhiệt, tổ chức của thép có xu hướng chuyển từ tổ chức thô, không đồng nhất sau đúc sang tổ chức **bainite mịn kết hợp với austenite dư**, trong đó các tấm ferrite có kích thước nhỏ và phân bố tương đối đồng đều. Tổ chức này có ý nghĩa tích cực đối với khả năng chịu tải động, vì bainite cung cấp độ bền và độ cứng cần thiết, trong khi austenite dư góp phần cải thiện khả năng hấp thụ năng lượng va đập và hạn chế sự phát triển của nứt.

Về cơ tính, sản phẩm sau xử lý nhiệt đạt **độ cứng khoảng 50,3 HRC và độ dai va đập 57,5 J/cm²** ở chế độ được xác định từ thực nghiệm; đồng thời, chế độ tối ưu hóa đa mục tiêu cho phép đạt **43,7 HRC và 69,7 J/cm²**. Điều này chứng minh khả năng điều chỉnh linh hoạt tổ chức và cơ tính thông qua chế độ nhiệt luyện. Nhìn chung, các giá trị độ cứng và độ dai thu được cho thấy vật liệu có **sự cân bằng tương đối tốt giữa khả năng chống mài mòn và khả năng chống phá hủy do va đập**, phù hợp với yêu cầu làm việc của răng gầu – chi tiết thường chịu đồng thời tải trọng động, va đập và mài mòn. Việc đánh giá sản phẩm thực tế cần được kết hợp giữa kiểm tra cơ tính và kiểm tra không phá hủy bằng siêu âm (UT) để phát hiện các khuyết tật bên trong, đồng thời thực hiện trên nhiều bộ sản phẩm để đánh giá tính lặp lại của quy trình.

**5. Kết luận về hiệu quả kinh tế – kỹ thuật**

Phân tích kinh tế được thực hiện với quy mô sản xuất thử nghiệm khoảng **100 tấn răng gầu/năm** trên cơ sở nhu cầu thị trường, năng lực thiết bị và nguồn lực hiện có. Tổng chi phí nguyên vật liệu dự kiến khoảng **1.495 triệu đồng**, trong đó thép vụn là thành phần chi phí lớn nhất, khoảng 1.200 triệu đồng; các ferro hợp kim Mn, Cr, Ti và V lần lượt đóng góp khoảng 90, 80, 40 và 80 triệu đồng.

Tổng chi phí trực tiếp cho 100 tấn sản phẩm khoảng **1.988,184 triệu đồng**, bao gồm nguyên vật liệu, năng lượng, lao động, sửa chữa – bảo trì và quản lý. Chi phí gián tiếp và khấu hao tài sản cố định khoảng **370,783 triệu đồng**, đưa tổng chi phí sản xuất lên khoảng **2.358,967 triệu đồng**. Giá thành tính toán đạt khoảng **23,59 triệu đồng/tấn sản phẩm**. Cơ cấu chi phí cho thấy **nguyên vật liệu là yếu tố chi phối chủ yếu đến giá thành**, tiếp theo là năng lượng và lao động. Do đó, hiệu quả kinh tế của

quy trình có thể tiếp tục được cải thiện thông qua tăng tỷ lệ sử dụng thép phế phù hợp, tối ưu hóa lượng ferro hợp kim và Ti, giảm hao hụt kim loại, nâng cao hiệu suất thu hồi vật đúc, giảm tỷ lệ phế phẩm và nâng cao năng suất của lò nấu – dây chuyền đúc. Việc tái sử dụng cát khuôn và tái luyện các sản phẩm không đạt yêu cầu cũng góp phần giảm chi phí vật tư và hạn chế tổn thất trong quá trình sản xuất.

Như vậy, xét trên phương diện **kinh tế – kỹ thuật**, quy trình chế tạo răng gầu từ thép Mn thấp biến tính Ti có tính khả thi đối với quy mô sản xuất thử nghiệm. Việc sử dụng hệ thống thiết bị hiện có, kết hợp với quy trình nấu luyện – đúc – nhiệt luyện đã được xác lập, cho phép hạn chế nhu cầu đầu tư mới và tạo điều kiện thuận lợi cho việc triển khai sản xuất. Tuy nhiên, trước khi thương mại hóa ở quy mô lớn cần tiếp tục xác định giá bán, doanh thu, lợi nhuận và thời gian hoàn vốn theo giá thị trường tại thời điểm triển khai sản xuất.

## 6. Kết luận chung

Từ các kết quả nghiên cứu có thể khẳng định rằng **quy trình công nghệ chế tạo răng gầu từ thép hợp kim Mn thấp biến tính Ti đã được xây dựng tương đối hoàn chỉnh**, bao gồm các khâu nấu luyện – hợp kim hóa – biến tính, đúc trong khuôn cát, xử lý nhiệt và kiểm tra chất lượng sản phẩm. Quy trình nấu luyện bảo đảm kiểm soát thành phần hóa học và chất lượng kim loại lỏng; quy trình đúc với nhiệt độ rót 1480–1490°C tạo điều kiện điền đầy khuôn và hạn chế khuyết tật; quy trình nhiệt luyện cho phép điều chỉnh tổ chức và cơ tính theo yêu cầu sử dụng.

Sản phẩm răng gầu thu được có tổ chức tương đối mịn, chủ yếu là bainite kết hợp austenite dư sau chế độ nhiệt luyện thích hợp, đạt độ cứng khoảng **43,7–50,3 HRC** và độ dai va đập khoảng **57,5–69,7 J/cm²** tùy chế độ xử lý nhiệt. Sự kết hợp giữa độ cứng và độ dai cho thấy vật liệu có tiềm năng đáp ứng yêu cầu làm việc trong điều kiện **mài mòn kết hợp va đập**, đồng thời tạo cơ sở để phát triển sản phẩm răng gầu thay thế một phần các sản phẩm nhập khẩu. Về triển khai sản xuất, cần tiếp tục kiểm chứng trên **ít nhất 10 bộ sản phẩm răng gầu**, kết hợp kiểm tra thành phần hóa học, tổ chức tế vi, độ cứng, cơ tính và siêu âm UT để đánh giá tính ổn định, khả năng lặp lại và mức độ khuyết tật của sản phẩm trước khi chuyển sang sản xuất hàng loạt. Đây là bước cần thiết để chuyển kết quả từ quy mô nghiên cứu sang quy mô sản xuất công nghiệp ổn định.

# TÀI LIỆU THAM KHẢO


[1] D.N. Nguyen, D.N. Nguyen, M.K. Pham, Influence of rare-earth on the microstructure and mechanical properties of high manganese steel under impact load, Acta Metall. Slovaca 25 (2019) 158–165. https://doi.org/10.12776/ams.v25i3.1309.

[2] P.H. Adler, G.B. Olson, W.S. Owen, Strain Hardening of Hadfield Manganese Steel, Metall. Mater. Trans. A 17 (1986) 1725–1737. https://doi.org/10.1007/BF02817271.

[3] R.W. Smith, A. DeMonte, W.B.F. Mackay, Development of high-manganese steels for heavy duty cast-to-shape applications, J. Mater. Process. Technol. 153–154 (2004) 589–595. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.136.

[4] L. Griffing, Austenitic Manganese Steel, in: Weld. Handb., Macmillan Education UK, London, 1972: pp. 173–201. https://doi.org/10.1007/978-1-349-01068-4_6.

[5] K.M. Pham, T.T. Le, N.T. Le, T.A. Vu, Q.V. Vu, N.D. Nguyen, Effect of element addition and heat treatment process on the properties of high manganese steel, Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. 9 (2019). https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.4.8801.

[6] L. Li, G. Su, X. Bin Li, Microstructural evolution and mechanical properties of low C-Mn steels subjected to accelerated cooling, in: Mater. Sci. Forum, 2017. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.893.245.

[7] L. Sun, C.-G. Zhang, Z. Lei, Phase transition behavior of low manganese Pipeline, Shanghai Met. 4 (2015).

[8] A. Nagode, A. Resnik, R. Vertnik, M. Bizjak, B. Kosec, M. Gojić, G. Kosec, B. Šarler, B. Zorc, The development of a banded microstructure in S355J2 steel bar, Kov. Mater. 55 (2017). https://doi.org/10.4149/km-2017-1-51.

[9] B. Białobrzeska, R. Jasiński, R. Dziurka, P. Bała, Effect of Chromium and Titanium on the Microstructure and Mechanical Properties of Cast Steel, J. Min. Metall. Sect. B Metall. 60 (2024) 235–257. https://doi.org/10.2298/JMMB240424023B.

[10] J. Hu, L.X. Du, H. Liu, G.S. Sun, H. Xie, H.L. Yi, R.D.K. Misra, Structure-mechanical property relationship in a low-C medium-Mn ultrahigh strength heavy plate steel with austenite-martensite submicro-laminate structure, Mater. Sci. Eng. A 647 (2015). https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.09.008.

[11] J. Hu, L.X. Du, Y. Dong, Q.W. Meng, R.D.K. Misra, Effect of Ti variation on microstructure evolution and mechanical properties of low carbon medium Mn heavy plate steel, Mater. Charact. 152 (2019). https://doi.org/10.1016/j.matchar.2019.04.004.

[12] Z. Zhan, Z. Wang, Z. Shi, Y. Yang, W. Lu, H. Wang, Z. Wang, F. Chai, X. Luo, Effect of chromium and molybdenum addition on the matching

mechanism of strength−ductility−toughness of low carbonmedium manganese steel, J. Mater. Res. Technol. 31 (2024). https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.06.236.

[13] R. xiao Zhang, J. he Yan, G. long Liu, M. he Zhang, Y. li Feng, Data-driven and multi-mechanism strengthening based yield strength prediction in medium-manganese low-density steels, Mater. Today Commun. 48 (2025). https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2025.113263.

[14] X. Rong, B. Hu, H. Guo, M. Enomoto, C. Shang, Influence of cold rolling on the stability of retained austenite and mechanical properties of a Cu bearing low carbon low manganese steel, Mater. Sci. Eng. A 850 (2022). https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.143455.

[15] Z. Hu, H. Fu, Effect of Si Content on Microstructure and Properties of Low-Carbon Medium-Manganese Steel after Intercritical Heat Treatment, Metals (Basel). 14 (2024). https://doi.org/10.3390/met14060675.

[16] V.N. Nguyen, D.N. Nguyen, J. Kozak, X.P. Nguyen, D.T. Nguyen, A Study on the Effects of Cold Deformation on CMnSi Steel Structures Utilised in the Shipbuilding Industry, Polish Marit. Res. 31 (2024) 135–141. https://doi.org/10.2478/pomr-2024-0043.

[17] V.N. Nguyen, A.X. Nguyen, D.T. Nguyen, H.C. Le, V.P. Nguyen, A Comprehensive Understanding of Bainite Phase Transformation Mechanism in TRIP Bainitic-supported Ferrite Steel, Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. 14 (2024) 309–324. https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.1.19706.

[18] X. Wu, Z. Li, Z. Rao, Y. Ikeda, B. Dutta, F. Körmann, J. Neugebauer, D. Raabe, Role of magnetic ordering for the design of quinary TWIP-TRIP high entropy alloys, Phys. Rev. Mater. 4 (2020). https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.4.033601.

[19] M. Wolff, M. Böhm, M. Dalgic, I. Hüßler, Evaluation of models for TRIP and stress-dependent transformation behaviour for the martensitic transformation of the steel 100Cr6, Comput. Mater. Sci. 43 (2008). https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2007.07.040.

[20] P. Tiwari, A. Varshney, A Review on Measurement Techniques of Deformation-Induced Transformation Kinetics in Transformation-Induced Plasticity and Transformation-Induced Plasticity-Assisted Steels, Steel Res. Int. 95 (2024). https://doi.org/10.1002/srin.202300341.

[21] C. Burkhardt, S. Henkel, H. Biermann, A. Weidner, Influence of alloy composition on microstructural and mechanical properties of lattice structures made of high-alloyed austenitic TRIP/TWIP steel produced by selective electron beam melting, Mater. Sci. Eng. A 930 (2025). https://doi.org/10.1016/j.msea.2025.148073.

[22] D. Yu, Y. Chen, L. Huang, K. An, Tracing phase transformation and lattice evolution in a TRIP sheet steel under high-temperature annealing by real-time

in situ neutron diffraction, Crystals 8 (2018). https://doi.org/10.3390/cryst8090360.

[23] G. Golaěski, P. Wieczorek, Precipitation of carbides in Cr – Mo – V cast steel after service and regenerative heat treatment, Arch. Foundry Eng. 9 (2009) 97–102.

[24] M. Gholambargani, Y. Palizdar, A. Khanlakhani, Microstructure and mechanical properties of 0.2C-3.9Al-1.12Mn-0.3Mo δ-TRIP steel as a function of isothermal bainitic transformation temperature, J. Met. Mater. Miner. 33 (2023). https://doi.org/10.55713/JMMM.V33I4.1723.

[25] A. Ma, A. Hartmaier, A study of deformation and phase transformation coupling for TRIP-assisted steels, Int. J. Plast. 64 (2015). https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2014.07.008.

[26] S. Toros, F. Öztürk, 3D microstructural finite element simulation of martensitic transformation of TRIP steels, Lat. Am. J. Solids Struct. 15 (2018). https://doi.org/10.1590/1679-78254533.

[27] H.T.N. Quyen, V.A. Tuan, T.P. Dong, V.V. Quyen, N.D. Nam, Effect of rare earth on M 7 C 3 eutectic carbide in 13% chromium alloy cast Iron, Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. 9 (2019) 724–728. https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.2.8249.

[28] K.Q. Dang, Q.A. Hoang, H. Van Tran, M.C. Nguyen, H. Van Pham, H.M. Le, DENSIFICATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF FeMn13-TiC COMPOSITE FABRICATED BY PULSED ELECTRIC CURRENT SINTERING PROCESS, Acta Metall. Slovaca 24 (2018) 273. https://doi.org/10.12776/ams.v24i4.1195.

[29] M. Khanh Pham, D. Nam Nguyen, A. Tuan Hoang, Influence of Vanadium Content on the Microstructure and Mechanical Properties of High-Manganese Steel, Int. J. Mech. Mechatronics Eng. 18 (2018) 141–147. http://ijens.org/Vol_18_I_02/182002-6969-IJMME-IJENS.pdf (accessed 30 March 2019).

[30] M.K. Pham, D.N. Nguyen, A.T. Hoang, Influence of vanadium content on the microstructure and mechanical properties of high-manganese steel, Int. J. Mech. Mechatronics Eng. 18 (2018) 141–147.

[31] G. Golanski, S. Stachura, J. Kupczyk, B. Kucharska-Gajda, Heat treatment of cast steel using normalization and intercritical annealing, Arch. Foundry Eng. 7 (2007) 123–126.

[32] K. Panchal, Life Improvement of Hadfield Manganese Steel Castings, Int. J. Sci. Dev. Res. 1 (2018) 817–825. https://www.researchgate.net/publication/325168862.

[33] A. Zieliński, J. Dobrzański, H. Krztoń, Structural changes in low alloy cast steel Cr-Mo-V after long time creep service, 25 (2007) 33–36.

[34] W.P. Limited, Steels for aircraft structures, Introd. to Aerosp. Mater. (2012) 232–250. https://doi.org/10.1533/9780857095152.232.

[35] R.C. Voigt, Analysis of intercritical heat treatment of cast steels, J. Heat Treat. 7 (1989) 95–105. https://doi.org/10.1007/BF02833194.

[36] R. Xiong, H. Peng, H. Si, W. Zhang, Y. Wen, Thermodynamic calculation of stacking fault energy of the Fe-Mn-Si-C high manganese steels, Mater. Sci. Eng. A 598 (2014) 376–386. https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.01.046.

[37] A. Saeed-Akbari, J. Imlau, U. Prahl, W. Bleck, Derivation and variation in composition-dependent stacking fault energy maps based on subregular solution model in high-manganese steels, Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci. 40 (2009) 3076–3090. https://doi.org/10.1007/s11661-009-0050-8.

[38] W.S. Yang, C.M. Wan, The influence of aluminium content to the stacking fault energy in Fe-Mn-Al-C alloy system, J. Mater. Sci. 25 (1990) 1821–1823. https://doi.org/10.1007/BF01045392.

[39] S.S. Babu, E.D. Specht, S.A. David, E. Karapetrova, P. Zschack, M. Peet, H.K.D.H. Bhadeshia, In-situ observations of lattice parameter fluctuations in austenite and transformation to bainite, Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci. 36 (2005) 3281–3289. https://doi.org/10.1007/s11661-005-0002-x.

[40] G.B. Olson, M. Cohen, A general mechanism of martensitic nucleation: Part II. FCC → BCC and other martensitic transformations, Metall. Trans. A 7 (1976) 1905–1914. https://doi.org/10.1007/BF02659823.

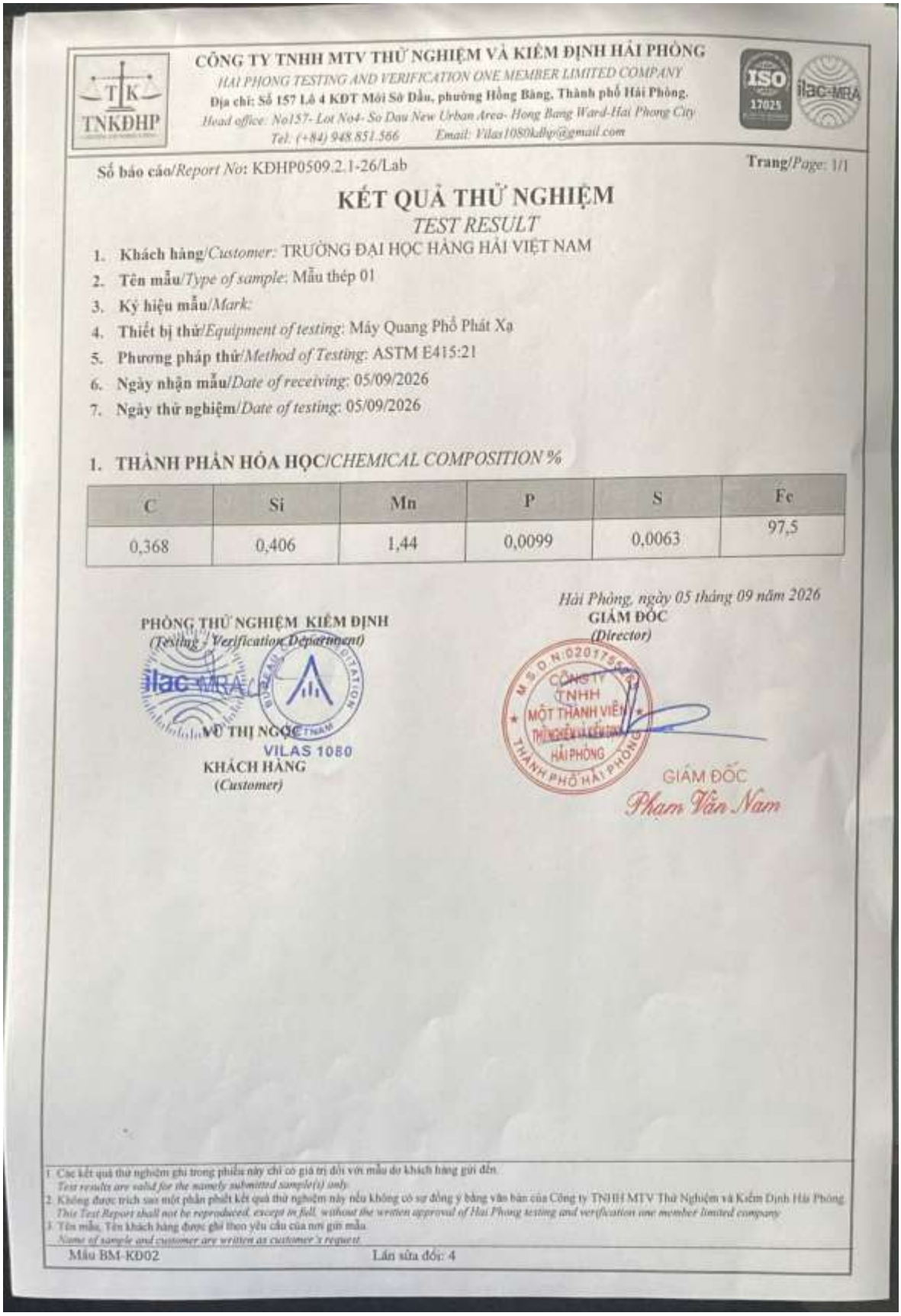
[41] O. Hajizad, A. Kumar, Z. Li, R.H. Petrov, J. Sietsma, R. Dollevoet, Influence of Microstructure on Mechanical Properties of Bainitic Steels in Railway Applications, Metals 9 (2019) 778. https://doi.org/10.3390/met9070778.

[42] T.J. Gschwandl, T.M. Weniger, T. Antretter, D. Künstner, S. Scheriau, W. Daves, Experimental and Numerical Visualisation of Subsurface Rail Deformation in a Full-Scale Wheel–Rail Test Rig, Metals 13 (2023) 1089. https://doi.org/10.3390/met13061089.

[43] voestalpine Railway Systems, Rail Technology – Heat-treated high-performance rails for highspeed traffic. https://www.voestalpine.com/railway-systems/fr/applications/high-speed-traffic/rail-technology/ (truy cập ngày 12/10/2026).

[44] voestalpine Track Solutions Netherlands, Rails – Rail profiles and steel grades. https://railway-systems-shop.voestalpine.com/en_GB/page/2360/rails/ (truy cập ngày 12/10/2026).

# PHỤ LỤC



CÔNG TY TNHH MTV THỬ NGHIỆM VÀ KIỂM ĐỊNH HẢI PHÒNG
*HAI PHONG TESTING AND VERIFICATION ONE MEMBER LIMITED COMPANY*
**Địa chỉ: Số 157 Lô 4 KĐT Mới Sở Dầu, phường Hồng Bàng, Thành phố Hải Phòng.**
*Head office: No157- Lot No4- So Dau New Urban Area- Hong Bang Ward-Hai Phong City*
*Tel: (+84) 948 851 566 Email: Vilas1080kdhp@gmail.com*

TNKĐHP

**Số báo cáo**/*Report No*: KĐHP0509.2.1-26/Lab **Trang**/*Page*: 1/1

## KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM
## *TEST RESULT*

1. **Khách hàng**/*Customer:* TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM
2. **Tên mẫu**/*Type of sample*: Mẫu thép 01
3. **Ký hiệu mẫu**/*Mark:*
4. **Thiết bị thử**/*Equipment of testing*: Máy Quang Phổ Phát Xạ
5. **Phương pháp thử**/*Method of Testing*: ASTM E415:21
6. **Ngày nhận mẫu**/*Date of receiving*: 05/09/2026
7. **Ngày thử nghiệm**/*Date of testing*: 05/09/2026

### 1. THÀNH PHẦN HÓA HỌC/*CHEMICAL COMPOSITION %*

| C | Si | Mn | P | S | Fe |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,368 | 0,406 | 1,44 | 0,0099 | 0,0063 | 97,5 |

*Hải Phòng, ngày 05 tháng 09 năm 2026*

**PHÒNG THỬ NGHIỆM KIỂM ĐỊNH**
*(Testing / Verification Department)*

**VŨ THỊ NGỌC**

VILAS 1080

**KHÁCH HÀNG**
*(Customer)*

**GIÁM ĐỐC**
*(Director)*

CÔNG TY TNHH MỘT THÀNH VIÊN THỬ NGHIỆM VÀ KIỂM ĐỊNH HẢI PHÒNG

GIÁM ĐỐC
*Phạm Văn Nam*

1. Các kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gửi đến.
*Test results are valid for the namely submitted sample(s) only.*
2. Không được trích sao một phần phiếu kết quả thử nghiệm này nếu không có sự đồng ý bằng văn bản của Công ty TNHH MTV Thử Nghiệm và Kiểm Định Hải Phòng.
*This Test Report shall not be reproduced, except in full, without the written approval of Hai Phong testing and verification one member limited company.*
3. Tên mẫu, Tên khách hàng được ghi theo yêu cầu của nơi gửi mẫu.
*Name of sample and customer are written as customer's request.*

Mẫu BM-KD02 Lần sửa đổi: 4

CÔNG TY TNHH MTV THỬ NGHIỆM VÀ KIỂM ĐỊNH HẢI PHÒNG
*HAI PHONG TESTING AND VERIFICATION ONE MEMBER LIMITED COMPANY*
**Địa chỉ: Số 157 Lô 4 KĐT Mới Sở Dầu, phường Hồng Bàng, Thành phố Hải Phòng.**
*Head office: No157- Lot No4- So Dau New Urban Area- Hong Bang Ward-Hai Phong City*
*Tel: (+84) 948.851.566 Email: Vilas1080kdhp@gmail.com*

**Số báo cáo**/*Report No*: KDHP0809.1.1-26/Lab



# KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM
## *TEST RESULT*

1. **Khách hàng**/*Customer*: TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM
2. **Tên mẫu**/*Type of sample*: Mẫu thép 01
3. **Ký hiệu mẫu**/*Mark*:
4. **Thiết bị thử**/*Equipment of testing*: Máy Quang Phổ Phát Xạ
5. **Phương pháp thử**/*Method of Testing*: ASTM E415:21
6. **Ngày nhận mẫu**/*Date of receiving*: 08/09/2026
7. **Ngày thử nghiệm**/*Date of testing*: 08/09/2026

### 1. THÀNH PHẦN HÓA HỌC/*CHEMICAL COMPOSITION %*

| C | Si | Mn | Cr | Mo | Ni | Al | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,216 | 1,42 | 1,00 | 1,83 | 0,210 | 0,368 | 0,0394 | 0,159 |

*Hải Phòng, ngày 08 tháng 09 năm 2026*

**PHÒNG THỬ NGHIỆM KIỂM ĐỊNH**
***(Testing - Verification Department)***

**VŨ THỊ NGỌC**

**GIÁM ĐỐC**
***(Director)***

VILAS 1080

**KHÁCH HÀNG**
***(Customer)***

GIÁM ĐỐC
*Phạm Văn Nam*

1. Các kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gửi đến.
*Test results are valid for the namely submitted sample(s) only.*
2. Không được trích sao một phần phiếu kết quả thử nghiệm này nếu không có sự đồng ý bằng văn bản của Công ty TNHH MTV Thử Nghiệm và Kiểm Định Hải Phòng.
*This Test Report shall not be reproduced, except in full, without the written approval of Hai Phong testing and verification one member limited company.*
3. Tên mẫu, Tên khách hàng được ghi theo yêu cầu của nơi gửi mẫu.
*Name of sample and customer are written as customer's request.*

CÔNG TY TNHH MTV THỬ NGHIỆM VÀ KIỂM ĐỊNH HẢI PHÒNG
*HAI PHONG TESTING AND VERIFICATION ONE MEMBER LIMITED COMPANY*
**Địa chỉ: Số 157 Lô 4 KĐT Mới Sở Dầu, phường Hồng Bàng, Thành phố Hải Phòng.**
*Head office: No157- Lot No4- So Dau New Urban Area- Hong Bang Ward-Hai Phong City*
*Tel: (+84) 948.851.566 Email: Vilas1080kdhp@gmail.com*

**Số báo cáo**/*Report No*: KĐHP0509.2.3-26/Lab 

# KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM
## *TEST RESULT*

1. **Khách hàng**/*Customer*: TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM
2. **Tên mẫu**/*Type of sample*: Mẫu thép 01
3. **Ký hiệu mẫu**/*Mark*:
4. **Thiết bị thử**/*Equipment of testing*: Máy thử độ cứng Vicker
5. **Phương pháp thử**/*Method of Testing*: IACS Rules 2017
6. **Ngày nhận mẫu**/*Date of receiving*: 05/09/2026
7. **Ngày thử nghiệm**/*Date of testing*: 05/09/2026

### 1. ĐỘ CỨNG/ *HARDNESS TEST*

| Kết quả (HRC) | | |
|---|---|---|
| Vị trí 1 | Vị trí 2 | Vị trí 3 |
| 49,3 | 49,4 | 49,5 |

*Hải Phòng, ngày 05 tháng 09 năm 2026*

**PHÒNG THỬ NGHIỆM- KIỂM ĐỊNH**
*(Testing - Verification Department)*

VILAS 1080

**VŨ THỊ NGỌC**

**KHÁCH HÀNG**
*(Customer)*

**GIÁM ĐỐC**
*(Director)*

CÔNG TY TNHH MỘT THÀNH VIÊN THỬ NGHIỆM VÀ KIỂM ĐỊNH HẢI PHÒNG

GIÁM ĐỐC
*Phạm Văn Nam*

1. Các kết quả thử nghiệm ghi trong phiếu này chỉ có giá trị đối với mẫu do khách hàng gửi đến.
*Test results are valid for the namely submitted sample(s) only.*
2. Không được trích sao một phần phiếu kết quả thử nghiệm này nếu không có sự đồng ý bằng văn bản của Công ty TNHH MTV Thử Nghiệm và Kiểm Định Hải Phòng.
*This Test Report shall not be reproduced, except in full, without the written approval of Hai Phong testing and verification one member limited company.*
3. Tên mẫu, Tên khách hàng được ghi theo yêu cầu của nơi gửi mẫu.
*Name of sample and customer are written as customer's request.*

TRUNG TÂM TIÊU CHUẨN - ĐO LƯỜNG - CHẤT LƯỢNG/VIỆN CÔNG NGHỆ
CENTER FOR STANDARDS, METROLOGY AND QUALITY/ INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Địa chỉ *(Add)*: Phường Đông Ngạc - TP. Hà Nội
Điện thoại *(Tel)*: 0969141072 - Email: meit.vn@gmail.com

# GIẤY CHỨNG NHẬN
# KẾT QUẢ ĐO, THỬ NGHIỆM

*(Measurement & Testing Certificate)*

Số *(No)*: E.090901.26

1. Tên mẫu thử: Thép Mn thấp
   *Name of sample:*
2. Số lượng: 20
   *Quantity:*
3. Mô tả mẫu: Mẫu thử
   *Description:*
4. Nơi gửi mẫu: Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam
   *Customer:*
5. Phương pháp thử nghiệm: TCVN 257-1:2007; TCVN 312-1:2007
   *Test method:*
6. Thời gian thử nghiệm: 07/9/2026
   *Test duration:*
7. Điều kiện thử nghiệm: Nhiệt độ 28 °C; độ ẩm 62 %RH
   *Test condition:*
8. Kết quả thử nghiệm: Xem trang sau
   *Test result:*

*Hà Nội, ngày 07 tháng 9 năm 2026*
*Date of issue*

**Trưởng phòng**
*Head of Division*

**Hoàng Anh Tuấn**

**GIÁM ĐỐC**
*Director*

**Nguyễn Hoàng Tùng**

1. Giấy chứng nhận kết quả đo, thử nghiệm này chỉ có giá trị đối với mẫu thử do khách hàng đưa tới.
   *This measurement & testing certificate is value only for samples taken by customer.*
2. Không được trích sao một phần kết quả này nếu không được sự đồng ý của Trung tâm TC-ĐL-CL/Viện Công nghệ.
   *This test results shall not reproduced except in full, without the written approved of Center for Standards, Metrology and Quality/ Institute of technology.*
3. Tên mẫu và tên khách hàng được ghi theo yêu cầu của khách hàng
   *Name of sample and customer are written at customer request.*

Trang:
*(No. of paper)*

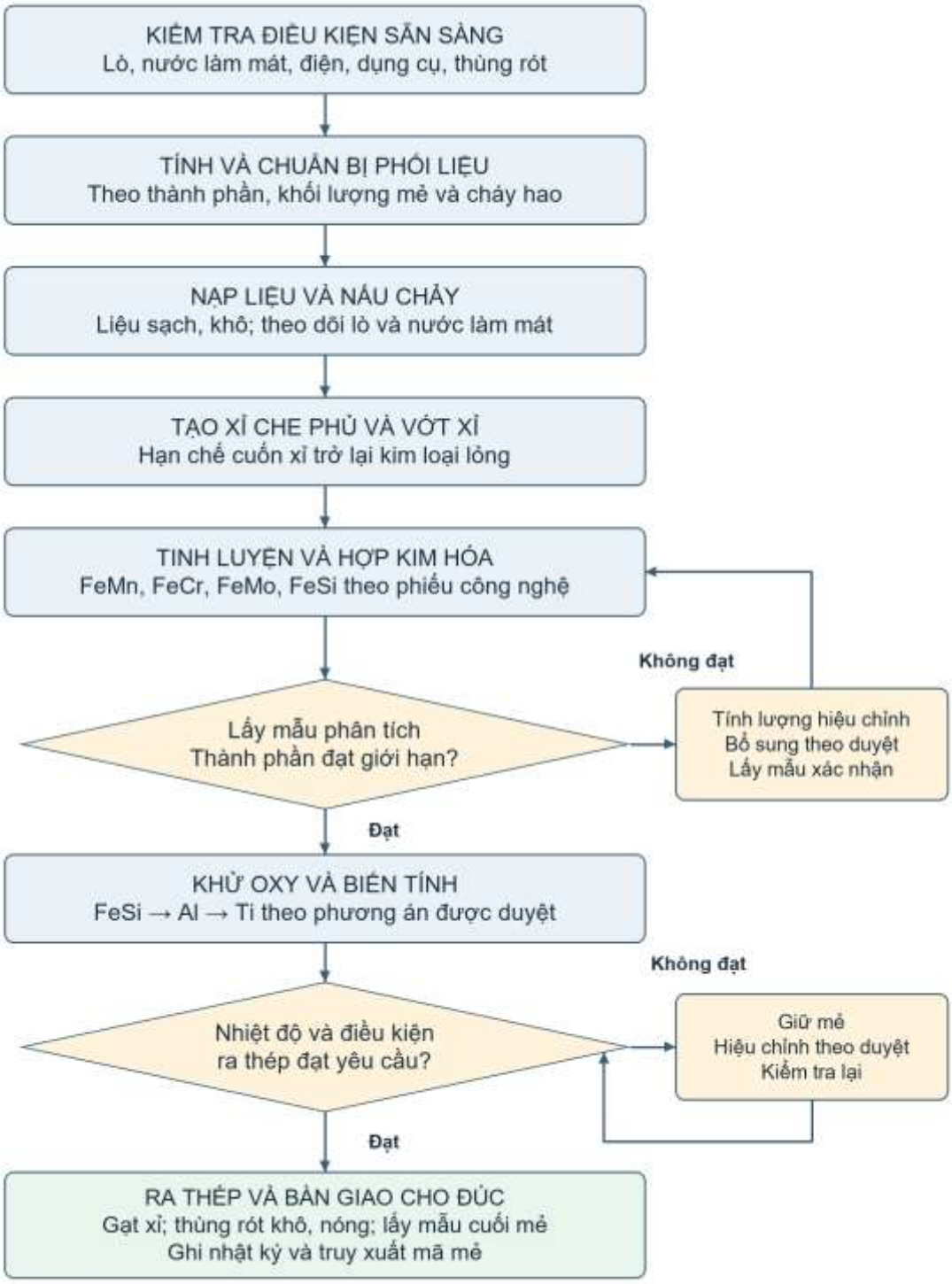
## KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

*(Testing results)*

Số *(N°)*: E.090701.26

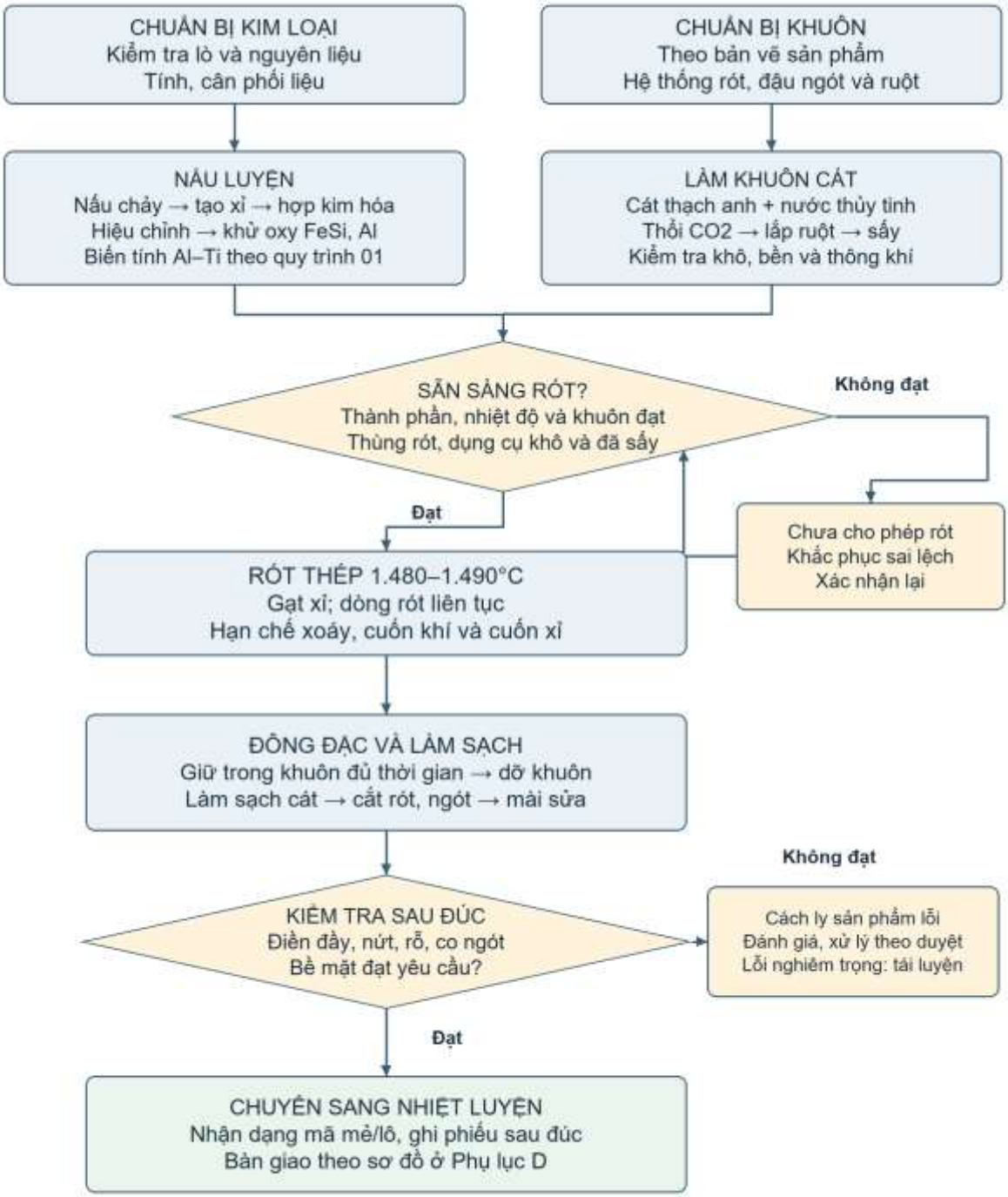
| TT | Ký hiệu mẫu | Nhiệt độ tôi, °C | Nhiệt độ ram, °C | Thời gian ram, giờ | Độ cứng, HRC | Độ dai va đập, J/cm² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | M1 | 880 | 200 | 2 | 42,0 | 28,12 |
| 2 | M2 | 880 | 230 | 4 | 40,3 | 37,50 |
| 3 | M3 | 880 | 260 | 6 | 40,7 | 43,75 |
| 4 | M4 | 900 | 200 | 4 | 43,7 | 42,25 |
| 5 | M5 | 900 | 230 | 6 | 40,0 | 43,75 |
| 6 | M6 | 900 | 260 | 2 | 43,0 | 71,87 |
| 7 | M7 | 920 | 200 | 6 | 43,3 | 32,88 |
| 8 | M8 | 920 | 230 | 2 | 42,7 | 34,38 |
| 9 | M9 | 920 | 260 | 4 | 36,7 | 56,25 |
| 10 | M10 | 900 | 250 | 6 | 50,3 | 57,50 |

# SƠ ĐỒ QUY TRÌNH NẤU LUYỆN THÉP Mn THẤP



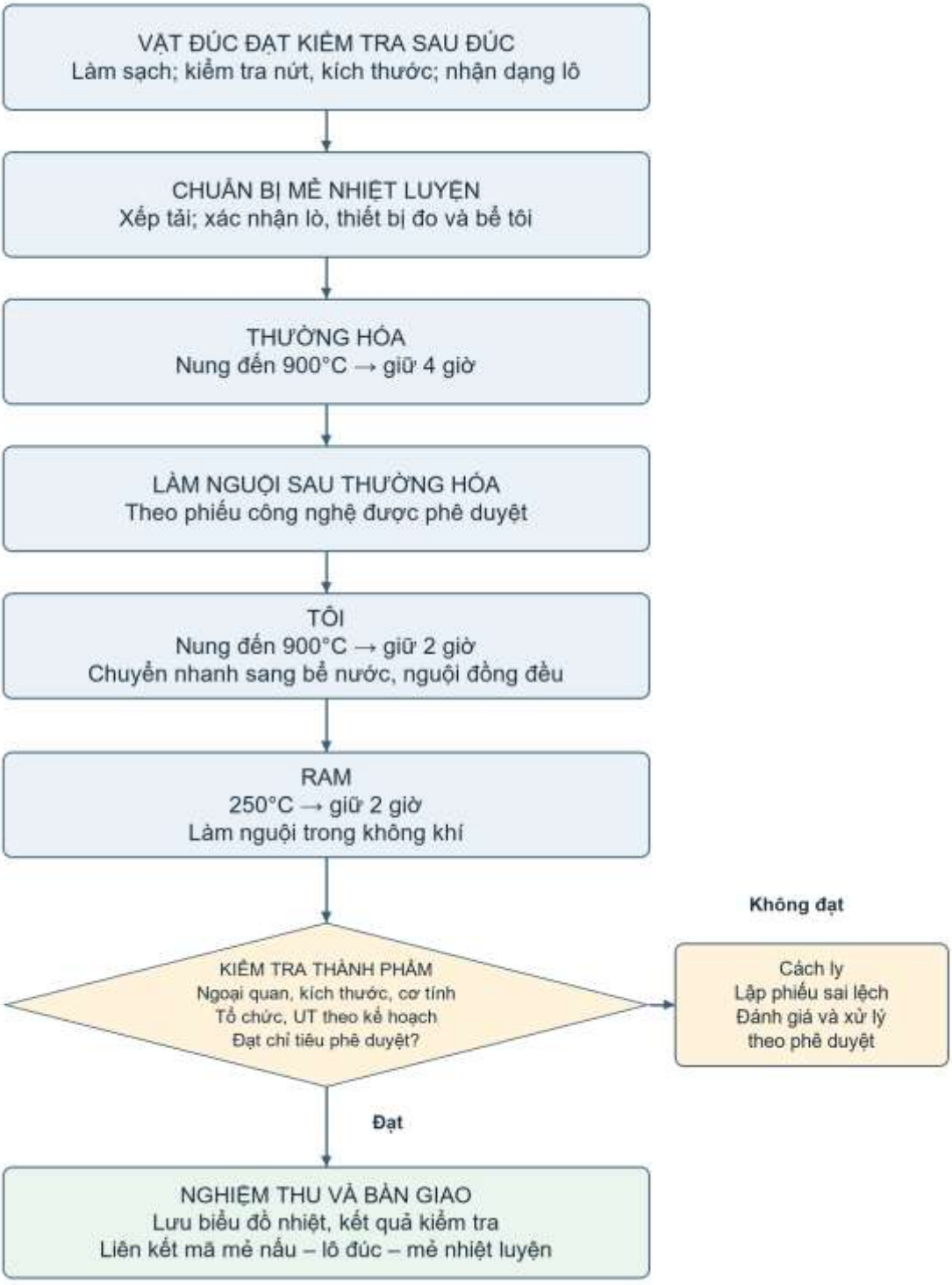

Căn cứ: mục 5–8 của quy trình. Các lượng hợp kim, giới hạn thành phần và nhiệt độ ra thép theo phiếu công nghệ được phê duyệt. Khi mất điều kiện an toàn phải dừng và xử lý theo mục 9.

# SƠ ĐỒ QUY TRÌNH NẤU ĐÚC



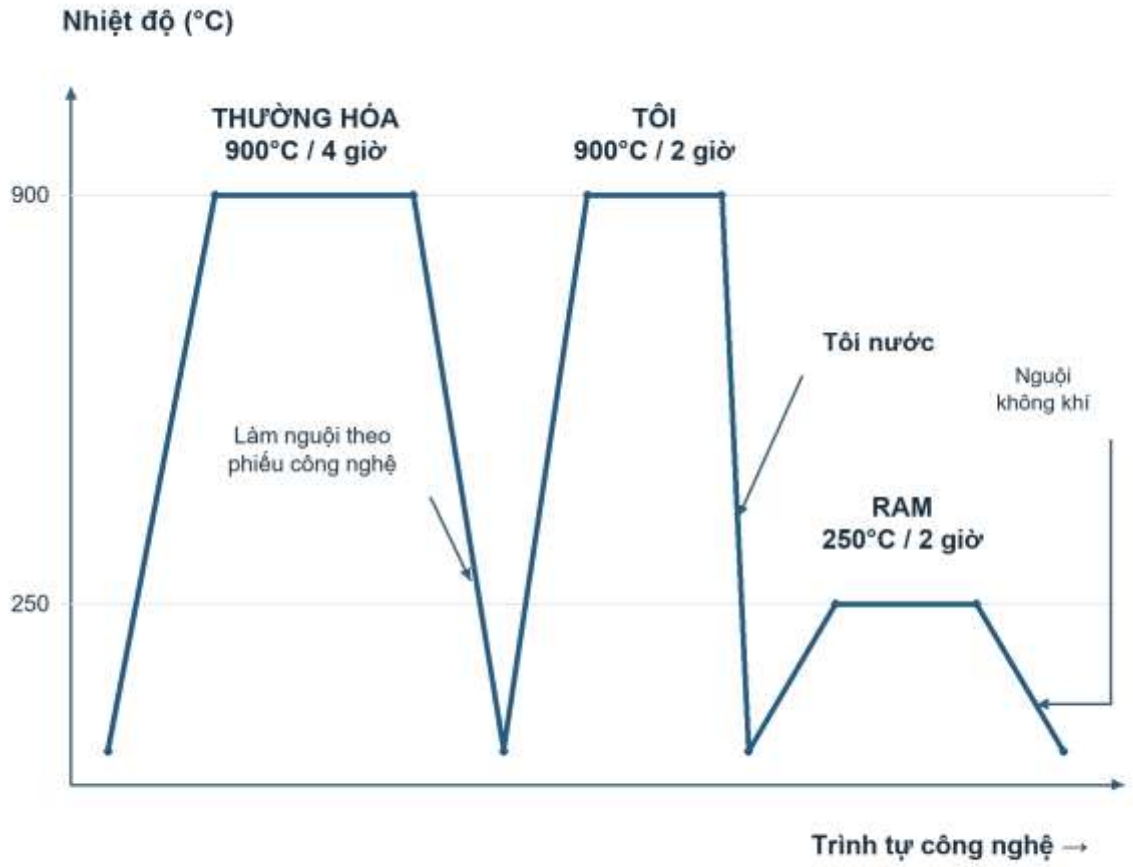

Căn cứ: mục 5–7 và biểu mẫu BM-MN-ĐNL-02, 03. Hai nhánh chuẩn bị kim loại và chuẩn bị khuôn phải cùng đạt yêu cầu trước khi rót. Thời gian giữ trong khuôn theo phiếu công nghệ.

## SƠ ĐỒ QUY TRÌNH NHIỆT LUYỆN




Chế độ thể hiện theo mục 8.2–8.4 và biểu mẫu BM-MN-ĐNL-01, 04. Chế độ thay thế chỉ áp dụng khi được phê duyệt và có mẻ xác nhận; không trộn thông số giữa các chế độ.

# SƠ ĐỒ NGUYÊN LÝ CHU TRÌNH NHIỆT LUYỆN




Sơ đồ nguyên lý, không theo tỷ lệ thời gian.
Đường dốc không quy định tốc độ nung hoặc tốc độ nguội.

Chu trình: thường hóa 900°C/4 giờ → làm nguội theo phiếu công nghệ → nung tôi 900°C/2 giờ → tôi nước → ram 250°C/2 giờ → nguội trong không khí.

Nhiệt độ và thời gian giữ theo mục 8 và biểu mẫu BM-MN-ĐNL-04. Tốc độ nung, thời gian chuyển và điều kiện làm nguội phải theo phiếu công nghệ; sơ đồ không ấn định các giá trị chưa có trong tài liệu.

Lưu ý đối chiếu hồ sơ: bảng tại mục 5 ghi thường hóa 2 giờ và ram 6 giờ, khác với mục 8 và các biểu mẫu. Khi phát hành phiếu công nghệ cần thống nhất chế độ được phê duyệt; sơ đồ này sử dụng nhất quán thường hóa 4 giờ và ram 2 giờ.

| | |
|---|---|
| **UỶ BAN NHÂN DÂN**<br>**THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG** | **CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM**<br>**Độc lập - Tự do - Hạnh phúc** |
| Số:2166 /QĐ-UBND | *Hải Phòng, ngày 27 tháng 7 năm 2023* |

# QUYẾT ĐỊNH
**Về việc phê duyệt Danh mục nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp thành phố năm 2023**

**CHỦ TỊCH UỶ BAN NHÂN DÂN THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG**

*Căn cứ Luật Tổ chức chính quyền địa phương ngày 19/6/2015;*

*Căn cứ Luật Sửa đổi bổ sung một số điều của Luật Tổ chức Chính phủ và Luật Tổ chức chính quyền địa phương ngày 22/11/2019;*

*Căn cứ Luật Khoa học và Công nghệ ngày 18/6/2013;*

*Căn cứ Nghị định số 08/2014/NĐ-CP ngày 27/01/2014 của Chính phủ quy định chi tiết và hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Khoa học và Công nghệ;*

*Căn cứ Quyết định số 2848/2015/QĐ-UBND ngày 21/12/2015 của Uỷ ban nhân dân thành phố về việc ban hành Quy chế quản lý các nhiệm vụ khoa học và công nghệ có sử dụng ngân sách nhà nước thành phố Hải Phòng;*

*Xét đề nghị của Sở Khoa học và Công nghệ tại Tờ trình số 72/TTr-SKHCN ngày 17/7/2023.*

**QUYẾT ĐỊNH:**

**Điều 1.** Phê duyệt Danh mục nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp thành phố năm 2023, gồm 52 nhiệm vụ *(có Danh mục kèm theo)*.

**Điều 2.** Giao Sở Khoa học và Công nghệ chủ trì, phối hợp với các Sở, ngành, cơ quan liên quan tổ chức thực hiện và quản lý các nhiệm vụ theo đúng các quy định hiện hành.

**Điều 3.** Chánh Văn phòng Uỷ ban nhân dân thành phố; Giám đốc Sở Khoa học và Công nghệ; Thủ trưởng các ngành, các cấp liên quan; Cơ quan chủ trì các nhiệm vụ căn cứ Quyết định thi hành./.

***Nơi nhận:***
- Như Điều 3;
- Chủ tịch, các PCT UBND TP;
- CVP, PCVP Trần Huy Kiên;
- Phòng VX;
- CV: KHCN;
- Lưu VT.

**KT. CHỦ TỊCH**
**PHÓ CHỦ TỊCH**

**Hoàng Minh Cường**

| TT | Tên nhiệm vụ | Loại hình | Cơ quan chủ trì |
|---|---|---|---|
| 2. | Nghiên cứu thiết kế, chế tạo kính chống đạn cấp ∏2 bằng công nghệ trong nước ứng dụng cho các tàu tuần tra trinh sát của lực lượng Bộ đội Biên phòng Hải Phòng. | Đề tài | Viện Vật lý kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự |
| 3. | Nghiên cứu thiết kế, chế tạo kính ngắm ảnh nhiệt tích hợp đo xa laser cho súng chống tăng B41, ứng dụng cho lực lượng vũ trang thành phố Hải Phòng. | Đề tài | Bộ Chỉ huy Quân sự thành phố Hải Phòng |
| 4. | Nghiên cứu xây dựng qui trình chế tạo hợp kim Al-Zn có biến tính bằng đất hiếm La. Ce có tính dẻo cao phục vụ cho công nghiệp giao thông và đóng tàu. | Đề tài | Trường Đại học Hàng hải Việt Nam |
| 5. | Nghiên cứu xây dựng quy trình chế tạo chi tiết anot bằng hợp kim Mg-Zn ứng dụng bảo vệ công trình kết cấu thép. | Đề tài | Trường Đại học Hàng hải Việt Nam |
| 6. | Nghiên cứu sử dụng thạch cao phospho (Phosphogypsum-PG) Đình Vũ để sản xuất gạch bê tông ứng dụng cho các công trình xây dựng trên địa bàn thành phố Hải Phòng. | Đề tài | Trường Đại học Xây dựng Hà Nội |
| 7. | Nghiên cứu tái chế rác thải nhựa thay thế một phần nhựa đường trong sản xuất bê tông nhựa sử dụng cho các công trình đường giao thông. | Đề tài | Công ty Cổ phần công nghệ hàng hải Marintek |
| 8. | Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo một số chi tiết từ thép Mn thấp làm việc trong điều kiện chịu mài mòn. | Đề tài | Trường Đại học Hàng hải Việt Nam |
| 9. | Nghiên cứu tích hợp giao thông du lịch với hệ thống giao thông của thành phố Hải Phòng, hướng tới phát triển giao thông xanh và du lịch bền vững. | Đề tài | Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải |
| 10. | Nghiên cứu sử dụng bã thải thạch cao làm vật liệu san lấp của các kết cấu hạ tầng khu công nghiệp lấn biển của thành phố Hải Phòng bao gồm lõi thân đê và đường giao thông nội bộ. | Đề tài | Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải |
| 11. | Nghiên cứu quy trình xử lý bã thải GYPS tại nhà máy DAP Đình Vũ phục vụ sản xuất vật liệu xây dựng làm tấm lát nền, bó vỉa hè đường và chắn sóng, chống chịu xói lở ven biển tại Hải Phòng. | Đề tài | Công ty TNHH Đầu tư phát triển xây dựng Thành Khang |
| **IV. Lĩnh vực Sử dụng hợp lý tài nguyên và Bảo vệ môi trường** | | | |
| 1. | Nghiên cứu lưu giữ và tạo giống một số loài san hô mềm ở Hải Phòng. | Đề tài | Viện Nghiên cứu Hải sản |
| 2. | Xây dựng cơ sở dữ liệu và công cụ quản lý ngập lụt đô thị cho thành phố Hải Phòng. | Đề tài | Viện Địa lý, Viện Hàn Lâm KH&CN VN |

SAO Y; VĂN PHÒNG, ỦY BAN NHÂN DÂN THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG; 25/12/2024; 17:01:33 +07:00

| ỦY BAN NHÂN DÂN<br>THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG | CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM<br>Độc lập - Tự do - Hạnh phúc |
|---|---|
| Số: 4884/QĐ-UBND | *Hải Phòng, ngày 25 tháng 12 năm 2024* |

# QUYẾT ĐỊNH
**Về việc phê duyệt Thuyết minh nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp thành phố: "Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mangan thấp, ứng dụng chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn"**

## ỦY BAN NHÂN DÂN THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG

*Căn cứ Luật Tổ chức chính quyền địa phương ngày 19/6/2015;*

*Căn cứ Luật Sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Tổ chức Chính phủ và Luật Tổ chức chính quyền địa phương ngày 22/11/2019;*

*Căn cứ Luật Khoa học và Công nghệ ngày 18/6/2013;*

*Căn cứ Nghị định số 08/2014/NĐ-CP ngày 27/01/2014 của Chính phủ quy định chi tiết và hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Khoa học và Công nghệ;*

*Căn cứ Quyết định số 2848/2015/QĐ-UBND ngày 21/12/2015 của Uỷ ban nhân dân thành phố về việc ban hành Quy chế quản lý các nhiệm vụ khoa học và công nghệ có sử dụng ngân sách thành phố Hải Phòng;*

*Căn cứ Quyết định số 25/2023/QĐ-UBND ngày 04/8/2023 của Uỷ ban nhân dân thành phố Hải Phòng ban hành Quy định về lập dự toán, quản lý sử dụng và quyết toán kinh phí ngân sách nhà nước thành phố Hải Phòng thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ;*

*Căn cứ Quyết định số 2166/QĐ-UBND ngày 27/7/2023 của Ủy ban nhân dân thành phố Hải Phòng về việc phê duyệt Danh mục nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp thành phố năm 2023;*

*Theo đề nghị của Sở Khoa học và Công nghệ tại Tờ trình số 127/TTr-KHCN ngày 16/12/2024.*

## QUYẾT ĐỊNH:

**Điều 1.** Phê duyệt Thuyết minh nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp thành phố với những nội dung sau:

**1. Tên đề tài:** Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mangan thấp, ứng dụng chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn.

**2. Mã số:** ĐT.CN.2023.958.

**3. Cơ quan chủ trì:** Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

**4. Chủ nhiệm đề tài:** PGS. TS. Nguyễn Dương Nam, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

**5. Mục tiêu khoa học:** Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo một số chi tiết làm từ thép Mn thấp làm việc trong điều kiện chịu mài mòn.

**6. Nội dung và quy mô nghiên cứu**

***6.1 Nghiên cứu tổng quan và vấn đề lý thuyết có liên quan***

***6.2 Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp***

*6.2.1 Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim và đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp.*

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim chính đến quá trình nấu đúc và kết tinh của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến đặc điểm giản đồ pha và tổ chức của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến cơ tính và một số tính chất khác của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu sự hình thành các pha liên kim đất hiếm với các nguyên tố kim loại đến quá trình đông đặc và kết tinh của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tổ chức của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp.

*6.2.2 Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng và tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp.*

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến đặc tính nấu luyện của hợp kim nghiên cứu.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tổ chức của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tính chất của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tổ chức của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu lựa chọn các biện pháp hóa bền thép Mn thấp.

*6.2.3 Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình nấu luyện thép Mn thấp*

- Nghiên cứu cơ sở lý luận của quá trình nấu luyện thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ nấu luyện đến quá trình hợp kim hóa thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp hợp kim hóa đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp biến tính đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp.

- Nghiên cứu phương pháp khử tạp chất khi nấu luyện thép Mn thấp.

*6.2.4 Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình đúc thép Mn thấp*

- Nghiên cứu cơ sở lý luận về quá trình kết tinh và đông đặc thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của khuôn đúc đến chất lượng chi tiết chế tạo từ thép Mn thấp.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ rót đến chất lượng chi tiết làm từ thép Mn thấp.

- Nghiên cứu phương pháp hợp kim hóa cho thép Mn thấp.

- Nghiên cứu phương pháp biến tính bằng đất hiếm cho thép Mn thấp.

- Nghiên cứu về sự hình thành các pha sau kết tinh và đông đặc.

*6.2.5 Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình xử lý nhiệt thép Mn thấp*

- Xác định cơ chế chuyển pha khi xử lý nhiệt thép Mn thấp.

- Xác định cơ chế, thông số của quá trình ủ đồng đều hóa sau đúc của thép Mn thấp.

- Xác định cơ chế, thông số của quá trình tôi thép Mn thấp.

- Xác định thông số môi trường tôi và sự ảnh hưởng các thông số của môi trường tôi đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp.

- Xác định cơ chế, thông số của quá trình ram thép Mn thấp.

***6.3 Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mn thấp***

*6.3.1 Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ nấu luyện và đúc chế tạo thép Mn thấp*

- Tính toán thành phần phối liệu để nấu luyện thép Mn thấp.

- Nghiên cứu các giải pháp công nghệ khử khí thép Mn thấp.

- Xây dựng quy trình công nghệ nấu luyện thép Mn thấp.

- Nghiên cứu tính toán công nghệ đúc thép Mn thấp.

- Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ đúc thép Mn thấp.

*6.3.2 Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn*

- Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ tôi thép Mn thấp.

- Nghiên cứu lựa chọn tốc độ nung thép Mn thấp.

- Nghiên cứu lựa chọn thời gian giữ nhiệt đến chất lượng thép Mn thấp.

- Nghiên cứu thực nghiệm quá trình làm nguội thép Mn thấp trong một số môi trường nguội.

- Tối ưu hóa quy trình tôi đối với thép Mn thấp.

- Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ ram thép Mn thấp.

- Nghiên cứu lựa chọn thời gian ram thép Mn thấp.

- Tối ưu hóa quy trình ram đối với thép Mn thấp .

- Đề xuất quy trình xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn.

***6.4 Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá và hoàn thiện quy trình công nghệ***

*6.4.1 Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá chất lượng và hoàn thiện quy trình công nghệ*

- Thử nghiệm nấu luyện, đúc hợp kim thép Mn thấp.

- Thử nghiệm xử lý nhiệt hợp kim thép Mn thấp.

- Đánh giá chất lượng thép Mn thấp.

- Hoàn thiện quy trình công nghệ chế tạo thép Mn thấp.

*6.4.2 Chế tạo thử nghiệm sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp, đánh giá chất lượng sản phẩm*

- Thiết kế bản vẽ đúc đối với răng gầu.

- Phối liệu và nấu luyện thép Mn thấp cho sản phẩm răng gầu.

- Tính toán thiết kế khuôn đúc cho sản phẩm răng gầu.

- Tính toán quy trình đúc rót và biện pháp nâng cao chất lượng sản phẩm đúc răng gầu.

- Tiến hành đúc, nấu luyện sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp.

- Tiến hành xử lý nhiệt sản phẩm răng gầu.

- Đánh giá phân tích chất lượng răng gầu theo các tiêu chí đánh giá sản phẩm.

***6.5 Thử nghiệm sản phẩm răng gầu và đánh giá hiệu quả, xây dựng báo cáo kinh tế kỹ thuật***

***6.6 Báo cáo tổng kết***

*(Nội dung và quy mô nghiên cứu cụ thể theo thuyết minh được duyệt)*

**7. Sản phẩm khoa học**

- Quy trình công nghệ nấu luyện thép Mn thấp.

- Quy trình công nghệ đúc và nhiệt luyện thép Mn thấp.

- Thép Mn thấp dùng để chế tạo chi tiết chịu mài mòn: Độ cứng sản phẩm: 48 – 52HRC và độ bền va đập ở 20°C là trên 25J.

- Báo cáo tổng kết đề tài và các báo cáo thành phần.

**8. Thời gian thực hiện:** Từ tháng 12/2024 - 9/2026.

**9. Kinh phí thực hiện:** Tổng kinh phí thực hiện: 2.164.880.000 đồng (*Bằng chữ: Hai tỷ, một trăm sáu mươi tư triệu, tám trăm tám mươi nghìn đồng*). Trong đó:

- Ngân sách khoa học - công nghệ thành phố cấp: 1.957.480.000 đồng.

- Tự có: 207.400.000 đồng.

*(Dự toán chi tiết kèm theo).*

**Điều 2.** Chánh Văn phòng Ủy ban nhân dân thành phố, Giám đốc các Sở: Khoa học và Công nghệ, Tài chính; Cơ quan chủ trì, Chủ nhiệm Đề tài và các ngành, đơn vị liên quan căn cứ Quyết định thi hành.

Quyết định có hiệu lực từ ngày ký./.

***Nơi nhận***:
- Như Điều 2;
- CT, PCT Hoàng Minh Cường;
- CVP;
- Phòng: VX, NC&KTGS;
- CV: VH1, TC;
- Lưu: VT.

**TM. ỦY BAN NHÂN DÂN**
**KT. CHỦ TỊCH**
**PHÓ CHỦ TỊCH**

**Hoàng Minh Cường**

**DỰ TOÁN KINH PHÍ THỰC HIỆN NHIỆM VỤ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**

*(Kèm theo Quyết định số 4884 /QĐ-UBND ngày 25 tháng 12 năm 2024 của Uỷ ban nhân dân thành phố)*

**Tên nhiệm vụ** : Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mangan thấp, ứng dụng chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn.

**Mã số:** ĐT.CN.2023.958

**Cơ quan chủ trì:** Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

*Đvt: nghìn đồng*

| STT | Nội dung | Tổng kinh phí thực hiện | Kinh phí tự có và nguồn khác | NS sự nghiệp khoa học TP | Chia ra | | Ghi chú | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | *Khoán chi* | *Không khoán chi* | Hệ số khoa học | Số tháng thực hiện | Số người |
| | | | | | | | | | |
| **I** | **Dự toán thù lao tham gia nhiệm vụ khoa học của các nhóm chức danh** | **1.572.480** | **0** | **1.572.480** | **1.572.480** | | | | |
| **1** | **Nghiên cứu tổng quan** | | | | | | | | |
| **-** | **Nghiên cứu tổng quan và vấn đề lý thuyết có liên quan** | | | **21.600** | **21.600** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 7.200 | 7.200 | | 0.4 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.50 | 0 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| **2** | **Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp** | | | | | | | | |
| **2.1** | **Nghiên cứu sự ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim và đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp** | | | | | | | | |
| **-** | **Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim chính đến quá trình nấu đúc và kết tinh của thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.50 | 0 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| **-** | **Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến đặc điểm giản đồ pha và tổ chức của thép Mn thấp** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến cơ tính và một số tính chất khác của thép Mn thấp** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu sự hình thành các pha liên kim đất hiếm với các nguyên tố kim loại đến quá trình đông đặc và kết tinh của thép Mn thấp** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tổ chức của thép Mn thấp** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tính chức của thép Mn thấp** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| **2.2** | **Nghiên cứu sự ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng và tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp** | | | | | | | | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến đặc tính nấu luyện của hợp kim nghiên cứu** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tổ chức của thép Mn thấp** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tính chất của thép Mn thấp** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tổ chức của thép Mn thấp** | | | **20.160** | **20.160** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu lựa chọn các biện pháp hóa bền thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| **2.3** | **Nghiên cứu sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình nấu luyện thép Mn thấp** | | | | | | | | |
| - | **Nghiên cứu cơ sở lý luận của quá trình nấu luyện thép Mn thấp** | | | **14.400** | **14.400** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 0 | 0 | | 0.4 | 0.00 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ nấu luyện đến quá trình hợp kim hóa thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp hợp kim hóa đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp biến tính đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp** | | | **17.280** | **17.280** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| - | **Nghiên cứu phương pháp khử tạp chất khi nấu luyện thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | ***0*** | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | |
| **2.4** | **Nghiên cứu sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình đúc thép Mn thấp** | | | | | | | | |
| - | **Nghiên cứu cơ sở lý luận về quá trình kết tinh và đông đặc thép Mn thấp** | | | **17.280** | **17.280** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 0 | 0 | | 0.4 | 0.00 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 0 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của khuôn đúc đến chất lượng chi tiết chế tạo từ thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ rót đến chất lượng chi tiết làm từ thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu phương pháp hợp kim hóa cho thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu phương pháp biến tính bằng đất hiếm cho thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu về sự hình thành các pha sau kết tinh và đông đặc** | | | **18.720** | **18.720** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 2.880 | 2.880 | | 0.4 | 0.20 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| **2.5** | **Nghiên cứu sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ trong quá trình xử lý nhiệt thép Mn thấp** | | | | | | | | |
| - | **Xác định cơ chế chuyển pha khi xử lý nhiệt thép Mn thấp** | | | **27.360** | **27.360** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Xác định cơ chế. thông số của quá trình ủ đồng đều hóa sau đúc của thép Mn thấp** | | | **27.360** | **27.360** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | **Xác định cơ chế. thông số của quá trình tôi thép Mn thấp** | | | **27.360** | **27.360** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Xác định thông số môi trường tôi và sự ảnh hưởng các thông số của môi trường tôi đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp** | | | **27.360** | **27.360** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Xác định cơ chế. thông số của quá trình ram thép Mn thấp** | | | **27.360** | **27.360** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| **3** | **Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mn thấp** | | | | | | | | |
| **3.1** | **Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ nấu luyện và đúc chế tạo thép Mn thấp** | | | | | | | | |
| - | **Tính toán thành phần phối liệu để nấu luyện thép Mn thấp** | | | **33.120** | **33.120** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 11.520 | 11.520 | | 0.4 | 0.40 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu các giải pháp công nghệ khử khí thép Mn thấp** | | | **33.120** | **33.120** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 11.520 | 11.520 | | 0.4 | 0.40 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Xây dựng quy trình công nghệ nấu luyện thép Mn thấp** | | | **38.880** | **38.880** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 23.040 | 23.040 | | 0.8 | 0.80 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 14.400 | 14.400 | | 0.4 | 0.50 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu tính toán công nghệ đúc thép Mn thấp** | | | **30.240** | **30.240** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ đúc thép Mn thấp** | | | **31.680** | **31.680** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 23.040 | 23.040 | | 0.8 | 0.80 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 7.200 | 7.200 | | 0.4 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| **3.2** | **Nghiên cứu xây dựng quy trình xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn** | | | | | | | | |
| - | **Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ tôi thép Mn thấp** | | | **27.360** | **27.360** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu lựa chọn tốc độ nung thép Mn thấp** | | | **27.360** | **27.360** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu lựa chọn thời gian giữ nhiệt đến chất lượng thép Mn thấp** | | | **27.360** | **27.360** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu thực nghiệm quá trình làm nguội thép Mn thấp trong một số môi trường nguội** | | | **30.240** | **30.240** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Tối ưu hóa quy trình tôi đối với thép Mn thấp** | | | **18.720** | **18.720** | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ ram thép Mn thấp** | | | **23.040** | **23.040** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Nghiên cứu lựa chọn thời gian ram thép Mn thấp** | | | **23.040** | **23.040** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Tối ưu hóa quy trình ram đối với thép Mn thấp** | | | **28.800** | **28.800** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Đề xuất quy trình xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn** | | | **18.720** | **18.720** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| **4** | **Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp. đánh giá và hoàn thiện quy trình công nghệ** | | | | | | | | |
| **4.1** | **Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp. đánh giá chất lượng và hoàn thiện quy trình công nghệ** | | | | | | | | |
| - | **Thử nghiệm nấu luyện. đúc hợp kim thép Mn thấp** | | | **39.600** | **39.600** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 28.800 | 28.800 | | 0.8 | 1.00 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 2.160 | 2.160 | | 0.2 | 0.30 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Thử nghiệm xử lý nhiệt hợp kim thép Mn thấp** | | | **36.720** | **36.720** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 28.800 | 28.800 | | 0.8 | 1.00 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 5.760 | 5.760 | | 0.4 | 0.20 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 2.160 | 2.160 | | 0.2 | 0.30 | 1 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Đánh giá chất lượng thép Mn thấp** | | | **21.600** | **21.600** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 4.320 | 4.320 | | 0.4 | 0.30 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Hoàn thiện quy trình công nghệ chế tạo thép Mn thấp** | | | **23.040** | **23.040** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 17.280 | 17.280 | | 0.8 | 0.60 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 5.760 | 5.760 | | 0.4 | 0.40 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| **4.2** | **Chế tạo thử nghiệm sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp. đánh giá chất lượng sản phẩm** | | | | | | | | |
| - | **Thiết kế bản vẽ đúc đối với răng gầu** | | | **33.120** | **33.120** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 11.520 | 11.520 | | 0.4 | 0.40 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Phối liệu và nấu luyện thép Mn thấp cho sản phẩm răng gầu** | | | **30.960** | **30.960** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 8.640 | 8.640 | | 0.4 | 0.30 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 2.160 | 2.160 | | 0.2 | 0.30 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Tính toán thiết kế khuôn đúc cho sản phẩm răng gầu** | | | **28.800** | **28.800** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 7.200 | 7.200 | | 0.4 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Tính toán quy trình đúc rót và biện pháp nâng cao chất lượng sản phẩm đúc răng gầu** | | | **28.800** | **28.800** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 7.200 | 7.200 | | 0.4 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 1.440 | 1.440 | | 0.2 | 0.20 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Tiến hành đúc. nấu luyện sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp** | | | **30.240** | **30.240** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 7.200 | 7.200 | | 0.4 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 2.880 | 2.880 | | 0.2 | 0.40 | 1 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Tiến hành xử lý nhiệt sản phẩm răng gầu** | | | **28.800** | **28.800** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 20.160 | 20.160 | | 0.8 | 0.70 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 5.760 | 5.760 | | 0.4 | 0.40 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 2.880 | 2.880 | | 0.2 | 0.40 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| - | **Đánh giá phân tích chất lượng răng gầu theo các chỉ tiêu đánh giá sản phẩm** | | | **20.160** | **20.160** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 14.400 | 14.400 | | 0.8 | 0.50 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 5.760 | 5.760 | | 0.4 | 0.40 | 1 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 0 | 0 | | 0.2 | 0.00 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| **5** | **Thử nghiệm sản phẩm răng gầu và đánh giá hiệu quả. xây dựng báo cáo kinh tế kỹ thuật** | | | | | | | | |
| - | **Thử nghiệm chế tạo Mg độ tinh khiết cao và hoàn thiện quy trình sản xuất** | | | **39.600** | **39.600** | | | | |
| | Thành viên chính | | | 23.040 | 23.040 | | 0.8 | 0.80 | 1 |
| | Nhóm thành viên | | | 14.400 | 14.400 | | 0.4 | 0.50 | 2 |
| | Nhóm kỹ thuật viên. nhân viên hỗ trợ | | | 2.160 | 2.160 | | 0.2 | 0.30 | 1 |
| | Lao động phổ thông | | | 0 | 0 | | | 0.00 | 0 |
| **6** | **Thù lao của chủ nhiệm nhiệm vụ** | | | **172.800** | **172.800** | | **1.0** | **24** | **1** |
| **7** | **Thù lao của thư ký khoa học** | | | **51.840** | **51.840** | | **0.3** | **24** | **1** |
| **II** | **Thuê chuyên gia. chuyển giao công nghệ** | **0** | **0** | **0** | **0** | ***0*** | | | |
| **III** | **Chi mua vật tư. nguyên. nhiên liệu phục vụ nghiên cứu** | **131.900** | **57.400** | **74.500** | **0** | ***74.500*** | | | |
| **IV** | **Chi sửa chữa. mua sắm tài sản cố định. xây dựng cơ bản** | **150.000** | **150.000** | **0** | **0** | ***0*** | | | |
| **V** | **Chi hội thảo** | **114.300** | **0** | **114.300** | **114.300** | ***0*** | | | |
| | Chi hội thảo 9 cuộc x 12.700.000đ | | | 114.300 | 114.300 | | | | |
| | Tính cho một cuộc: Chủ trì 1x 2.000.000đ+ Thư ký 1x 500.000đ+ Đại biểu 30 x 200.000đ+ Báo cáo viên: 2x 2.000.000đ+ Nước uống. tài liệu: 200.000đ | | | 12.700 | 12.700 | | | | |
| **VI** | **Chi điều tra. khảo sát** | | | | | | | | |
| **VII** | **Chi công tác phí** | | | | | ***0*** | | | |
| **VII I** | **Chi họp hội đồng tự đánh giá kết quả** | **19.200** | **0** | **19.200** | **19.200** | ***0*** | | | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 02 cuộc (giữa kỳ và cuối kỳ) x 9.600.000đ | 19.200 | | 19.200 | 19.200 | | | | |
| | Tính cho 1 cuộc: Chủ tịch HĐ 1ng x 800.000đ+ Phó Chủ tịch. Uỷ viên HĐ 8ng x 600.000đ+ Thư ký 02ng x 150.000đ+ Đại biểu 8ng x 100.000đ+ Bài nhận xét Uỷ viên HĐ 7 bài x 300.000đ+ Bài nhân xét ủy viên PB 2 bài x 400.000đ | | | 9.600 | 9.600 | ***0*** | | | |
| **IX** | **Chi quản lý chung nhiệm vụ** | **90.000** | **0** | **90.000** | **90.000** | ***0*** | | | |
| | Chi hoạt động quản lý chung phục vụ nhiệm vụ | | | | | | | | |
| **X** | **Chi khác** | **87.000** | **0** | **87.000** | | ***87.000*** | | | |
| **1** | **Kiểm định** | **72.000** | | **72.000** | | ***72.000*** | | | |
| | Thử nghiệm độ bền:90 mẫu | | | 25.200 | | 25.200 | | | |
| | Đo siêu âm: 90 mẫu | | | 21.600 | | 21.600 | | | |
| | Phân tích cơ tính: 90 mẫu | | | 25.200 | | 25.200 | | | |
| **2** | **Phô tô tài liệu. Văn phòng phẩm…..** | **15.000** | | **15.000** | | ***15.000*** | | | |
| | **Tổng cộng** | **2.164.880** | **207.400** | **1.957.480** | **1.795.980** | ***161.500*** | | | |

**CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM**
**Độc lập - Tự do - Hạnh phúc**

*Hải Phòng, ngày 26 tháng 12 năm 2024*

# HỢP ĐỒNG

## THỰC HIỆN NHIỆM VỤ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP THÀNH PHỐ:

## "Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mangan thấp, ứng dụng chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn"

**Số: 958/HĐ-ĐT.CN.2023**

Căn cứ Bộ luật dân sự ngày 24 tháng 11 năm 2015;

Căn cứ Luật khoa học và công nghệ ngày 18 tháng 6 năm 2013;

Căn cứ Quyết định số 2848/2015/QĐ-UBND Ngày 21 tháng 12 năm 2015 của Uỷ ban nhân dân thành phố về việc ban hành Quy chế quản lý các nhiệm vụ khoa học và công công nghệ có sử dụng ngân sách nhà nước thành phố Hải Phòng;

Căn cứ Quyết định số 4884/QĐ-UBND ngày 25/12/2024 của Uỷ ban nhân dân thành phố Hải Phòng về việc phê duyệt thuyết minh nhiệm vụ nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp thành phố,

**CHÚNG TÔI GỒM:**

**1. Bên A: Sở Khoa học và Công nghệ**

- Địa chỉ: Số 1, Phạm Ngũ Lão, quận Ngô Quyền, Hải Phòng
- Điện thoại: 0225 3 846475
- Số tài khoản: 9527.2.1048865 tại Kho bạc nhà nước Hải Phòng
- Do ông: Trần Quang Tuấn, Giám đốc Sở, đại diện.

**2. Bên B: Trường Đại học Hàng hải Việt Nam**

- Địa chỉ: 484 Lạch Tray, Lê Chân, Hải Phòng
- Điện thoại: 02253.735931/3829109 Fax: 02253.625175/3735282
- Số tài khoản: 3751.0.1055675.0000 tại Kho bạc Nhà nước Hải Phòng
- Do ông: Phạm Xuân Dương, Hiệu trưởng, đại diện.

Thoả thuận và thống nhất ký kết Hợp đồng thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp thành phố (sau đây gọi tắt là Hợp đồng) với các điều khoản sau:

**Điều 1. Bên A giao và Bên B nhận thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ theo các nội dung sau:**

**1. Tên nhiệm vụ:** Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mangan thấp, ứng dụng chế tạo các chi tiết làm việc trong điều kiện chịu mài mòn.

**2. Mã số:** ĐT.CN.2023.958.

**3. Cơ quan chủ trì:** Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

**4. Chủ nhiệm đề tài:** PGS. TS. Nguyễn Dương Nam, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

**5. Mục tiêu khoa học:** Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo một số chi tiết làm từ thép Mn thấp làm việc trong điều kiện chịu mài mòn.

**6. Nội dung và quy mô nghiên cứu:**

***6.1. Nghiên cứu tổng quan***

***6.2. Nghiên cứu xác định thông số công nghệ trong chế tạo thép hợp kim Mn thấp***

*6.2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim và đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp.*

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố hợp kim chính đến quá trình nấu đúc và kết tinh của thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến đặc điểm giản đồ pha và tổ chức của thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của một số nguyên tố hợp kim chính đến cơ tính và một số tính chất khác của thép Mn thấp

- Nghiên cứu sự hình thành các pha liên kim đất hiếm với các nguyên tố kim loại đến quá trình đông đặc và kết tinh của thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tổ chức của thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của đất hiếm đến tính chất của thép Mn thấp

*6.2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng và tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp.*

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến đặc tính nấu luyện của hợp kim nghiên cứu

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tổ chức của thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nguyên tố vi lượng đến tính chất của thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tổ chức của thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của tạp chất đến tính chất của thép Mn thấp

- Nghiên cứu lựa chọn các biện pháp hóa bền thép Mn thấp

*6.2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình nấu luyện thép Mn thấp*

- Nghiên cứu cơ sở lý luận của quá trình nấu luyện thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ nấu luyện đến quá trình hợp kim hóa thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp hợp kim hóa đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp biến tính đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp

- Nghiên cứu phương pháp khử tạp chất khi nấu luyện thép Mn thấp

*6.2.4. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình đúc thép Mn thấp*

- Nghiên cứu cơ sở lý luận về quá trình kết tinh và đông đặc thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của khuôn đúc đến chất lượng chi tiết chế tạo từ thép Mn thấp

- Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ rót đến chất lượng chi tiết làm từ thép Mn thấp

- Nghiên cứu phương pháp hợp kim hóa cho thép Mn thấp

- Nghiên cứu phương pháp biến tính bằng đất hiếm cho thép Mn thấp

- Nghiên cứu về sự hình thành các pha sau kết tinh và đông đặc

*6.2.5. Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình xử lý nhiệt thép Mn thấp*

- Xác định cơ chế chuyển pha khi xử lý nhiệt thép Mn thấp

- Xác định cơ chế, thông số của quá trình ủ đồng đều hóa sau đúc của thép Mn thấp

- Xác định cơ chế, thông số của quá trình tôi thép Mn thấp

- Xác định thông số môi trường tôi và sự ảnh hưởng các thông số của môi trường tôi đến tổ chức và tính chất của thép Mn thấp

- Xác định cơ chế, thông số của quá trình ram thép Mn thấp

***6.3. Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ chế tạo thép hợp kim Mn thấp***

*6.3.1. Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ nấu luyện và đúc chế tạo thép Mn thấp*

- Tính toán thành phần phối liệu để nấu luyện thép Mn thấp

- Nghiên cứu các giải pháp công nghệ khử khí thép Mn thấp

- Xây dựng quy trình công nghệ nấu luyện thép Mn thấp

- Nghiên cứu tính toán công nghệ đúc thép Mn thấp

- Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ đúc thép Mn thấp

*6.3.2. Nghiên cứu xây dựng bộ quy trình công nghệ xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn*

- Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ tôi thép Mn thấp

- Nghiên cứu lựa chọn tốc độ nung thép Mn thấp

- Nghiên cứu lựa chọn thời gian giữ nhiệt đến chất lượng thép Mn thấp

- Nghiên cứu thực nghiệm quá trình làm nguội thép Mn thấp trong một số môi trường nguội

- Tối ưu hóa quy trình tôi đối với thép Mn thấp

- Nghiên cứu lựa chọn nhiệt độ ram thép Mn thấp

- Nghiên cứu lựa chọn thời gian ram thép Mn thấp

- Tối ưu hóa quy trình ram đối với thép Mn thấp

- Đề xuất quy trình xử lý nhiệt chế tạo thép Mn thấp đảm bảo tính chống mài mòn

***6.4. Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá và hoàn thiện quy trình công nghệ***

*6.4.1. Chế tạo thử nghiệm thép Mn thấp, đánh giá chất lượng và hoàn thiện quy trình công nghệ*

- Thử nghiệm nấu luyện, đúc hợp kim thép Mn thấp

- Thử nghiệm xử lý nhiệt hợp kim thép Mn thấp

- Đánh giá chất lượng thép Mn thấp

- Hoàn thiện quy trình công nghệ chế tạo thép Mn thấp

*6.4.2. Chế tạo thử nghiệm sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp, đánh giá chất lượng sản phẩm*

- Thiết kế bản vẽ đúc đối với răng gầu

- Phối liệu và nấu luyện thép Mn thấp cho sản phẩm răng gầu

- Tính toán thiết kế khuôn đúc cho sản phẩm răng gầu

- Tính toán quy trình đúc rót và biện pháp nâng cao chất lượng sản phẩm đúc răng gầu

- Tiến hành đúc, nấu luyện sản phẩm răng gầu từ thép Mn thấp

- Tiến hành xử lý nhiệt sản phẩm răng gầu

- Đánh giá phân tích chất lượng răng gầu theo các tiêu chí đánh giá sản phẩm

***6.5. Thử nghiệm sản phẩm răng gầu và đánh giá hiệu quả, xây dựng báo cáo kinh tế kỹ thuật***

***6.6. Tổng kết, đánh giá***

*(Nội dung và quy mô nghiên cứu cụ thể theo Thuyết minh được duyệt)*

**7. Thời gian thực hiện:** từ tháng 12/2024 - 9/2026.

**8. Sản phẩm khoa học và công nghệ và các chỉ tiêu đánh giá, nghiệm thu:**

- Quy trình công nghệ nấu luyện thép Mn thấp

- Quy trình công nghệ đúc và nhiệt luyện thép Mn thấp

- Thép Mn thấp dùng để chế tạo chi tiết chịu mài mòn: Độ cứng sản phẩm: 48 – 52HRC và độ bền va đập ở 20°C là trên 25J

- Báo cáo tổng kết đề tài và các báo cáo chuyên đề.

**Điều 2. Kinh phí thực hiện**

Tổng kinh phí thực hiện: Tổng kinh phí thực hiện: 2.164.880.000 đồng (*Hai tỉ, một trăm sáu mươi tư triệu, tám trăm tám mươi nghìn đồng)*. Trong đó:

+ Ngân sách khoa học - công nghệ thành phố cấp: 1.957.480.000 đồng (*Một tỉ, chín trăm năm mươi bảy triệu, bốn trăm tám mươi nghìn đồng*).

+ Tự có: 207.400.000 đồng (*Hai trăm linh bảy triệu, bốn trăm nghìn đồng*).

*(Có dự toán chi tiết được duyệt kèm theo Quyết định số 4884/QĐ-UBND ngày 25/12/2024 của Uỷ ban nhân dân thành phố Hải Phòng)*

2. Tiến độ cấp kinh phí ngân sách:

- Đợt 1: Bên A chuyển tạm ứng cho bên B số tiền là 450.000.000 đồng *(Bốn trăm năm mươi triệu đồng chẵn)* trong vòng 30 ngày sau khi Hợp đồng được ký kết.

- Đợt 2: Bên A chuyển tạm ứng cho bên B số tiền là 1.350.000.000 đồng *(Một tỷ, ba trăm năm mươi triệu đồng chẵn)* sau khi bên B hoàn thành quyết toán đợt 1.

- Đợt 3: Bên A chuyển thanh toán số tiền còn lại căn cứ vào Quyết định nghiệm thu và khối lượng công việc đã thực hiện đảm bảo không vượt quá tổng kinh phí được phê duyệt và chậm nhất sau 90 ngày kể từ khi Quyết định nghiệm thu được ký.

**Điều 3. Quyền và nghĩa vụ của các bên**

***1. Quyền và nghĩa vụ của Bên A***

a) Chuyển kinh phí theo đúng tiến độ và kết quả thực hiện của bên B. Bên A có quyền thay đổi tiến độ cấp hoặc ngừng cấp kinh phí nếu Bên B không hoàn thành công việc đúng tiến độ, đúng nội dung công việc được giao.

b) Tổ chức kiểm tra định kỳ hoặc đột xuất tình hình thực hiện của Bên B theo nội dung, quy mô, tiến độ đã ký kết (*Phụ lục hợp đồng*).

c) Cung cấp các thông tin cần thiết và hỗ trợ cho bên B thực hiện nhiệm vụ theo chức năng của Bên A.

d) Cử cán bộ theo dõi, giúp đỡ bên B trong việc triển khai; cùng bên B tổ chức nghiệm thu kết quả thực hiện nhiệm vụ.

e) Tổ chức đánh giá, nghiệm thu kết quả thực hiện theo quy định sau khi nhận được đủ hồ sơ hợp lệ của bên B.

g) Thực hiện các quyền và nghĩa vụ khác theo quy định của Luật khoa học và công nghệ và các văn bản liên quan.

*2. Quyền và nghĩa vụ của Bên B*

a) Tổ chức triển khai nhiệm vụ theo đúng nội dung, quy mô, tiến độ (Phụ lục hợp đồng).

b) Yêu cầu Bên A cấp đủ kinh phí theo đúng tiến độ quy định trong Hợp đồng khi hoàn thành đầy đủ nội dung công việc theo tiến độ cam kết. Sử dụng kinh phí đúng nội dung và quản lý chứng từ gốc theo quy định. Đảm bảo huy động đủ nguồn kinh phí khác theo cam kết.

c) Có báo cáo định kỳ, báo cáo quyết toán kinh phí đã sử dụng theo quy định.

d) Cùng bên A tổ chức nghiệm thu và thanh lý Hợp đồng.

e) Thực hiện các quyền và nghĩa vụ khác theo quy định của Luật Khoa học và Công nghệ và các văn bản liên quan.

**Điều 4. Chấm dứt Hợp đồng**

1. Hợp đồng này chấm dứt khi xảy ra một trong các trường hợp theo Khoản 1 Điều 14 Quy chế quản lý các nhiệm vụ khoa học và công công nghệ có sử dụng ngân sách nhà nước thành phố Hải Phòng ban hành kèm theo Quyết định số 2848/2015/QĐ-UBND ngày 21/12/2015 của Uỷ ban nhân dân thành phố.

2. Việc xử lý tài chính, tài sản, thu hồi kinh phí ngân sách cấp do chấm dứt thực hiện nhiệm vụ thực hiện theo Khoản 5 Điều 15 Quy chế quản lý các nhiệm vụ khoa học và công công nghệ có sử dụng ngân sách nhà nước thành phố Hải Phòng ban hành kèm theo Quyết định số 2848/2015/QĐ-UBND ngày 21/12/2015 của Uỷ ban nhân dân thành phố.

**Điều 5. Xử lý tài sản khi kết thúc Hợp đồng**

Khi kết thúc Hợp đồng, việc xử lý tài sản được mua sắm hoặc hình thành từ nguồn ngân sách cấp, các sản phẩm, vật chất thu được trong quá trình thực hiện nhiệm vụ được thực hiện theo Khoản 6 và 7 Điều 15 Quy chế quản lý các nhiệm vụ khoa học và công công nghệ có sử dụng ngân sách nhà nước thành phố Hải Phòng ban hành kèm theo Quyết định số 2848/2015/QĐ-UBND ngày 21/12/2015 của Uỷ ban nhân dân thành phố.

**Điều 6. Quyền sở hữu và sử dụng kết quả:**

1. Kết quả thực hiện nhiệm vụ được quản lý theo quy định của Nhà nước.

2. Quyền sở hữu và sử dụng kết quả nghiên cứu thực hiện theo Điều 18 Quy chế quản lý các nhiệm vụ khoa học và công công nghệ có sử dụng ngân sách nhà nước thành phố Hải Phòng ban hành kèm theo Quyết định số 2848/2015/QĐ-UBND ngày 21/12/2015 của Uỷ ban nhân dân thành phố.

**Điều 7. Điều khoản thực hiện**

1. Khi một trong hai bên gặp phải trường hợp bất khả kháng dẫn đến việc không thể hoặc chậm thực hiện nghĩa vụ đã thỏa thuận trong Hợp đồng thì có trách nhiệm thông báo cho bên kia chậm nhất sau 10 ngày kể từ ngày xảy ra sự việc. Hai bên có trách nhiệm phối hợp xác định nguyên nhân và báo cáo cơ quan quản lý nhà nước có thẩm quyền để giải quyết theo quy định của pháp luật.

2. Hai bên cam kết thực hiện đúng các quy định của Hợp đồng. Nếu trong quá trình thực hiện có các vấn đề phát sinh, hai bên có trách nhiệm hợp tác thống nhất giải quyết và có văn bản bổ sung hợp đồng. Các sửa đổi, bổ sung (nếu có) phải lập thành văn bản có đầy đủ chữ ký của các bên và được coi là bộ phận của Hợp đồng và là căn cứ để nghiệm thu kết quả thực hiện nhiệm vụ. Bên vi phạm các cam kết trong Hợp đồng phải chịu trách nhiệm theo quy định pháp luật.

3. Mọi tranh chấp phát sinh trong quá trình thực hiện Hợp đồng do các bên thương lượng hoà giải để giải quyết. Trường hợp không hoà giải được thì một trong hai bên có quyền đưa tranh chấp ra Trọng tài để giải quyết (hoặc khởi kiện tại Toà án có thẩm quyền theo quy định của pháp luật).

**Điều 8. Hiệu lực của Hợp đồng**

Hợp đồng này có hiệu lực từ ngày ký và được lập thành 06 bản có giá trị như nhau, mỗi bên giữ 3 bản./.

| ĐẠI DIỆN BÊN B | ĐẠI DIỆN BÊN A |
|---|---|
| HIỆU TRƯỞNG | GIÁM ĐỐC |
| PGS.TS. Phạm Xuân Dương | Trần Quang Tuấn |