

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ CÔNG THƯƠNG

VIỆN NGHIÊN CỨU CƠ KHÍ

NGUYỄN MINH TÂN

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ HÀN LẶN TIẾP XÚC PHỤC HỒI
CHI TIẾT MÁY DẠNG TRỤC**

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ

MÃ SỐ: 9520103

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT CƠ KHÍ

Hà Nội – 2019

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ CÔNG THƯƠNG

VIỆN NGHIÊN CỨU CƠ KHÍ

NGUYỄN MINH TÂN

**NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ HÀN LẶN TIẾP XÚC PHỤC HỒI
CHI TIẾT MÁY DẠNG TRỤC**

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ

MÃ SỐ: 9520103

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT CƠ KHÍ

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. TS. Hoàng Văn Châu S. Hoàng

2. PGS.TS. Đào Quang Kế

Văn Châu

PGS.TS. Đào Quang Kế

Hà Nội – 2019

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, các số liệu, kết quả trình bày trong Luận án này là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất cứ công trình nào khác.

Hà Nội, tháng 3 năm 2019

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Minh Tân

TẬP THỂ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

TS. Hoàng Văn Châu

PGS.TS. Đào Quang Kế

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin trân trọng cảm ơn Viện nghiên cứu Cơ khí, lãnh đạo, chuyên viên cùng các Thầy của Trung tâm đào tạo sau đại học của Viện, đã tạo điều kiện thuận lợi, giúp đỡ tôi trong quá trình học tập, nghiên cứu thực hiện luận án.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Ban Giám hiệu, lãnh đạo Khoa Cơ khí trường Đại học SPKT Hưng Yên đã có sự hỗ trợ kinh phí và tạo điều kiện về thời gian trong quá trình học tập và nghiên cứu.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt - Viện Nghiên cứu Cơ khí đã giúp đỡ trang thiết bị thí nghiệm và cảm ơn toàn thể cán bộ, nhân viên Phòng thí nghiệm đã giúp đỡ tôi trong suốt quá trình thực nghiệm để hoàn thành công việc nghiên cứu của Luận án.

Tôi xin trân trọng cảm ơn TS. Hoàng Văn Châu, PGS.TS. Đào Quang Kế đã tận tình hướng dẫn, tạo điều kiện, động viên trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận án.

Tôi xin trân trọng cảm ơn các thầy, cô trong Khoa Cơ khí cùng các đồng nghiệp đã đóng góp ý kiến, hỗ trợ tôi trong quá trình học tập, nghiên cứu thực hiện luận án.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới toàn thể gia đình, bạn bè, những người đã luôn chia sẻ, động viên, giúp đỡ tôi học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận án này.

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Minh Tân

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	ii
TẬP THỂ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC	ii
LỜI CẢM ƠN.....	iii
MỤC LỤC	iv
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	vii
BẢNG CÁC KÝ HIỆU ĐƯỢC SỬ DỤNG.....	ix
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	x
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH VÀ ĐỒ THỊ	xii
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài.....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án.....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án.....	3
4. Phương pháp nghiên cứu	3
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.....	4
6. Các điểm mới của luận án	4
7. Kết cấu của luận án.....	5
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ HÀN PHỤC HỒI CHI TIẾT MÁY DẠNG TRỤC.....	6
1.1. Đặc điểm và các phương pháp phục hồi chi tiết máy dạng trục.....	6
1.1.1. Vật liệu chế tạo trục	6
1.1.2. Điều kiện làm việc của trục	6
1.1.3. Các dạng hỏng cơ bản của trục.....	7
1.1.4. Tính chất hoạt động của các chi tiết máy được phục hồi	7
1.1.5. Các phương pháp phục hồi chi tiết máy dạng trục	8
1.2. Tình hình nghiên cứu và sử dụng hàn phục hồi chi tiết trục trên thế giới và ở Việt Nam	10
1.2.1. Tình hình nghiên cứu và sử dụng hàn phục hồi chi tiết trục trên thế giới....	10
1.2.2. Tình hình nghiên cứu và sử dụng hàn phục hồi chi tiết trục ở Việt Nam	16
Kết luận chương 1	23
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ CÔNG NGHỆ HÀN LẤN TIẾP XÚC PHỤC HỒI CHI TIẾT DẠNG TRỤC	25
2.1. Cơ sở lý thuyết hàn điện tiếp xúc đường.....	25
2.1.1. Khái niệm, đặc điểm và ứng dụng của hàn điện tiếp xúc.....	25

2.1.2. Hàn điện tiếp xúc đường.....	25
2.1.3. Cơ sở lý thuyết quá trình hàn điện tiếp xúc.....	26
2.2. Các phương pháp hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục.....	30
2.2.1. Hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dải thép.....	30
2.2.2. Hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ bột kim loại.....	32
2.2.3. Hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép.....	35
2.3. Cơ sở lý thuyết quá trình hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép.....	38
2.3.1. Nguyên lý hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép.....	38
2.3.2. Bản chất vật lý của quá trình liên kết kim loại.....	39
2.3.3. Quá trình cân bằng nhiệt khi hình thành vùng hàn.....	42
2.3.4. Mối liên hệ giữa khả năng biến dạng dẻo của dây phụ đến độ bền liên kết hàn.....	43
2.3.5. Diện tích tiếp xúc và diện tích mối hàn.....	45
2.3.6. Động học hình thành liên kết hàn.....	50
2.3.7. Đặc điểm hình thành mối hàn khi hàn lăn tiếp xúc dây thép hợp kim.....	50
2.4. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng lớp hàn đắp.....	51
2.4.1. Ảnh hưởng của cường độ dòng điện hàn (I_h).....	52
2.4.2. Thời gian xung điện (t_i, t_n).....	53
2.4.3. Ảnh hưởng của lực ép điện cực con lăn (F).....	54
2.4.4. Ảnh hưởng của tốc độ hàn (V_h).....	55
2.4.5. Ảnh hưởng của bước tiến hàn (St).....	55
2.4.6. Ảnh hưởng của lưu lượng nước làm mát (Q_n).....	56
Kết luận chương 2.....	56
CHƯƠNG 3. VẬT LIỆU, THIẾT BỊ, PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM VÀ KIỂM TRA ĐÁNH GIÁ.....	58
3.1. Mô hình thí nghiệm.....	58
3.2. Thiết bị, vật liệu thực nghiệm.....	58
3.2.1. Thiết bị thực nghiệm.....	58
3.2.2. Vật liệu thực nghiệm.....	63
3.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm.....	70
3.3.1. Phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi.....	71
3.3.2. Phân tích phương sai ANOVA.....	72
3.3.3. Tối ưu đa mục tiêu dựa trên sự kết hợp phân tích quan hệ Grey và Taguchi.....	74

3.4. Phương pháp kiểm tra đánh giá chất lượng hàn	76
3.4.1. Nghiên cứu thành phần cấu trúc lớp hàn	76
3.4.2. Phương pháp kiểm tra cơ tính lớp hàn đắp	77
3.5. Quá trình thực nghiệm thăm dò	83
3.5.1. Lựa chọn thông số chế độ công nghệ	83
3.5.2. Một số kết quả thí nghiệm thăm dò	84
3.6. Các bước tiến hành hàn mẫu thực nghiệm	87
Kết luận chương 3	88
CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN	90
4.1. Kết quả nghiên cứu cấu trúc lớp hàn	90
4.1.1. Tổ chức thô đại mỗi hàn	90
4.1.2. Tổ chức tế vi liên kết hàn	92
4.1.3. Phân tích thành phần hóa học mỗi hàn	97
4.2. Kết quả nghiên cứu cơ tính mỗi hàn	97
4.2.1. Độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trực cơ bản	98
4.2.2. Độ cứng kim loại mỗi hàn	100
4.2.3. Độ bền mòn kim loại mỗi hàn	102
4.3. Đánh giá độ bền mòn trực hàn phục hồi với trực chế tạo mới làm từ thép C45 tôi cải thiện	103
4.4. Xác định ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ đến cơ tính của mỗi hàn	105
4.4.1. Ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền	106
4.4.2. Ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ cứng kim loại mỗi hàn	112
4.4.3. Ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ mài mòn kim loại mỗi hàn	118
4.5. Đánh giá ảnh hưởng của thông số công nghệ I_h , F , V_h theo bài toán tối ưu đa mục tiêu	122
Kết luận chương 4	128
KẾT LUẬN CHUNG CỦA LUẬN ÁN	130
TÀI LIỆU THAM KHẢO	131
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ	142
PHỤ LỤC	143

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

TT	Ký hiệu/ Viết tắt	Ý nghĩa cụm từ viết tắt
1	A	Diện tích
2	ANOVA	Analysis of Variance (Phân tích phương sai)
3	FCAW	Flux Cored Arc Welding (Hàn hồ quang dây hàn lõi thuốc)
4	F_i	Bậc tự do của các yếu tố
5	JIS G	Japanese Industrial Standard (Tiêu chuẩn quốc gia nhật)
6	GMAW	Gas Metal Arc Welding (Hàn hồ quang kim loại trong khí bảo vệ)
7	GLS	Generalized Least Squares Regression (Hồi quy bình phương tối thiểu)
8	GRA	Grey Relational analysis (Quan hệ Grey)
9	HR	Độ cứng Rockwell
10	HV	Độ cứng Vickers
11	HVAF	High Velocity Air Fuel (Phun nhiệt nhiên liệu không khí tốc độ cao)
12	HVOF	High Velocity Oxygene Fuel (Phun oxy-nhiên liệu tốc độ cao)
13	KHCN	Khoa học công nghệ
14	L	Khoảng cách
15	L_n	Mảng trực giao
16	LGS-GMAW	Laser guided and stabilized gas metal arc welding processes (Hàn hồ quang kim loại khí bảo vệ có sự hỗ trợ ổn định bằng laser)
17	m	Trung bình của các tỷ số nhiều
18	MAG	Metal Active Gas welding (Hàn khí hoạt tính điện cực kim loại)
19	M_d	Khối lượng kim loại đắp mỗi hàn
20	MIG	Metal inert gas welding (Hàn khí trơ điện cực kim loại)
21	m_{ji}	Trung bình của các tỷ số tín hiệu/nhiều ứng với từng mức yếu tố.
22	MVR	Multivariate Regression (Hồi quy nhiều biến)
23	N	Tải trọng
24	n	Số vòng quay
25	OAs	Original Array (Mảng trực giao)
26	P	Lực tác dụng
27	PTA	Plasma Transferred Arc (Hồ quang plasma dịch chuyển)
28	P_{Ih}	Phần trăm ảnh hưởng của dòng hàn
29	P_F	Phần trăm ảnh hưởng của lực ép điện cực

30	P_{Vh}	Phần trăm ảnh hưởng của tốc độ hàn
31	Q	Nhiệt lượng
32	S	Quãng đường di chuyển
33	S_{Ih}	Tổng bình phương các yếu tố cường độ dòng hàn
34	S_F	Tổng bình phương các yếu tố lực ép điện cực
35	S_{Vh}	Tổng bình phương các yếu tố tốc độ hàn
36	SMAW	Shielded metal arc welding (Hàn hồ quang điện cực có thuốc bọc)
37	S/N	Tỷ số tín hiệu trên nhiễu
38	S_T	Tính tổng bình phương
39	T	Tổng kết quả thí nghiệm
40	U	Điện áp
41	V	Thể tích
42	V_J	Bình phương trung bình (phương sai) của các yếu tố.
43	V_{Ih}	Bình phương trung bình của các yếu tố cường độ dòng hàn
44	V_F	Bình phương trung bình của các yếu tố lực ép điện cực
45	V_{Vh}	Bình phương trung bình của các yếu tố tốc độ hàn
46	y	Giá trị trung bình của tất cả các lần đo
47	y_i	Giá trị đo thí nghiệm thứ i
48	y_i^*	Tiêu chí chất lượng
49	Y_{dmt}	Hàm hồi quy đa mục tiêu theo Grey
50	Y_{opt}	Giá trị tối ưu
51	η	Hiệu suất
52	α	Góc độ
53	σ	Độ bền kéo
54	τ	Độ bền trượt
55	ϵ_y	Độ biến dạng
56	ψ	Hệ số phân biệt
57	ξ_i	Hệ số quan hệ Grey
58	γ_i	Mức độ Grey
59	γ_{i-opt}	Giá trị đa mục tiêu theo Grey
60	Δ_{oi}	giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa giá trị chuẩn hoá thực và giá trị lý tưởng
61	Δ_{min}	Giá trị tối thiểu của sự khác biệt tuyệt đối
62	Δ_{max}	Giá trị tối đa của sự khác biệt tuyệt đối
63	ΔT	Lượng tăng nhiệt độ

BẢNG CÁC KÝ HIỆU ĐƯỢC SỬ DỤNG

TT	Ký tự	Giải thích	Đơn vị
1	D	Đường kính điện cực	mm
2	D_t	Đường kính trục hàn	mm
3	d_d	Đường kính dây hàn phụ	mm
4	I_h	Cường độ dòng điện hàn	kA
5	F	Lực ép điện cực	kN
6	t_i	Thời gian xung điện	s
7	t_n	Thời gian dừng giữa các xung điện	s
8	V_h	Tốc độ hàn	cm/s
9	S_t	Bước tiến hàn	mm/vòng
10	R_2	Bán kính điện cực con lăn điện	mm
11	R_1	Bán kính trục hàn phục hồi	mm
12	R_w	Độ cứng mối hàn	HRC
13	Q_n	Lưu lượng nước làm mát	lít/phút
14	I_m	Cường độ mòn	g/N.mm
15	σ_b	Độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền	N/mm ²
16	ΔP	Độ hụt trọng lượng của mẫu thử sau thí nghiệm	g

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 3.1. Thông số máy hàn điện tiếp xúc đường ARO 72500	59
Bảng 3.2. Thành phần hóa học mẫu thực nghiệm (%)	65
Bảng 3.3. Thành phần hóa học mẫu vật liệu làm chốt hình côn (%)	68
Bảng 3.4. Kết quả thử kéo vật liệu chế tạo chốt.....	68
Bảng 3.5. Thành phần hóa học của dây hàn phụ (%).....	70
Bảng 3.6. Phương án thực nghiệm Taguchi mảng L9.....	71
Bảng 3.7. Các đặc trưng chất lượng theo Taguchi.....	72
Bảng 3.8. Kết quả thăm dò giới hạn bền kéo lớp hàn đắp với nền	85
Bảng 3.9. Kết quả kiểm tra độ cứng mẫu thăm dò	85
Bảng 3.10. Thông số công nghệ hàn thực nghiệm	86
Bảng 3.11. Thông số hàn các mẫu thực nghiệm.....	88
Bảng 4.1. Thành phần hóa học cơ bản của mỗi hàn các mẫu sau khi kiểm tra.....	97
Bảng 4.2. Giới hạn bền kéo lớp hàn đắp với nền trực cơ bản	98
Bảng 4.3. Độ cứng thô đại bề mặt lớp hàn đắp	100
Bảng 4.4. Độ cứng mặt cắt ngang kim loại mỗi hàn	101
Bảng 4.5. Kết quả kiểm tra lượng mòn trung bình các mẫu hàn thực nghiệm.....	102
Bảng 4.6. Kết quả kiểm tra lượng mòn trung bình các mẫu thép C45 tôi cao tần	104
Bảng 4.7. Các mức và giá trị tương ứng của các yếu tố ảnh hưởng.....	106
Bảng 4.8. Kết quả đo độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và tỷ số S/N.....	106
Bảng 4.9. Phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các yếu tố tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền	107
Bảng 4.10. Các tham số ảnh hưởng đến độ bền liên kết hàn ở mức mới.....	111
Bảng 4.11. Kết quả kiểm tra giới hạn bền kéo mẫu hàn kiểm chứng	111
Bảng 4.12. Kết quả đo độ cứng kim loại bề mặt mỗi hàn và tỷ số S/N	112
Bảng 4.13. Phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các yếu tố tới độ cứng kim loại mỗi hàn	112
Bảng 4.14. Các tham số ảnh hưởng đến độ cứng mỗi hàn ở mức mới	117
Bảng 4.15. Kết quả kiểm tra độ cứng mẫu hàn kiểm chứng	117
Bảng 4.16. Kết quả đo độ mài mòn kim loại đắp mỗi hàn và tỷ lệ S/N.....	118
Bảng 4.17. Phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các yếu tố tới độ mài mòn lớp hàn	118

Bảng 4.18. Các tham số ảnh hưởng đến độ mài mòn lớp hàn đắp ở mức mới	122
Bảng 4.19. Kết quả kiểm tra mài mòn mẫu hàn kiểm chứng	122
Bảng 4.20. Kết quả đo và phân mức S/N của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mối hàn	123
Bảng 4.21. Bảng tổng hợp phân tích ảnh hưởng và phần trăm ảnh hưởng của các thông số đến độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền	123
Bảng 4.22. Bảng tổng hợp phân tích ảnh hưởng và phần trăm ảnh hưởng của các thông số đến độ cứng lớp hàn đắp	123
Bảng 4.23. Kết quả phân tích quan hệ Grey	124
Bảng 4.24. Bảng đặc trưng phân mức mối quan hệ Grey	126
Bảng 4.25. Các tham số ảnh hưởng đến đồng thời độ bền liên kết và độ cứng mối hàn ở mức mới	127
Bảng 4.26. Kết quả kiểm chứng cho ảnh hưởng đồng thời của các thông số công nghệ	128

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH VÀ ĐỒ THỊ

Hình 2.1. Nguyên lý hàn tiếp xúc đường	26
Hình 2.2. Các phương pháp hàn tiếp xúc đường.....	26
Hình 2.3. Sự thất thoát nhiệt trong quá trình hàn điện tiếp xúc	27
Hình 2.4. Các vùng điện trở trong hàn điện tiếp xúc	28
Hình 2.5. Ảnh hưởng của lực ép điện cực đến điện trở tiếp xúc.....	28
Hình 2.6. Đồ thị thể hiện sự thay đổi điện trở trong hàn điện tiếp xúc	29
Hình 2.7. Chu trình hàn điện tiếp xúc đường	30
Hình 2.8. Sơ đồ hàn lăn tiếp xúc phục hồi trực vật liệu phụ dải thép	31
Hình 2.9. Dải kim loại xẻ rãnh trên bề mặt	32
Hình 2.10. Sơ đồ hàn lăn tiếp xúc phục hồi trực bột kim loại.....	33
với những cách thức sử dụng bột khác nhau	33
Hình 2.11. Sơ đồ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trực vật liệu phụ dây thép	36
Hình 2.12. Sơ đồ cải tiến hàn lăn tiếp xúc phục hồi với vật liệu phụ dây thép.....	37
Hình 2.13. Sơ đồ nguyên lý hàn lăn tiếp xúc phục hồi trực vật liệu phụ dây thép.....	38
Hình 2.14. Quá trình biến dạng dẻo của dây hàn phụ và trường nhiệt độ khu vực hàn	41
Hình 2.15. Sơ đồ hình thành lớp phủ kim loại khi hàn lăn tiếp xúc.....	46
Hình 2.16. Biến dạng của vùng tiếp xúc giữa bề mặt trực với dây hàn phụ	46
Hình 2.17. Sự thay đổi kích thước của vùng hình thành mối hàn trong giới hạn của khu vực tiếp xúc khi xung điện chạy qua	50
Hình 2.18. Các mẫu trực hàn với dòng hàn nhỏ, tổn thất nhiệt qua bộ phận truyền dẫn, thời gian xung điện quá dài	52
Hình 2.19. Các mẫu trực hàn với dòng điện hàn lớn.....	53
Hình 2.20. Sự phụ thuộc của độ bền liên kết lớp hàn vào I_h ; t_i ; t_n ; F ; V_h	53
Hình 3.1. Mô hình thực nghiệm	58
Hình 3.2. Máy hàn lăn ARO 72500 – France.....	59
Hình 3.3. Sơ đồ máy biến áp hàn	60
Hình 3.4. Mô hình đồ gá hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trực	60
Hình 3.5. Lắp ráp và chạy thử nghiệm đồ gá	61
Hình 3.6. Sơ đồ mạch và thiết bị đo kiểm điện	61
Hình 3.7. Hệ thống thiết bị hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trực	62
Hình 3.8. Thiết bị sử dụng đo điện áp và sóng điện máy hàn	63
Hình 3.9. Thiết bị sử dụng đo dòng điện và áp suất khí nén.....	63
Hình 3.10. Hình vẽ gia công mẫu thực nghiệm.....	66

Hình 3.11. Hình ảnh mẫu thực nghiệm sau gia công	66
Hình 3.12. Mô hình lắp ghép mẫu thực nghiệm.....	67
Hình 3.13. Hình ảnh mẫu thực nghiệm hoàn thiện.....	67
Hình 3.14. Chốt kiểm tra bên liên kết lớp hàn đắp với nền.....	67
Hình 3.15. Mẫu thử kéo vật liệu chế tạo chốt	68
Hình 3.16. Thiết bị kiểm tra cấu trúc tế vi, thô đại Axiovert 40 MAT	76
Hình 3.17. Thiết bị tia phổ phát xạ kiểm tra thành phần hóa học Metal Lab 75/80J MVU - GNR.....	77
Hình 3.18. Kiểm tra lớp đắp bằng phương pháp kéo chốt	78
Hình 3.19. Cắt trục hàn thành các thành phần kiểm tra	78
Hình 3.20. Lắp ghép ống nối với phần ren ở đuôi của chốt	79
Hình 3.21. Kéo đứt chốt hàn trên máy thử kéo WEW 1000B.....	79
Hình 3.22. Máy đo độ cứng thô đại HPO-250	80
Hình 3.23. Sơ đồ xác định độ cứng Vicker	80
Hình 3.24. Máy đo độ cứng tế vi 401-MVD-Wilson Wolpert.....	80
Hình 3.25. Một số tiêu chuẩn kiểm tra mài mòn theo ASTM.....	81
Hình 3.26. Mẫu kiểm tra cường độ mài mòn	82
Hình 3.27. Thiết bị đo cường độ mòn và hệ số ma sát TE97- Friction.....	82
Hình 3.28. Hình ảnh quá trình và một số mẫu hàn thực nghiệm thăm dò.....	84
Hình 3.29. Một số mẫu hàn thăm dò chế độ công nghệ.....	84
Hình 3.30. Tổ chức thô đại mẫu hàn thăm dò (16x).....	85
Hình 3.31. Sơ đồ làm mát trục hàn.....	87
Hình 3.32. Sơ đồ các bước thực hiện hàn mẫu.....	88
Hình 4.1. Mẫu hàn và bề mặt mẫu hàn thực nghiệm.....	90
Hình 4.2. Bề mặt mối hàn M3: $I_h = 6,5kA$; $F = 2,3kN$; $V_h = 2,0cm/s$	91
Hình 4.3. Bề mặt mối hàn M8: $I_h = 8,5kA$; $F = 2,0kN$; $V_h = 1,5cm/s$	91
Hình 4.4. Tổ chức thô đại mối hàn các mẫu thực nghiệm 16x.....	92
Hình 4.5. Tổ chức tế vi kim loại hàn cơ bản	93
Hình 4.6. Tổ chức tế vi mối hàn 500x.....	93
Hình 4.7. Tổ chức tế vi vùng tiếp giáp lớp hàn với nền 100x.....	95
Hình 4.8. Tổ chức tế vi vùng ảnh hưởng nhiệt.....	97
Hình 4.9. Bề mặt tách của chốt hình côn ra khỏi mối hàn	98
Hình 4.10. Ảnh chụp vết đâm độ cứng mặt cắt ngang mối hàn	102
Hình 4.11. Mẫu thép C45 tôi cao tần.....	103
Hình 4.12. Ảnh chụp SEM bề mặt mẫu thử sau kiểm tra mài mòn	105

Hình 4.13. Biểu đồ phân mức của các yếu tố cho độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền	108
Hình 4.14. Biểu đồ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố I_h , F , V_h tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền	108
Hình 4.15. Sự phụ thuộc của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp dưới dạng 2D	109
Hình 4.16. Sự phụ thuộc của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàm tuyến tính dưới dạng 3D	109
Hình 4.17. Sự phụ thuộc của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàm lũy thừa dưới dạng 3D	110
Hình 4.18. Biểu đồ phân mức của các yếu tố cho độ cứng kim loại mối hàn	114
Hình 4.19. Biểu đồ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố I_h , F , V_h tới độ cứng kim loại lớp đắp	114
Hình 4.20. Sự phụ thuộc của độ cứng lớp hàn đắp vào các thông số I_h , F , V_h ở mức phù hợp dưới dạng 2D	115
Hình 4.21. Sự phụ thuộc của độ cứng lớp hàn đắp vào các thông số I_h , F, V_h ở mức phù hợp hàm tuyến tính dưới dạng 3D	115
Hình 4.22. Sự phụ thuộc của độ cứng lớp hàn đắp vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàm lũy thừa dưới dạng 3D	116
Hình 4.23. Biểu đồ phân mức của các yếu tố cho độ mài mòn của mối hàn vào các thông số I_h , F, V_h ở mức phù hợp dưới dạng 2D	119
Hình 4.24. Biểu đồ tỷ lệ phần trăm ảnh hưởng của các yếu tố I_h , F , V_h tới độ mài mòn của mối hàn	119
Hình 4.25. Sự phụ thuộc của độ mài mòn mối hàn vào từng thông số hàn ở mức phù hợp dưới dạng tuyến tính và lũy thừa 2D	120
Hình 4.26. Sự phụ thuộc của độ mài mòn lớp hàn đắp vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàm tuyến tính dưới dạng 3D	121
Hình 4.27. Sự phụ thuộc của độ mài mòn lớp hàn đắp vào các thông số I_h , F, V_h ở mức phù hợp hàm lũy thừa dưới dạng 3D	121
Hình 4.28. Mối quan hệ tương quan Grey	125
Hình 4.29. Đồ thị phân mức ảnh hưởng của I_h , F , V_h đến đồng thời chỉ tiêu độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mối hàn	126
Hình 4.30. Đồ thị phần trăm ảnh hưởng của I_h , F , V_h đến đồng thời chỉ tiêu độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mối hàn	127

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Trong quá trình thực hiện công cuộc công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước, đi đôi với việc hội nhập tiếp thu các tiến bộ khoa học công nghệ trong việc đầu tư các trang thiết bị hiện đại từ các nước tiên tiến, thì việc sáng tạo phát huy nội lực trong nghiên cứu ứng dụng khai thác và làm chủ công nghệ là một động lực rất quan trọng. Việc áp dụng những thành tựu nghiên cứu của tiến bộ khoa học kỹ thuật để tạo ra các sản phẩm đạt được chất lượng yêu cầu tương đương nhập ngoại, song giá thành lại phù hợp với khả năng của các cơ sở sản xuất trong nước là cấp thiết.

Trong lĩnh vực công nghệ hàn, ngoài việc phát huy áp dụng các công nghệ hàn tiên tiến vào sản xuất nhằm nâng cao chất lượng và hạ giá thành sản phẩm thì việc ứng dụng công nghệ hàn vào việc phục hồi và nâng cao chất lượng các chi tiết máy cũng là một vấn đề đang rất được quan tâm và đã được thực hiện một cách có hiệu quả.

Trong quá trình hàn phục hồi, ngoài mục đích khôi phục lại kích thước hình học và các tính năng làm việc của chi tiết, thì việc nâng cao chất lượng và tuổi thọ làm việc của chi tiết cũng là một mục tiêu quan trọng. Trong nhiều trường hợp, chi tiết sau khi phục hồi còn có chất lượng bề mặt được cải thiện đáng kể, có thể đạt chất lượng gần hoặc tương đương với chi tiết mới. Tuy nhiên để đạt được các mục tiêu trên, thì trong quá trình hàn phục hồi cần nghiên cứu một cách kỹ lưỡng, có hệ thống các yếu tố ảnh hưởng quyết định đến chất lượng phục hồi như việc lựa chọn phương pháp hàn, vật liệu hàn, trường nhiệt độ, trường ứng suất dư cũng như các chế độ gia công nhiệt.

Nhiều năm qua, Việt Nam phát triển nền công nghiệp thông qua việc nhập thiết bị tổng thành và thiết bị lẻ của rất nhiều quốc gia trên thế giới. Để đảm bảo và duy trì việc vận hành hiệu quả và lâu dài, công nghệ phục hồi phụ tùng cũ là đặc biệt quan trọng. Giá thành phục hồi chi tiết bị hỏng thường không vượt quá 30÷50% so với giá chi tiết máy mua mới cùng loại, có nhiều chi tiết phức tạp về chế tạo nhưng với công nghệ phục hồi chỉ cần 15-20% giá thành đã có thể sử dụng trở lại với đầy đủ tính năng và chất lượng không thua kém sản phẩm mới.

Hàng năm có hàng triệu tấn chi tiết máy máy móc bị hư hỏng bề mặt. Việc khôi phục sẽ tiết kiệm được nguồn nguyên liệu, nhiên liệu năng lượng đồng thời nguồn lực lao động sẽ giảm 2-3 lần so với việc sản xuất mới.

Nhìn lại tình hình ứng dụng công nghệ hàn phục hồi trong nước ta thấy rằng, từ đầu những năm 90 các cơ sở sản xuất đã bắt đầu đầu tư và sử dụng rất nhiều phương pháp hàn tiên tiến. Trong đó nghiên cứu quá trình công nghệ hàn điện tiếp xúc phục hồi các chi tiết dạng trục với kim loại phụ dây thép là một nghiên cứu mới, hứa hẹn sẽ tạo ra các sản phẩm cơ khí có độ bền, các tính năng công nghệ cần thiết đáp ứng đòi hỏi ngày càng cao và ngặt nghèo của các quy trình công nghệ sản xuất. Rất nhiều loại chi tiết yêu cầu cần có độ dẻo dai ở bên trong, đồng thời có độ cứng, độ bền mòn tốt ở lớp ngoài, trong đa số các trường hợp lớp hàn đắp phủ bề mặt có chiều dày nhỏ so với chiều dày của cả chi tiết nhưng có tầm quan trọng rất lớn quyết định đến độ bền, tuổi thọ làm việc của chi tiết. Vì vậy việc nâng cao độ bền mòn, chịu ăn mòn của các chi tiết cơ khí quan trọng bằng công nghệ hàn điện tiếp xúc phục hồi với kim loại phụ dây thép là vấn đề có ý nghĩa khoa học và thực tiễn đối với sự phát triển của ngành công nghiệp cơ khí.

Để đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của khoa học kỹ thuật, đề tài “**Nghiên cứu công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục**” tập trung giải quyết vấn đề thực hiện công nghệ, xây dựng phương trình toán học phản ánh mối quan hệ chất lượng lớp hàn đắp với các thông số chế độ của quá trình hàn. Việc làm chủ thiết kế và xây dựng hoàn chỉnh quy trình công nghệ hàn này có ý nghĩa thực tiễn không chỉ về mặt kinh tế mà còn có giá trị đặc biệt về mặt khoa học và công nghệ. Nó góp phần mở ra một hướng nghiên cứu mới cho công nghệ hàn phục hồi các chi tiết dạng trục với sản phẩm sau phục hồi có chất lượng cao, thời gian phục hồi nhanh, công nghệ ổn định do quá trình được tự động hóa, vì vậy sản phẩm phục hồi bằng công nghệ này hoàn toàn có khả năng thay thế sản phẩm nhập ngoại.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

+ Hệ thống cơ sở khoa học, từ đó tiến hành thực nghiệm và ứng dụng công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục với vật liệu phụ dây thép trên thiết bị thí nghiệm hiện có ở Việt Nam.

+ Nâng cao hiệu quả và chất lượng phục hồi chi tiết máy bị hư hỏng trên nền tảng cải tiến quy trình kỹ thuật hàn điện tiếp xúc đường thành hàn lăn tiếp xúc vật liệu phụ dây thép.

+ Xây dựng hàm toán học biểu diễn mối quan hệ giữa các thông số công nghệ gồm: cường độ dòng điện hàn I_h (kA), lực ép điện cực F (kN), tốc độ hàn V_h (cm/s) tới chỉ tiêu chất lượng lớp hàn đắp.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

+ *Đối tượng nghiên cứu:*

- Công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục với kim loại phụ dây thép.
- Nghiên cứu chất lượng lớp hàn đắp phục hồi chi tiết dạng trục thép cacbon C45 với kim loại phụ dây thép C70 bằng công nghệ hàn lăn tiếp xúc.

+ *Phạm vi nghiên cứu:*

- Nghiên cứu chất lượng lớp hàn đắp phục hồi bề mặt trục thép làm từ vật liệu C45 có đường kính $50 \div 150$ mm bằng công nghệ hàn lăn tiếp xúc với kim loại phụ dây thép C70. Đánh giá chất lượng mẫu hàn về độ bền liên kết giữa lớp kim loại đắp với kim loại nền trục, độ cứng và độ bền mòn, tổ chức thô đại, tổ chức tế vi và thành phần hóa học lớp kim loại đắp. Từ kết quả thu được tiến hành phân tích, đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ như: dòng điện hàn I_h , lực ép điện cực F , tốc độ hàn V_h , tới chất lượng lớp hàn đắp phục hồi.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu kết hợp lý thuyết với thực nghiệm

+ *Nghiên cứu lý thuyết:*

- Nghiên cứu các cơ chế làm việc, các dạng hỏng của trục đặc biệt là quá trình hỏng do mài mòn.
- Phân tích và tổng hợp cơ sở lý thuyết của công nghệ hàn phục hồi chi tiết máy dạng trục bằng hàn lăn tiếp xúc kim loại phụ dây thép, kết hợp tham khảo các nghiên cứu liên quan.

+ *Nghiên cứu thực nghiệm:*

- Nghiên cứu chuyển đổi chức năng làm việc máy hàn điện tiếp xúc đường, kết hợp đồ gá để thực hiện công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục.
- Xây dựng mô hình thực nghiệm trên cơ sở phân tích các yếu tố đầu vào và mục tiêu đầu ra của quá trình hàn; Tính toán xác định mức các thông số và tổ hợp các phương án thực nghiệm theo phương pháp Taguchi.
- Dựa trên kết quả kiểm tra cơ tính lớp hàn đắp, sử dụng phân tích phương sai ANOVA và hồi quy nhiều biến để đánh giá kết quả nghiên cứu theo mục tiêu đặt ra.
- Độ tin cậy và hiệu quả của phương pháp được kiểm nghiệm thông qua thí nghiệm kiểm chứng để làm cơ sở ứng dụng của kết quả nghiên cứu.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

5.1. Ý nghĩa khoa học

- Bằng thực nghiệm đưa ra được mối quan hệ giữa 3 thông số hàn lăn tiếp xúc I_h , F , V_h với chỉ tiêu cơ tính và tổ chức tế vi vùng hàn, qua đó có thể đánh giá cơ chế hình thành mối hàn và tổ chức vật liệu lân cận vùng hàn.

- Đề xuất bộ thông số hàn lăn tiếp xúc, cặp vật liệu thép C45 hoặc 40Cr với lớp phủ bằng dây thép C70 trên thiết bị thí nghiệm hiện có ở Việt Nam đảm bảo chất lượng phục hồi chi tiết máy dạng trục.

- Xác định sự kết hợp giữa 3 thông số I_h , F , V_h , nhằm đạt các chỉ tiêu cơ tính cao nhất trong miền khảo sát và định lượng tỷ lệ ảnh hưởng của các thông số này tới các chỉ tiêu cơ tính của lớp hàn đắp.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

- Kết quả của luận án có thể làm tài liệu tham khảo trong lĩnh vực công nghệ hàn phục vụ cho nghiên cứu ứng dụng và chế tạo.

- Hoàn thiện một công nghệ phục hồi chi tiết dạng trục đem lại những hiệu quả nhất định về năng suất, chất lượng, kinh tế đồng thời góp một phần đáng kể cho công cuộc bảo vệ tài nguyên thiên nhiên và môi trường ở nước ta.

- Xây dựng được phương pháp nghiên cứu đánh giá phù hợp cho lớp hàn đắp bằng công nghệ hàn lăn tiếp xúc cho các chi tiết dạng trục có độ mài mòn nhỏ.

6. Các điểm mới của luận án

- Mở rộng phạm vi ứng dụng của công nghệ hàn điện tiếp xúc trong lĩnh vực sửa chữa phục hồi các chi tiết dạng trục cho năng suất, chất lượng khá tốt, chi phí phục hồi thấp và an toàn với môi trường ở nước ta.

- Xác định được quy luật ảnh hưởng của một số thông số công nghệ (I_h , F , V_h ,) đến chất lượng lớp hàn đắp phục hồi, làm cơ sở khoa học cho các công trình nghiên cứu tương tự.

- Xây dựng hàm hồi quy thể hiện mối quan hệ ảnh hưởng đồng thời của các thông số I_h , F , V_h đến hàm mục tiêu là các chỉ tiêu cơ tính của lớp hàn đắp khi hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục.

- Phân tích quan hệ Grey (GRA) kết hợp Taguchi và thuật toán chia đôi để tìm kiếm giá trị tối ưu, phân trăm ảnh hưởng của các thông số công nghệ đáp ứng đồng thời nhiều mục tiêu về cơ tính của mối hàn.

7. Kết cấu của luận án

Ngoài phần mở đầu và các mục theo quy định, nội dung nghiên cứu của luận án được trình bày trong 04 chương và kết luận chung của luận án.

- Chương 1. Tổng quan về công nghệ hàn phục hồi chi tiết máy dạng trục.
- Chương 2. Cơ sở lý thuyết về công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục.
- Chương 3. Vật liệu, thiết bị, phương pháp thực nghiệm và kiểm tra đánh giá.
- Chương 4. Kết quả thực nghiệm và thảo luận
- Kết luận chung của luận án
- Danh mục tài liệu tham khảo, các công trình đã công bố của luận án, phụ lục luận án.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ HÀN PHỤC HỒI CHI TIẾT MÁY DẠNG TRỤC

Để sử dụng tiết kiệm và hữu hiệu nguyên vật liệu, trong kỹ thuật có nhiều biện pháp công nghệ, trong đó biện pháp hữu hiệu nhất là ứng dụng các công nghệ hàn phục các chi tiết máy bị mòn. Hàn phục chi tiết máy là biện pháp tích cực để sử dụng trở lại các chi tiết máy đã bị hỏng và mất chính xác. Nguyên vật liệu dùng cho phục hồi các chi tiết máy chỉ cần một khối lượng rất nhỏ so với khối lượng toàn bộ chi tiết mới, ngoài ra chi phí cho phục hồi cũng thấp hơn đáng kể so với sản xuất mới.

Khi lựa chọn phương pháp phục hồi cần tính đến đặc điểm cấu tạo - kỹ thuật cũng như điều kiện làm việc của các chi tiết máy, đặc điểm vận hành và điều kiện kinh tế của các phương pháp phục hồi.

1.1. Đặc điểm và các phương pháp phục hồi chi tiết máy dạng trục

1.1.1. Vật liệu chế tạo trục

Vật liệu chế tạo trục và cổ trục thường là các loại thép kết cấu C40, C45 hoặc thép hợp kim 40Cr. Trường hợp chịu tải lớn dùng trong các máy móc quan trọng có thể dùng vật liệu thép crôm - mangan như 35 CrMnV, 40CrMnTiBo và thép crôm - niken 40CrNi; 45CrNi, 30CrNi3A... được tôi cải thiện và tôi bằng dòng điện tần số cao tại các bề mặt cổ trục và các bề mặt làm việc chịu mài mòn. Đối với trục làm việc với vận tốc cao, lắp với ổ trượt và yêu cầu có độ cứng bề mặt của trục cao, có thể dùng các loại thép 20Cr, 12CrNi2, 12CrNi3A, 18CrMnTi, được thấm cacbon và tôi [12].

1.1.2. Điều kiện làm việc của trục

Trong các thiết bị máy móc, chi tiết trục chiếm một vai trò quan trọng, được dùng để đỡ các chi tiết quay hoặc truyền chuyển động như bánh răng, bánh đai, bánh xích... và truyền mô men xoắn dọc theo đường trục từ các chi tiết lắp trên nó đến các chi tiết khác, hoặc làm cả hai nhiệm vụ trên. Do đó chi tiết trục có thể chịu lực tác dụng của lực ngang, lực dọc trục, mô men uốn và mô men xoắn. Khi làm việc trục thường bị hỏng như: hỏng các lỗ ren, mòn hoặc biến dạng các rãnh then, trục bị xoắn, bị cong vênh, nứt vỡ thậm chí bị gãy..., tuy nhiên dạng hỏng thường gặp nhất là trục bị mòn quá kích thước giới hạn tại các cổ trục [2].

1.1.3. Các dạng hỏng cơ bản của trục

- Hỏng do mỏi: Do trục chịu lực tác dụng lớn, với chu kỳ nhất định và lâu dài sinh ra. Các cổ trục trong quá trình làm việc gây ra hiện tượng mỏi nên sinh ra các vết nứt, tróc rỗ bề mặt... ngoài ra còn do tải trọng thay đổi khi làm việc, dầu nhờn có cặn bẩn, bề mặt cổ trục không nhẵn phẳng cũng là những nguyên nhân gây nên hiện tượng mỏi của cổ trục, hiện tượng mỏi vật liệu tại các cổ trục nếu không phát hiện và có biện pháp xử lý kịp thời sẽ dẫn đến bị mòn và hỏng nhanh tại các cổ trục [2].

- Hỏng do mòn: Do bề mặt của cổ trục và ổ trượt có sự chuyển động tương đối làm cho các cổ trục bị mài mòn dẫn đến sự thay đổi về hình dáng, kích thước và chất lượng bề mặt. Sự mài mòn làm quan hệ các cặp lắp ghép và vị trí tương đối giữa chúng đều thay đổi, do đó mòn là một trong những nguyên nhân rất cơ bản của hỏng. Tốc độ mòn có ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian sử dụng của chi tiết. Mài mòn là do ma sát gây nên, do đó trong quá trình nghiên cứu cần hiểu rõ bản chất của ma sát và ảnh hưởng của nó đến hiện tượng mòn từ đó xác định giới hạn của mòn, đồng thời đưa ra công nghệ hồi phục hợp lý [22].

1.1.4. Tính chất hoạt động của các chi tiết máy được phục hồi

Yêu cầu chung đối với các chi tiết máy phục hồi phải phù hợp với các chỉ số chất lượng của các chi tiết mới. Thực tế việc sử dụng các chi tiết máy được phục hồi bằng những phương pháp khác nhau cho thấy chúng thường không đảm bảo chất lượng như:

- + Không đủ độ bền, gây ra hỏng hóc khi làm việc dưới tải trọng lớn;
- + Mài mòn, gây biến dạng hình dáng hình học của các chi tiết máy và độ chính xác về vị trí tương đối của chúng, khe hở lớn vượt quá giá trị cho phép và giảm độ bền;
- + Biến dạng kim loại làm phá hủy lớp bề mặt ngoài và xuất hiện các vết nứt, vỡ...;
- + Ảnh hưởng của cả mài mòn và biến dạng [114]. Từ thực tế sửa chữa cho thấy, phần lớn các chi tiết máy dạng “trục” sửa chữa đóng vai trò quan trọng và cũng rất tốn kém.

Ngoài những nguyên nhân gây hỏng hóc các chi tiết phục hồi đã kể trên, cần bổ sung thêm nguyên nhân do các chi tiết máy mất khả năng làm việc bởi thiếu độ bền giữa các mối hàn liên kết của lớp kim loại hàn đắp và kim loại cơ bản.

Nếu độ bền mối hàn giữa bề mặt đắp và kim loại cơ bản không được đảm bảo thì không thể giải quyết vấn đề gia tăng mài mòn và độ bền mỏi của các chi tiết phục hồi, nghĩa là việc đảm bảo độ bền của mối hàn là vấn đề quan trọng, ưu tiên hàng đầu.

Từ đó rút ra kết luận rằng khả năng hoạt động cũng như tuổi thọ của các chi tiết máy phục hồi dạng trục được xác định bởi 3 tiêu chí – độ bền liên kết giữa bề mặt đắp và bề mặt trục cơ bản, độ bền mòn và độ bền mỏi.

1.1.5. Các phương pháp phục hồi chi tiết máy dạng trục

Có nhiều phương pháp để phục hồi chi tiết, song mỗi phương pháp phục hồi có những đặc trưng riêng về hiệu quả cũng như chất lượng phục hồi. Chi tiết phục hồi phụ thuộc vào nhiều phương pháp công nghệ được sử dụng để gia công. Do đó lựa chọn đúng phương pháp phục hồi không những hoàn trả lại các tính chất ban đầu của chi tiết mà còn có thể cải thiện được một số tính chất khác của bản thân chi tiết. Việc sử dụng phương pháp phục hồi phụ thuộc vào đặc điểm kết cấu, đặc điểm công nghệ, điều kiện làm việc, đặc điểm vận hành, giá trị mòn của chi tiết phục hồi. Nó quyết định đến tuổi thọ và giá thành hồi phục chi tiết [5,6,8,22].

a) Phục hồi trục bị mòn bằng công nghệ hàn

Hàn là một công nghệ được ứng dụng rộng rãi để khôi phục các chi tiết máy bị mòn, hỏng. Phương pháp này có thể khôi phục lại hình dáng, kích thước của các chi tiết máy. Thực tế ở nhiều nước trên thế giới, chi tiết hỏng được khôi phục bằng phương pháp hàn chiếm một tỷ lệ rất lớn (khoảng 60% - 70%). Ở nước ta hiện nay, công nghệ hàn cũng được ứng dụng rộng rãi, sự phát triển mạnh của công nghệ vật liệu cho phép phục hồi các chi tiết quan trọng bị mòn, hỏng trong quá trình sử dụng với chất lượng tốt và đem lại hiệu quả kinh tế cao.

- Đặc điểm phục hồi chi tiết bằng hàn được ứng dụng rộng rãi bởi nó có thể khôi phục được nhiều loại mòn, hỏng (nứt, gãy, vỡ, mòn kích thước lớn). Thiết bị hàn đơn giản, có khả năng vận chuyển khá dễ dàng. Độ bền liên của lớp hàn đắp với nền tốt. Có khả năng không chế được độ bền và độ cứng lớp hàn. Lớp kim loại đắp lớn, tạo thuận lợi cho việc gia công cơ khí sau khi hàn.

- Hàn hồi phục các chi tiết trục bị mòn có thể sử dụng các phương pháp hàn hơi; hàn điện hồ quang; hàn tự động, bán tự động trong môi trường khí bảo vệ, dưới lớp thuốc; hàn dây lõi thuốc; hàn plasma; hàn tia laser; hàn nổ.... Yêu cầu cơ bản nhất của lớp hàn đắp là đảm bảo được khả năng liên kết bền vững giữa lớp hàn với lớp kim loại cơ bản, độ cứng, độ bền mòn và các yêu cầu cơ tính khác của bề mặt chi tiết phục hồi.

b) Phục hồi trục bị mòn bằng công nghệ phun phủ nhiệt

Phun phủ nhiệt là một trong những công nghệ phục hồi tiên tiến ở nước ta hiện nay. Phương pháp này được sử dụng mấy chục năm trở lại đây ở nhiều nước trên thế giới. Ở nước ta phun kim loại đã được thí điểm ứng dụng ở một số cơ sở sửa chữa và đã thu được một số kết quả bước đầu.

- Hiện nay có một số phương pháp phun phủ nhiệt thông dụng như phun kim loại dùng dòng điện, phun kim loại dùng hơi, phun kim loại dùng dòng điện cao tần, phun kim loại bằng nguồn nhiệt plasma, HVOF, HVOF....

- Đặc điểm phục hồi bề mặt trục bằng phun phủ nhiệt là trục được phủ một lớp kim loại có chiều dày lớn (có thể từ 0,2÷6mm [36]). Khi phun kim loại, các bề mặt trục không bị nung nóng quá, tránh được những thay đổi về tổ chức kim tương, biến dạng, có thể phun kim loại lên các bề mặt trục có vật liệu và đường kính bất kỳ. Do đó công nghệ phun kim loại có thể phục hồi các ổ trục bị mòn lớn, khắc phục các khuyết tật do chế tạo, phun phủ chống han gỉ, trang trí

- Nhược điểm phương pháp đòi hỏi kỹ thuật tiên tiến, thiết bị phức tạp, đắt tiền. Lượng kim loại khi phun phủ hao tổn lớn khoảng 30% tổng số kim loại dùng phun, với các chi tiết trục có kích thước nhỏ hao phí có thể tăng đến 78%. Kim loại đắp thường có nhiều lỗ rỗ và chứa một lượng lớn các oxit. Các phân tử bị va đập bởi vận tốc phun lớn gây khả năng biến cứng bề mặt, giảm tính gia công cơ khí sau phục hồi. Độ bền mòn của kim loại đắp khi làm việc trong điều kiện có bôi trơn rất tốt nhưng lại rất kém trong điều kiện ma sát khô. Thành phần hoá học của lớp phun phủ khác đáng kể so với thành phần hoá học của kim loại nền do bị thoát một lượng C, Si, Mn đáng kể, làm giảm cơ tính của lớp kim loại đắp, môi trường làm việc độc hại [2,36,82].

c) Phục hồi trục bị mòn bằng công nghệ mạ

- Đặc điểm phục hồi chi tiết bằng mạ được sử dụng rộng rãi để hồi phục các bề mặt trục có lượng mòn nhỏ. Trong quá trình mạ, bề mặt trục không bị đốt nóng nhiều, không làm thay đổi cấu trúc và tính chất của kim loại trục, lượng dư cho gia công rất nhỏ so với phương pháp hàn. Độ cứng của lớp mạ phụ thuộc vào chế độ và kim loại mạ. Trong hồi phục chi tiết người ta sử dụng phổ biến là mạ crôm, mạ thép, ngoài ra còn sử dụng mạ đồng, mạ niken và mạ kẽm. Chất lượng lớp mạ được đặc trưng bằng độ cứng, độ bền bám dính, độ bền mòn, ứng suất bên trong và độ bền mỏi. Độ bền mòn của lớp mạ phụ thuộc vào bản chất và cấu trúc của kim loại, đồng thời phụ thuộc độ hạt và phân bố đều đặn của cấu trúc cũng như định hướng của các hạt. Phương pháp này có một nhược điểm khá lớn đó là năng suất quá trình quá thấp, hạn chế kích thước chi tiết phục hồi, điều kiện và môi trường làm việc không được đảm bảo [2].

1.2. Tình hình nghiên cứu và sử dụng hàn phục hồi chi tiết trục trên thế giới và ở Việt Nam

1.2.1. Tình hình nghiên cứu và sử dụng hàn phục hồi chi tiết trục trên thế giới

Từ nhu cầu cấp thiết thực tế trong việc phục hồi các chi tiết máy bị hư hỏng, đã có rất nhiều nhà khoa học quan tâm, nghiên cứu để giải quyết vấn đề. Do đó nhiều nghiên cứu mới về lĩnh vực phục hồi được đưa ra trong những năm gần đây. Gang Yu và các cộng sự năm 2008 [71] đã công bố công trình nghiên cứu của nhóm về hàn đắp phục hồi trục chi tiết tubo K418 làm từ vật liệu 42CrMo bằng phương pháp hàn laser với kim loại đắp là hợp kim Ni cao. Lớp phủ kim loại mới hàn được khảo sát cấu trúc tế vi thông qua kính hiển vi điện tử, nhiễu xạ tia X, phổ quang học. Còn tính chất cơ học của lớp hàn thông qua kiểm tra độ cứng tế vi và độ bền kéo. Kết quả kiểm tra chỉ ra rằng lớp hàn đắp có cấu trúc dung dịch rắn là không cân bằng bao gồm dung dịch rắn austenite $FeCr_{0,29}Ni_{0,16}C_{0,06}$ dạng nhánh là chủ yếu và một lượng nhỏ Ni_3Al phân tán trong các pha γ , một lượng nhỏ các hạt các bit dạng thanh phân bố trong các hạt kim loại. Độ cứng trung bình của lớp hàn đắp lại tương đối đồng đều và thấp hơn so với kim loại cơ bản là do sự hòa tan không hoàn toàn và sự khử của pha γ với một mức độ nhất định. Độ bền kéo đạt khoảng 85% so với kim loại cơ bản. Trong khi đó, năm 2011 J. Hermsdorf và các cộng sự [76] của trung tâm laser, thành phố Hannover - Đức đưa ra một công nghệ phục hồi chi tiết trục rất mới, đó là sử dụng hàn đắp GMA có sự hỗ trợ ổn định hồ quang bằng laser (LGS-GMA). Trong kỹ thuật này, laser có tác dụng đóng góp năng lượng để ổn định hồ quang và cũng làm nóng bề mặt của chi tiết. Công nghệ này mới chỉ được áp dụng ở một số vật liệu: Ví dụ như hàn đắp một lớp kim loại hợp kim X45CrSi9-3 (1.4718) trên nền thép cacbon thấp. Các thí nghiệm chỉ ra rằng với kỹ thuật này đạt hiệu suất đắp khá cao khoảng 7,5kg/h, đồng thời có độ xâm nhập hòa tan của kim loại trục cơ bản vào lớp kim loại phủ đạt ở mức thấp chỉ khoảng 3%. Do vậy lớp kim loại phủ đạt độ tinh khiết cao nên độ cứng trung bình đạt được cũng cao khoảng 63 HRC. Cũng trong năm này, đặc điểm hàn đắp Plasma bột trong từ trường được điều khiển biến thiên đã được nghiên cứu bởi Rafikov I.A và các cộng sự [131]. Nhóm tác giả đề cập khi phục hồi và làm cứng bề mặt cần phải áp dụng các phương pháp đảm bảo sự tham gia tối thiểu của kim loại cơ bản. Do một số phương pháp hàn truyền thống để phục hồi bề mặt chi tiết đều dựa trên sự nóng chảy của kim loại cơ bản và kim loại phụ (SAW, GMAW...) không thể đảm bảo sự tham gia tối thiểu của kim loại cơ bản và vùng ảnh hưởng nhiệt nhỏ. Nên nhóm tác giả giới thiệu

một phương pháp, thiết bị hàn plasma bột trong từ trường được điều khiển biến thiên. Từ trường được tạo ra để điều chỉnh hồ quang plasma, làm giảm chiều cao mối hàn và làm tăng độ rộng của mối hàn (trung bình 50%). Đồng thời từ trường này có khả năng ngăn chặn sự mất mát của kim loại bột trong quá trình hàn. Công nghệ này được áp dụng hàn phục hồi chi tiết trục khuỷu cho thấy lớp hàn phủ giảm rất nhiều khuyết tật rỗ khí so với quá trình không có từ trường. Lớp bề mặt hàn đồng đều hơn vì vậy giảm được kim loại dư thừa và thời gian gia công. Năm 2016, Siva Sitthipong [102] đã công bố nghiên cứu của mình tại Materials Science Forum (Diễn đàn khoa học vật liệu) - Thụy Sĩ với tên gọi “Tăng tuổi thọ của trục truyền động bằng hàn đắp”. Tác giả đã phân tích những nguy cơ dẫn đến phá hủy của trục truyền động dùng trong tàu đánh bắt thủy sản. Ông chỉ ra nguy cơ phá hủy mối do xuất hiện các vết nứt là cao nhất. Trong nghiên cứu của mình tác giả đã tìm hiểu ứng xử mỏi của vật liệu chế tạo trục cánh quạt (chân vịt) trong các loại tàu cá ngư dân. Ông giới thiệu hai phương pháp phục hồi mòn trục đó là SMAW và FCAW cho trục cánh quạt làm từ các vật liệu thép không gỉ. Kết quả cho thấy phương pháp hàn SMAW không thỏa mãn được yêu cầu, trong khi đó hàn phục hồi bằng FCAW thì đảm bảo được yêu cầu và có thể kéo dài tuổi thọ của trục gấp 1,6 lần về độ bền mỏi so với hàn bằng các phương pháp hàn hồ quang truyền thống (SMAW).

Lĩnh vực hàn phục hồi chi tiết máy dạng trục bằng công nghệ hàn điện tiếp xúc được phát triển mạnh đặc biệt ở Liên bang Nga từ rất sớm vào cuối những năm 70 trở lại đây, điển hình như một số công trình của các tác giả. Năm 2003 V.A. Dubrovskii cùng các cộng sự [105] nghiên cứu hàn đắp chi tiết trục làm từ vật liệu 40Cr, đường kính 50mm bằng hàn điện tiếp xúc. Nhóm tác giả sử dụng hai loại dây hàn phụ có thành phần khác nhau là 08Cr18Ni9Ti và 40Cr13. Kết quả cho thấy vật liệu 08Cr18Ni9Ti có đặc tính chịu mài mòn tương đối thấp, còn vật liệu mactenxit Cr cao 40Cr13 có khả năng chịu mài mòn tốt hơn. Tuy nhiên vật liệu dây phụ 40Cr13 khó chôn lún hơn trong quá trình hàn. Do khả năng biến dạng thấp nên điện trở tiếp xúc giảm xuống chậm, mật độ dòng điện tập trung cao trên tiết diện nhỏ nên quá trình hàn xảy ra hiện tượng bắn tóe nhiều, bề mặt lớp phủ hình thành các vảy sòm và các lỗ rỗ. Để có khả năng hàn tốt vật liệu phụ này nhóm tác giả khuyến nghị nên hàn với dòng điện và lực ép điện cực lớn hơn, còn tốc độ quay của trục nhỏ hơn so với hàn dây phụ thép cacbon. Họ đã thử nghiệm hàn với các chế độ: 1,2) $I_h = 8,9\text{kA}$, $V_h = 3$ vòng/ phút, $F = 1,5\text{kN}$ kết quả mối hàn không có hiện tượng tách lớp nhưng bề mặt có các lỗ rỗ; 3) $I_h = 7\text{kA}$, $V_h = 3$ vòng/ phút, $F = 1,5\text{kN}$ mối hàn có hiện tượng tách lớp và một lỗ rỗ;

4) $I_h = 6\text{kA}$, $V_h = 3$ vòng/ phút, $F = 1,5\text{kN}$ mỗi hàn có hiện tượng tách lớp và không có lỗ rỗ; 5) $I_h = 7\text{kA}$, $V_h = 2$ vòng/ phút, $F = 1,5\text{kN}$ mỗi hàn không có hiện tượng tách lớp và có một lỗ rỗ; 6) $I_h = 8\text{kA}$, $V_h = 2$ vòng/ phút, $F = 2\text{kN}$ mỗi hàn không có hiện tượng tách lớp và không có lỗ rỗ. Mẫu hàn ở chế độ tối ưu (6) đạt độ cứng bề mặt trung bình 48-52 HRC, các mẫu này được kiểm tra khuyết tật bột từ không cho thấy bất kỳ vết nứt hoặc các khiếm khuyết nào khác. Nghiên cứu này được ứng dụng trong quá trình hàn điện tiếp xúc bề mặt cho trục xe máy VPR và VPRS. Nghiên cứu tương tự của tác giả M.Z. Nafikov năm 2013 [91] trên vật liệu trục thép C45, đường kính 50mm với vật liệu phụ là dây thép C65 và 30CrMnSi cho thấy độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền của vật liệu phụ 30CrMnSi thấp hơn khá nhiều so với vật liệu phụ C65, tuy nhiên độ cứng và độ bền mòn lại cao hơn. Nghiên cứu được áp dụng phục hồi các chi tiết máy của ô tô và máy nông nghiệp.

R.N. Saifullin cùng các cộng sự năm 2009 [99] nghiên cứu phục hồi và tăng độ bền mòn của chi tiết trục có đường kính từ 20÷70mm bằng phương pháp hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ dây thép SV-08 đường kính 1,8mm (ГОСТ 2246-70) và dây lõi bột PZK 3.200.28 (ГОСТ 9849-86) có thành phần khác nhau được xếp xen kẽ theo đường xoắn ốc, nhằm tạo ra lớp phủ dạng compozit có độ bền mòn cao. Trong khi đó, thời gian này M.Z. Nafikov [85] đưa ra phương pháp xác định khả năng biến dạng dẻo của dây hàn phụ trong phục hồi bề mặt bằng hàn điện tiếp xúc. Tác giả chỉ ra rằng độ bền liên kết của lớp đắp với kim loại trục cơ bản phụ thuộc rất lớn vào tốc độ gia nhiệt và sự biến dạng của dây hàn. Do đó khi hàn cần phải kiểm soát được nhiệt độ và độ biến dạng dẻo của dây hàn phụ trong các điều kiện quy trình cụ thể. Năm 2012 ông cùng các cộng sự [92] đã đưa ra mô hình hàn trục và nghiên cứu tối ưu một số thông số công nghệ hàn phục hồi trục có đường kính 50mm làm từ vật liệu C45, bằng hàn điện tiếp xúc với kim loại phụ là dây thép PK2, có đường kính 1,8mm. Kết quả đã tìm ra các thông số tối ưu của quá trình hàn là dòng điện hàn $I_h = 7,0\div 7,2\text{kA}$; lực ép $F = 1,2\div 1,3\text{kN}$; thời gian xung điện $t_i = 0,04\text{s}$; tốc độ quay chi tiết $V_h = 0,017\div 0,02\text{m/s}$; bước tiến $S_t = 3\text{mm/vòng}$; Lưu lượng nước làm mát $Q_n = 1$ lít/ phút. Khi hàn với bộ thông số này thì đạt được độ bền của lớp kim loại hàn gần bằng với độ bền của kim loại cơ bản. Độ cứng, tổ chức đồng đều trên chiều dài đoạn hàn. Độ bền mòn của chi tiết lớn hơn khoảng 1,3÷1,4 lần so với độ bền mòn của thép C45 gia công tôi cứng bề mặt. Một năm sau, ông tiếp tục nghiên cứu tổ chức lớp phủ kim loại được tạo ra bằng phương pháp hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ dây thép PK2 đường kính 1,8mm trên vật liệu trục thép C45 [87]. Ông thực hiện hai phương thức là cung cấp 1 dây thép hàn

phụ và hai dây thép hàn phụ cùng lúc, hai dây thép này nằm liền kề nhau trên cùng một bề mặt của con lăn điện cực. Kết quả cho thấy khi hàn đồng thời hai dây hàn phụ theo đường xoắn ốc tạo ra lớp hàn phủ có cấu trúc đồng đều và tăng năng suất hơn. Đồng thời, ông cùng các cộng sự [93] cũng tiến hành nghiên cứu phục hồi chi tiết trục thép có đường kính 50mm từ vật liệu C45 bằng hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ lưới thép trong năm 2013. Họ đã tính toán lý thuyết tối ưu các thông số công nghệ dựa trên phương pháp nhiệt, điện học và so sánh với hàn thực nghiệm cho thấy các kết quả từ tính toán lý thuyết với thực nghiệm có giá trị tương đồng. Một công trình nghiên cứu tương tự khác của ông năm 2015 đã mô tả quá trình hình thành liên kết hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ hai dây thép đồng thời. Công trình chỉ ra rằng, phục hồi trục bị mài mòn bằng phương pháp hàn này là một phương pháp hiệu quả và đạt năng suất cao. Sự mô tả chính thức của sự hình thành liên kết hàn trong pha rắn được trình bày. Một mô hình toán học được tác giả đưa ra có thể được sử dụng và phát triển của quá trình công nghệ phục hồi trục bị mòn. Kết quả của công trình chỉ ra mối quan hệ của biến dạng dọc trục dây hàn với chiều rộng của hai đường hàn có thể đo được sau khi hàn với chế độ đã nghiên cứu. Các thông số chế độ khác của hàn điện tiếp xúc sử dụng vật liệu phụ dây thép cũng có thể được xác định bằng ứng dụng mô hình của sự hình thành liên kết hàn mà tác giả đã trình bày [88]. Năm 2016 cũng hướng nghiên cứu hàn phục hồi chi tiết trục bằng hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ cùng lúc hai dây thép ông đã đề xuất để sửa chữa các trục bị mòn với chế độ hàn hợp lý [89]. Cấu trúc của lớp kim loại phủ và độ bền mòn của điện cực lăn được tính toán. Kết quả các thí nghiệm cho thấy cấu trúc lớp phủ được tạo ra bằng phương pháp đề xuất đồng đều hơn so với phương pháp hàn phục hồi bằng hàn điện tiếp xúc dây thép truyền thống. Kết quả cũng chỉ ra rằng khi hàn đồng thời hai dây thép bằng một con lăn điện thì độ bền mòn của bề mặt điện cực con lăn cũng cao hơn 20÷25% so với hàn sử dụng một dây.

Nghiên cứu đặc điểm công nghệ phục hồi trục khuỷu máy nén bằng phương pháp hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ dải thép làm từ vật liệu hợp kim 65Γ và vật liệu thép cacbon cao Y9 trên nền trục khuỷu làm từ vật liệu thép cacbon trung bình C45 được nghiên cứu bởi M.N. Farshatov [83]. Tác giả so sánh về độ bền kết dính và độ bền mòn của lớp phủ thu được trong quá trình hàn điện tiếp xúc dải thép. Tác giả báo cáo vật liệu trục khuỷu C45 tôi cải thiện có thể đạt độ cứng 49÷52HRC tuy nhiên độ bền mòn tương đối thấp. Còn khi hàn phục hồi bằng hàn điện tiếp xúc với dải thép 65Γ tăng 33%, dải thép Y9 tăng 70%.

Hàn phục hồi các chi tiết trục có đường kính nhỏ bằng phương pháp hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ là bột kim loại đã được R.N. Saifullin cùng các cộng sự nghiên cứu [98] năm 2013. Nhóm tác giả giới thiệu công nghệ là sử dụng một nam châm vĩnh cửu đặt cố định trên điện cực lặn để thu hút bột vào vùng hàn che phủ kín bề mặt trục. Đồng thời làm giảm thất thoát bột khi sử dụng dòng nước làm mát trực tiếp vào vùng hàn làm nguội thiết bị cũng như tăng độ cứng, độ bền mòn cho bề mặt đắp khi hàn. Hàn phục hồi chi tiết trục bằng hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ lưới thép nhiều lớp có thể kể đến công trình của tác giả A.Yu. Konnov năm 2016, cho chi tiết trục làm từ vật liệu thép cacbon và thép hợp kim thấp có đường kính 50mm với điện cực con lăn có đường kính 400mm và độ rộng 3,5mm. Kết quả cho thấy lớp phủ kim loại không có khuyết tật như nứt, rỗ khí, không thấu.... Đồng thời có thể phục hồi chi tiết trục có độ mòn lớn tới 1,5mm [54].

Năm 2015 I.R. Shakirov [73] đã chỉ ra rằng hàn điện tiếp xúc vật liệu phụ dây thép là phương pháp hiệu quả để phục hồi bề mặt chi tiết trục với độ mòn $0,6 \div 0,8$ mm mỗi phía. Trong đó hàn cùng lúc hai dây phụ làm tăng tính công nghiệp hóa và hiệu quả của quá trình phục hồi, với việc tăng cường lực ép từ điện cực con lăn để tăng diện tích tiếp xúc quá trình hàn, đồng thời làm tăng độ đồng đều của độ cứng lớp phủ. Nghiên cứu tương tự của ông còn được trình bày ở công trình [74]. Quá trình nghiên cứu hàn phục hồi chi tiết dạng trục sử dụng hai dây thép hàn phụ cùng lúc nhưng tiếp xúc trên hai bề mặt con lăn khác nhau, với hai hướng vào dây ngược nhau nhằm tăng năng suất và độ đồng đều của lớp phủ còn được trình bày bởi tác giả D.M. Nurtdinov ở các công trình [61,62]. Bên cạnh đó, năm 2015 phục hồi chi tiết máy và thiết bị công nghiệp thực phẩm cũng được A.Yu. Konnov [55] nghiên cứu và nhận định hầu hết các thiết bị trục trong lĩnh vực hồng là do mài mòn với mức độ $0,3 \div 0,6$ mm về mỗi bên. Phương pháp phổ biến để phục hồi chi tiết dạng trụ là sử dụng hàn điện tiếp xúc với việc ứng dụng hợp lý của hai quá trình của vật liệu phụ là dây thép và bột kim loại. Đối tượng của nghiên cứu là trục piston trong máy móc thực phẩm làm từ vật liệu thép không gỉ và chịu nhiệt. Tác giả khuyến cáo về các loại vật liệu thép sử dụng trong hàn điện tiếp xúc phục hồi cần trùng khớp hoặc có sự khác biệt nhỏ so với vật liệu cơ bản cần phục hồi.

Chi tiết trục có hình dạng phức tạp sẽ làm cản trở và ảnh hưởng lớn đến công nghệ hàn phục hồi, vì vậy để phục hồi các chi tiết có hình dạng trục có hình dạng phức tạp

cần có các biện pháp phù hợp vấn đề này được thể hiện qua công trình của L.I. Khalilova và các cộng sự năm 2016 [80], họ đã nghiên cứu hàn đắp phục hồi chi tiết trục côn. Nhóm tác giả chỉ ra rằng các chi tiết trục hình côn rất khó có thể phục hồi do hình dạng, do ảnh hưởng của tác dụng nhiệt vì kích thước trục thường nhỏ, thông thường thì dùng các phương pháp phủ mạ. Phương pháp này có thể hình thành lớp phủ chịu mài mòn tốt, lớp phủ đồng đều, lượng dư gia công nhỏ, mức tác động nhiệt thấp. Tuy nhiên bất lợi của phương pháp này là sự phức tạp của công nghệ và thiết bị, môi trường độc hại nên ít sử dụng. Một phương pháp phục hồi được đề xuất khác phục được các nhược điểm trên đó là hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ dạng băng, dây hoặc bột. Trong đó hàn với vật liệu bột là lựa chọn tối ưu nhất để phục hồi các bề mặt hình côn. Nhưng nước để làm mát khu vực hàn có thể làm trôi kim loại bột, nếu không làm mát thì có thể dẫn đến quá nhiệt và gây biến dạng trục. Sử dụng dây kim loại sẽ loại bỏ được hiện tượng này, nhưng rất khó tạo ra được lớp phủ liên tục và đồng đều khi vòng xoắn ốc liên tục thay đổi do độ côn của trục. Do đó băng thép được ưu tiên lựa chọn, đồng thời một phương pháp đơn giản khi gia công băng được đề xuất là mẫu quét trên trục côn bằng cách cắt ra một vật liệu linh hoạt, ví dụ như một tấm bìa cứng làm dưỡng.

Một nghiên cứu rất mới và hiệu quả trong lĩnh vực này đã được M.Z. Nafikov công bố đầu năm 2018 [90]. Nghiên cứu sự kết tinh của kim loại màu, hợp kim và các vật liệu có tính hàn kém trên nền thép cacbon trong quá trình hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục với vật liệu phụ dây thép. Vật liệu dây hàn phụ ở dạng một bó dây, vật liệu vỏ ống là vật liệu kim loại màu, bên trong là các dây thép cacbon thấp được chèn vào để tạo khả năng kết dính tốt. Để tăng độ bền mòn của lớp kim loại phủ một số dây được đưa vào trong bó được làm từ thép hợp kim hoặc thép dụng cụ. Và hệ số dẫn nhiệt của kim loại lớp phủ sẽ tăng lên nếu trong bó dây có các sợi dây làm từ vật liệu của đồng. Tác giả chỉ ra một ưu điểm lớn của phương pháp này là nhiệt phân bố đồng đều hơn trong vùng hàn so với khi hàn sử dụng một dây hàn đơn vì khi hàn sử dụng một dây đơn trong hàn điện tiếp xúc giá trị nhiệt lớn nhất định được sinh ra tại điểm tiếp xúc giữa dây hàn và bề mặt trục, điều này làm tăng chiều dày của vùng ảnh hưởng nhiệt. Còn khi sử dụng một bó dây thì nhiệt sinh ra dọc đường tiếp xúc của các dây thành phần.

1.2.2. Tình hình nghiên cứu và sử dụng hàn phục hồi chi tiết trục ở Việt Nam

Công nghiệp nước ta còn thấp nên đại đa số các máy móc công nghiệp được nhập khẩu từ nhiều nước với nhiều chủng loại khác nhau. Sau nhiều năm sử dụng các chi tiết máy đã bị hư hỏng như bị mài mòn, nứt, gãy..., do đó các máy móc này hoạt động kém năng suất thậm chí không còn khả năng làm việc. Việc nhập khẩu thay thế mới là rất tốn kém và mất nhiều thời gian. Với thực trạng như vậy thì vấn đề phục hồi các chi tiết cũng đã được đầu tư và quan tâm khá sớm, song song với vấn đề này thì các đề tài KHCN, công trình được nghiên cứu và ứng dụng đã đem lại hiệu quả kinh tế cao.

Đề tài nghiên cứu phục hồi trục cam ô tô bị hỏng do mài mòn bằng phương pháp hàn hồ quang tay với que hàn là UPT Ledurit 61 - Tiêu chuẩn E 10-UM-60-GZ của tác giả Vương Văn Quế [25]. Đã chỉ ra yếu tố ảnh hưởng của độ cứng lớp đắp phụ thuộc vào hệ số ψ_d , cũng như tìm được các giá trị phù hợp của thông số công nghệ để tạo ra lớp đắp phục hồi cho trục cam đảm bảo các điều kiện làm việc trong thực tế. Cũng với nghiên cứu hàn đắp phục hồi trục cam của tác giả Bùi Huy Tường [38] bằng phương pháp hàn đắp hồ quang tay, quá trình hàn sử dụng hai loại vật liệu que hàn lót là que E308 (thép austenite) và que hàn Ni-Fe (Nickencast 55) còn lớp phủ ngoài là vật liệu que hàn UPT 61 trên nền trục thép 40Cr. Đề tài đã chỉ ra rằng độ cứng lớp hàn đắp phụ thuộc vào phần tham gia của kim loại lớp lót trung gian vào lớp đắp, sự thay đổi độ cứng không quá lớn và vẫn đảm bảo yêu cầu, tuy nhiên tính chống nứt khi dùng que hàn lót Ni-Fe tốt hơn so với que hàn E308. Hàn phục hồi sử dụng phương pháp hàn hồ quang còn kể đến công trình của TS. Tống Ngọc Tuấn cùng các cộng sự [34] đã trình bày về vấn đề phục hồi trục máy xẻ đá làm từ vật liệu 40Cr với vật liệu que hàn đắp là E10-UM-60-GRS Ø3,2mm. Tác giả đã khảo sát và xác định lượng mòn trên 20 mẫu trục máy xẻ đá, từ đó xây dựng quy trình công nghệ phục hồi và thiết lập các thông số chế độ hàn. Tiến hành hàn phục hồi trên năm mẫu trục kết quả độ cứng bề mặt đạt yêu cầu của mẫu trục mới tuy nhiên độ cứng chưa được đồng đều do quá trình hàn và gia công cơ khí. Năm mẫu trục này được đưa vào chạy thử nghiệm trên máy xẻ đá một trụ tại Công ty cơ khí Phương Thắng (Yên Lâm - Yên Định - Thanh Hóa) với thời gian làm việc 240h và có kết luận: Máy làm việc êm, năng suất ổn định, bề mặt của trục phục hồi cũng như các vị trí khác trên trục vẫn giữ được hình dáng và chất lượng bình thường, không xuất hiện một dấu hiệu nào về hiện tượng mòn hay cong vênh.

Những năm gần đây sự phát triển rất mạnh của các công nghệ hàn mới đã đem lại những tiện ích và hiệu quả đáng kể trong đó có công nghệ hàn phục hồi các chi tiết trục bằng phương pháp MIG/MAG [1,28,29] như đề tài: Nghiên cứu lựa chọn công nghệ hàn đắp và công nghệ làm bền bề mặt để phục hồi các cổ trục của tác giả Phạm Giang Nam năm 2005 [21] quá trình nghiên cứu hàn phục hồi chi tiết trục Ø62mm làm từ vật liệu thép C45 với dây hàn SG2 theo tiêu chuẩn DIN 8557 đường kính Ø1,2mm. Đề tài nghiên cứu và đánh giá sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ cơ bản tới chất lượng lớp đắp, quy hoạch thực nghiệm, kiểm tra đánh giá kết quả thực nghiệm cho thấy: Khi cường độ dòng điện hàn 140A, điện áp hàn 19V, tốc độ hàn 2(m/ph), lưu lượng khí bảo vệ 11(l/ph) và khí bảo vệ CO₂ hoặc hỗn hợp 80%Ar + 20%CO₂ thì mối hàn hình thành không bị khuyết tật, độ xốp lớp đắp nhỏ, độ bền kéo cao. Tuy nhiên độ cứng lớp hàn đắp chưa đạt được yêu cầu làm việc của các cổ trục cần tiến hành nhiệt luyện để tăng bền và tăng cơ tính tại bề mặt cổ trục.

Nghiên cứu công nghệ hàn phục hồi chi tiết trục bị mòn qua quá trình sử dụng ở các thiết bị công nghiệp bằng phương pháp hàn MIG/MAG của tác giả Đào Xuân Toàn năm 2016 [31] trên trục thép C45 đường kính Ø40, vật liệu dây hàn GM70S Ø1.0mm, khí bảo vệ CO₂. Tác giả đã xây dựng mô hình quy hoạch thực nghiệm theo thiết kế tâm xoay mặt, lập được chương trình quy hoạch thực nghiệm trên phần mềm Minitab để giải bài toán tối ưu hóa, tìm được cực trị tối ưu các thông số hàm mục tiêu đã đề ra, đồng thời tìm được bộ thông số chế độ hàn (I,U) tối ưu với độ cứng và độ sâu ngấu mối hàn sau khi phục hồi là lớn nhất, nghiên cứu đã phản ánh được bản chất lý - hóa xảy ra trong quá trình hàn, mối quan hệ ảnh hưởng giữa chúng đến chất lượng mối hàn. Kết quả nghiên cứu được khảo sát thực tế bằng việc thực hiện hàn đắp phục hồi trên trục ép mía nhà máy mía đường Sơn Dương – Tuyên Quang đã bị mài mòn 8÷9mm, được tiến hành hàn hai lớp, lớp lót hàn đắp theo đường sinh, lớp phủ hàn theo chu vi. Quá trình hàn có sử dụng nhiệt hỗ trợ. Trục cán sau phục hồi kiểm tra thấy khuyết tật ít và trong phạm vi cho phép, độ cứng lớp hàn đắp đạt yêu cầu, thành phần hóa học của kim loại lớp đắp tương đương với kim loại cơ bản, chi phí cho phục hồi chỉ bằng 25-30% giá trị của chi tiết nhập mới.

Bên cạnh phương pháp hàn phục hồi chi tiết bằng phương pháp hàn điện cực nóng chảy trong môi trường khí bảo vệ không thể không nhắc đến những ứng dụng mạnh mẽ của phương pháp hàn đắp phục hồi bằng dây hàn lõi thuốc trong môi trường khí

bảo vệ (FCAW) [1,28,29]. Bởi phương pháp này công nghệ đơn giản và có thể tạo ra lớp hàn đắp có độ cứng và độ bền mòn tương đối cao do quá trình hàn dễ thực hiện hợp kim hóa môi hàn, nên đã có khá nhiều nghiên cứu và ứng dụng trong thực tế như: Nghiên cứu công nghệ phục hồi bề mặt chi tiết Galê của xích máy ủi của tác giả Trần Quyết Thắng năm 2011 [27] sử dụng phương pháp FCAW trên nền trục thép 40Cr Ø100 bằng dây lõi bột UTP AF DUR 350 để hàn lớp phủ cứng bề mặt. Chi tiết sau hàn đạt giá trị độ cứng lớp hàn đắp lớn nhất là 56HRC. Kết quả kiểm tra độ bền liên kết môi hàn với nền cho thấy kim loại môi hàn đắp không bị tách ra khỏi kim loại cơ bản khi giá trị lực kéo lên tới 8250Kg trên mẫu thử dạng kéo chốt Ø10 và có nhận định về độ bền của lớp kim loại đắp với kim loại cơ bản là hoàn toàn đảm bảo cho chi tiết làm việc với tải trọng lớn. Năm 2013 tác giả Nguyễn Văn Lập [17] cũng đã nghiên cứu công nghệ hàn phục hồi trục cán kích thước lớn bằng phương pháp hàn tự động dây lõi thuốc (FCAW). Đề tài đã đánh giá được sự mài mòn, nứt rỗ bề mặt của trục cán nhà máy mía đường Cao Bằng, La Ngà từ đó chọn được vật liệu, phương pháp, khoảng nhiệt độ gia nhiệt trước và sau khi hàn cho trục cán cần phục hồi. Quá trình hàn đắp được thực hiện hai lớp hàn: lớp đệm lót hàn bằng phương pháp GMAW với vật liệu dây hàn SM80G (Hyundai) để tạo liên kết trung gian. Mục tiêu lựa chọn lớp đắp có thành phần gần giống với thành phần kim loại của trục nên tác giả lựa chọn lớp đắp bên ngoài hàn bằng phương pháp FCAW với dây hàn SK402-O (UPT) để đảm bảo độ cứng mặt ngoài chi tiết. Trục cán hàn xong kiểm tra không thấy có khuyết tật bất thường, độ cứng trung bình đạt $(180\div 190)$ HB trong khi độ cứng của trục ban đầu là $(168\div 170)$ HB. Về kinh tế thì giảm được 3 lần so với sản xuất mới mà vẫn đáp ứng được tiến độ sản xuất.

Ngoài công nghệ phục hồi bằng hàn nóng chảy thì phương pháp phục hồi bằng phun phủ nhiệt cũng được ứng dụng rất rộng rãi. Từ những năm 1970 trở lại đây thì công nghệ này ngày càng được phát triển mạnh mẽ và đem lại những ứng dụng thực tế cho đất nước. Trong đó có cả quá trình phun phủ để phục hồi và tăng cường khả năng làm việc chịu mài mòn của các chi tiết dạng trục. Từ những ưu thế đó mà các nhà khoa học, các đơn vị nghiên cứu, sản xuất không ngừng nghiên cứu, thay đổi để ngày càng tạo ra những sản phẩm cơ khí có khả năng làm việc hoàn thiện hơn như: Đề tài, mã số KHCN 05 - 07 - 03, nghiên cứu xác định độ cứng, độ bám dính, độ bền uốn lớp phủ bột hợp kim Ni-Cr-B-Si trên nền thép CT38, kết quả nghiên cứu ứng dụng vào phục

hồi trục pit tông thủy lực, để pit tông bơm tại công ty kỹ nghệ hàn Việt Nam đảm bảo yêu cầu đề ra [35]. Đề tài, mã số: 01C-01/04-2009-2, nghiên cứu ảnh hưởng của khoảng cách phun, vận tốc phun, lưu lượng phun đến độ xốp, độ bám dính lớp phủ bột hợp kim Cr20Ni3 trên nền trục thép 40Cr bằng phương pháp phun nổ, ứng dụng kết quả nghiên cứu vào phục hồi trục khuỷu xe tải CAT 773E tập đoàn than - khoáng sản Việt Nam, tuổi thọ tục tăng gấp 4 lần, giá thành chỉ bằng 30% so với mua mới [4]. Đề tài, mã số 256-08 RD/HĐ-KHCN, nghiên cứu độ cứng, độ bền mòn lớp phủ bột cacbit crom 75Cr3C2 25NiCr bằng phương pháp phun Plasma với tốc độ quay của lô sấy khoảng 39,93 m/phút, tốc độ dịch chuyển đầu phun 2,5 mm/vòng, kết quả so sánh các tính chất của lớp phủ bằng vật liệu cacbit crom với lớp mạ crom cứng cho thấy độ cứng tế vi bề mặt lớp phủ, khả năng gia công sau khi phủ, cũng như độ bền mòn của lớp phủ tốt hơn nhiều so với lớp mạ crom cứng, đồng thời có độ bền mòn gấp 2,5 lần so với lớp mạ crom cứng [40].

Trong những năm gần đây, Công ty TNHH dịch vụ kỹ thuật Quang Khánh - Vũng Tàu đã sử dụng phương pháp HVOF phục hồi thành công nhiều chi tiết máy có giá trị kinh tế cao như thân tuabin, turbine thủy lực 10-HT-3001A, cánh bơm, trục bơm 8002A, nhà máy đạm Phú Mỹ; Trục phân phối bia Dung Quất; Trục khuỷu tàu HQ-957-X51-Bộ Quốc Phòng; Trục bơm ép via Đại Hùng....

Một số công trình nghiên cứu gần đây như: công trình của tác giả Phạm Văn Liệu năm 2016 [18] đã nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ khi phun bột hợp kim 67Ni18Cr5Si4B trên nền trục thép C45 đến chất lượng lớp phủ bằng phương pháp HVOF. Cho thấy lớp phủ có độ bền mòn tốt xong độ bền bám dính của lớp phủ với nền còn thấp.

Một phương pháp mới cho phép phục hồi các chi tiết máy cần chiều dày phục hồi lớn nhưng lại không làm thay đổi cấu trúc tế vi của kim loại nền, ít gây biến dạng chi tiết, bề mặt chi tiết được phủ các lớp oxit, đặc biệt bề mặt có thể được phủ các lớp vật liệu phi kim loại - đây chính là những điều mà các công nghệ khác khó có thể thực hiện được, đó là phương pháp hàn Plasma bột. Do plasma có nhiệt độ rất cao, có thể dễ dàng hóa lỏng được tất cả các loại vật liệu kim loại mà kỹ thuật khác khó có thể tạo ra từ trước đến nay. Cho nên hàn đắp plasma đang ngày càng được ứng dụng rộng rãi để chế tạo, phục hồi các chi tiết máy phục vụ trong nhiều ngành như: luyện kim màu, luyện kim đen, chế tạo máy, hàng không, kỹ thuật điện - điện tử, xây dựng, công

nghiệp hóa dầu, thực phẩm, dệt,... Trong những năm gần đây đã có khá nhiều các đề tài, công trình nghiên cứu và sử dụng công nghệ này trong việc phục hồi các chi tiết máy như: Công trình nghiên cứu của TS. Hoàng Văn Châu 2013 và các cộng sự [3] về trao đổi các yếu tố ảnh hưởng của chế độ công nghệ hàn của chất lượng lớp đắp khi hàn tự động plasma với bột hợp kim để phục hồi bề mặt làm việc của xupap máy thủy tải trọng lớn. Công trình đã trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính của chế độ hàn đắp tự động với bột hợp kim bằng hồ quang dịch chuyển plasma (PTA Plasma Transferred Arc). Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các thông số cơ bản như: dòng hàn, điện áp hàn, lưu lượng khí bảo vệ, khí vận chuyển bột..., đã cho phép lựa chọn được chế độ công nghệ hợp lý, đảm bảo chất lượng tốt và điều kiện làm việc ổn định của xupap sau khi phục hồi trên các động cơ tàu thủy.

Nghiên cứu về lĩnh vực này còn có công trình của PGS.TS. Bùi Văn Hạnh năm 2015 cùng các cộng sự [10] nghiên cứu quá trình phục hồi xupap máy thủy bằng công nghệ hàn plasma bột hợp kim coban, với xupap được làm từ vật liệu có hàm lượng C trung bình, Cr cao, và cả nguyên tố Molipden, với vật liệu phủ loại Bishilite No.32 của hãng Mitsubishi - Nhật Bản có giá thành phù hợp mà vẫn đảm bảo được cơ tính của lớp kim loại đắp theo yêu cầu. Công trình nghiên cứu đã chỉ ra khoảng nhiệt độ nung nóng sơ bộ khoảng $250\div 300^{\circ}\text{C}$ và duy trì trong khoảng nhiệt độ 250°C , xây dựng được quy trình công nghệ hàn đắp phục hồi xupap máy thủy có tính ứng dụng cao. Chi tiết sau phục hồi đạt cứng lớp hàn đắp từ $60\div 62\text{HRC}$, tổ chức tế vi lớp kim loại đắp cho thấy các pha các bít CrC, WC phân bố đều trên nền coban và có sự chuyển tiếp đồng đều giữa vùng kim loại cơ bản và vùng kim loại mối hàn, đồng thời không thấy xảy ra các khuyết tật hàn như nứt, rỗ.

Hàn đắp phục hồi plasma bột còn có đề tài của tác giả Trương Tiến Lộc năm 2014 [20] nghiên cứu nâng cao độ bền mòn của xupap động cơ điêzel với bột hợp kim nền coban, vật liệu xupap là 40X9C2, lớp phủ dùng bột hàn Co263-3. Đề tài đã xác định được các dạng hư hỏng và mài mòn của xupap; ứng dụng hiệu quả công nghệ điều khiển, tin học vào nghiên cứu công nghệ hàn, chế tạo và phục hồi chi tiết máy; xác định được mối quan hệ giữa dòng điện hồ quang với độ cứng, cụ thể khi tăng dòng điện hồ quang thì độ cứng lớp hàn đắp giảm xuống và ngược lại. Xupap sau phục hồi có độ bền và thời gian làm việc cao hơn trong điều kiện làm việc chịu áp suất, nhiệt độ cao trong buồng đốt của động cơ.

Nhận xét:

Hiện nay có nhiều phương pháp phục hồi các chi tiết máy bị mài mòn được nghiên cứu và áp dụng. Những nghiên cứu chính dựa trên cơ sở lý luận và quy trình kỹ thuật tiên tiến để phục hồi các chi tiết máy bị mài mòn như: phương pháp hàn điện cực rung [114,116], hàn cảm ứng [115], hàn dưới lớp trợ dung [114,115], hàn khí [135], hàn plasma [114,116] và hàn nổ [114,116], phục hồi bằng hàn khuếch tán [115], Bên cạnh một loạt ưu điểm thì những phương pháp này cũng tồn tại một số điểm hạn chế như: khi sử dụng để khôi phục bề mặt hình trụ của trục với độ mài mòn nhỏ, cho thấy những phương pháp này không hẳn lúc nào cũng đảm bảo được chất lượng phục hồi các chi tiết máy như yêu cầu đặt ra. Với công nghệ đang được sử dụng khá nhiều là phun phủ nhiệt có nhiều ưu điểm nổi bật tuy nhiên công nghệ này cũng tồn tại những nhược điểm là cho độ bền liên kết của lớp phủ với lớp nền cơ bản thấp. Lượng kim loại khi phun phủ hao tổn lớn, độ xốp cao, tạo ra ô xít kim loại nhiều, môi trường làm việc chưa tốt [36,82].

Việc tu sửa và phục hồi các chi tiết máy với chất lượng cao có thể đạt tính khả thi về mặt kinh tế nếu tuân thủ những nguyên tắc sau [115]:

1. Thu được độ cứng tối đa về chất lượng để đảm bảo độ bền mòn cao của bề mặt các chi tiết máy.
2. Thu được các chi tiết máy sau khi phục hồi chỉ giảm đi một chút về độ bền mỏi hoặc nâng cao độ bền mỏi tiếp xúc bằng cách tạo ra lớp phủ có độ bền.
3. Đảm bảo lượng dư tối thiểu trong gia công, áp dụng phương pháp sửa chữa các chi tiết máy với hiệu suất cao, chi tiết được tạo một lớp phủ cứng mà không yêu cầu phải xử lý nhiệt về sau.

Phương pháp tiên tiến đang được tiếp tục hoàn thiện để phục hồi các chi tiết dạng trục là hàn điện tiếp xúc trên cơ sở sử dụng năng lượng nhiệt được sản sinh khi hình thành mối hàn giữa vật liệu phụ và chi tiết cơ bản khi được truyền qua bề mặt tiếp xúc bởi một xung điện (định luật Joule) kết hợp cùng với lực tác động của con lăn điện cực. Những phương pháp này có nhiều ưu điểm so với phương pháp phục hồi dựa trên sự nóng chảy vật liệu phụ bởi năng lượng hồ quang điện. Những điểm quan trọng nhất trong phương pháp này là [122]:

- + Nhiệt nung nóng chi tiết nhỏ;
- + Khả năng hàn của những vật liệu phụ khác nhau;

+ Lớp bề mặt được tôi và rèn trực tiếp trong quá trình hàn nhằm làm tăng độ bền cho chi tiết do đó chi tiết sau khi hàn chỉ cần gia công đạt kích thước và độ nhám bề mặt làm việc mà không cần xử lý nhiệt sau hàn vì vậy sẽ tránh được các hiện tượng như: bong tróc và biến dạng...;

+ Tăng hiệu suất lên 2-3 lần;

+ Giảm hao phí vật liệu 3÷4 lần so với những phương pháp hàn khác;

+ Không làm cháy hỏng các chất hợp kim và nâng cao điều kiện lao động.

Tất cả những đặc điểm trên khiến cho phương pháp này thu hút được sự quan tâm lớn không chỉ của những nhà nghiên cứu mà của cả những nhà sản xuất.

Dựa theo hình thái vật liệu phụ được sử dụng thì phương pháp hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục được chia thành những dạng sau:

+ Hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục với vật liệu phụ là dải thép;

+ Hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục với vật liệu phụ là bột kim loại;

+ Hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục với vật liệu phụ là dây thép.

Tuy nhiên phương pháp hàn với vật liệu phụ dải thép thì việc cắt dải thép để gắn lên bề mặt phục hồi làm phức tạp quy trình kỹ thuật, làm hạn chế số lượng các loại chi tiết phục hồi, bề mặt tiếp xúc hàn có sự tồn tại các ôxyt, các lỗ rỗng mà không có hướng thoát ra ngoài nên thường xảy ra các khiếm khuyết trong quá trình hàn như rỗ khí, nứt, tróc hay vỡ lớp bề mặt hàn. Khi hàn vật liệu phụ bột kim loại thì thành phần cấu tạo của vật liệu làm phức tạp quá trình công nghệ, bột hợp kim chất lượng cao thì rất đắt và hiếm. Mặt khác quá trình hàn với kim loại phụ bột, kim loại không hoàn toàn giải quyết được vấn đề đảm bảo độ bền liên kết cao của vật liệu lớp phủ với kim loại cơ bản của chi tiết máy. Đồng thời bước gia công cơ khí tiếp theo của lớp phủ hàn bằng vật liệu phụ bột kim loại sẽ gặp khó khăn. Đó đó phương pháp hàn phục hồi chi tiết dạng trục bằng hàn điện tiếp xúc với vật liệu phụ dây thép là phương pháp phù hợp hơn vì nó có thể khắc phục được các nhược điểm của hai phương pháp trên. Ngoài ra phương pháp phục hồi này có nhiều ưu việt so với các phương pháp hàn hồ quang nóng chảy truyền thống cụ thể là:

1) Quá trình hàn có năng suất cao và độ ổn định tốt do quá trình hàn dễ cơ khí hóa và tự động hóa;

2) Liên kết hàn của lớp phủ với kim loại cơ bản được hình thành ở nhiệt độ chảy dẻo nên không làm cháy hay bay hơi các thành phần nguyên tố hợp kim, cũng như ảnh

hưởng về sự thay đổi thành phần hóa học của kim loại đắp và kim loại cơ bản hầu như không xảy ra. Như vậy sẽ khiến cho chi tiết trục phục hồi có thể tạo ra lớp bề mặt có độ cứng, độ mài mòn tốt nhưng vẫn đảm bảo độ dẻo dai của bản thân trục;

- + Quá trình hình thành liên kết hàn phân lớn chỉ xảy ra ở bề mặt tiếp xúc như vậy độ hòa tan của kim loại cơ bản vào kim loại đắp đạt được ở mức thấp làm cho lớp đắp có độ cứng trung bình cao và đồng đều, và ở phần lớn các trường hợp sau khi hàn không cần xử lý nhiệt cho lớp hàn đắp;

- + Liên kết hàn được tạo ra khi kim loại dây hàn phụ và kim loại cơ bản được nung nóng đến trạng thái dẻo nhờ dòng điện có cường độ rất cao, thời gian ngắn nên vùng ảnh hưởng nhiệt sẽ được thu hẹp;

- + Dây hàn có giá thành thấp, dễ mua hơn so với các vật liệu kim loại bột;

- + Bề mặt liên kết hàn có độ phẳng đều và ổn định cho nên lượng dư là nhỏ nhất cho phần gia công tiếp theo.

- + Do quá trình hàn không cần đến khí hay thuốc bảo vệ, khi hàn hầu như không tạo ra khói bụi nên điều kiện làm việc vệ sinh, môi trường được cải thiện đáng kể.

Bên cạnh những ưu điểm nêu trên của phương pháp thì cũng tồn tại một số những nhược điểm như:

- + Cấu trúc của lớp hàn đắp trong hàn điện tiếp xúc dây thép được xiết chặt theo đường xoắn ốc thường không đồng nhất là do sự xen kẽ của cấu trúc tôi và ram hoàn toàn hoặc một phần của các vòng dây hàn liền kề;

- + Thiết bị phục hồi điện cực lặn có độ bền thấp do vật liệu chủ yếu làm từ đồng nên quá trình hàn dưới tác động của lực ép lên bề mặt dây hàn phụ sẽ gây nên các vết rãnh trên điện cực lặn.

Vì vậy cần có các nghiên cứu tiếp theo cho quá trình chế tạo hay biện pháp nâng cao độ bền cho điện cực lặn.

Kết luận chương 1

Qua việc tìm hiểu các công trình nghiên cứu trong nước và trên thế giới về công nghệ hàn đắp phục hồi và công nghệ hàn lặn tiếp xúc phục hồi các chi tiết máy dạng trục bị mài mòn, một số kết luận sau được đưa ra:

1. Nhiều công nghệ hàn đã được nghiên cứu tương đối đầy đủ và được ứng dụng vào thực tế để phục hồi các chi tiết bị mài mòn. Trong đó công nghệ hàn lặn tiếp xúc

phục hồi chi tiết máy dạng trục đã được nghiên cứu từ những năm 70 và ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực phục hồi các chi tiết máy cho ngành cơ khí nông nghiệp ở Liên bang Nga. Tuy nhiên ở nước ta công nghệ hàn đắp phục hồi này chưa có nghiên cứu và ứng dụng đáng kể nào, mặc dù theo các nghiên cứu đã chỉ ra rất nhiều ưu điểm của phương pháp này như: năng suất quá trình hàn cao, môi trường làm việc được đảm bảo, lớp đắp có độ bền mòn tốt, độ bền liên kết cao, có thể hàn được nhiều loại vật liệu khác nhau. Trong đó dây thép được coi là loại vật liệu phụ phổ biến và có giá thành thấp hơn rất nhiều so với bột kim loại. Vì vậy việc nghiên cứu hoàn thiện công nghệ này ở nước ta là rất cần thiết cho lĩnh vực sản xuất và sửa chữa phục hồi.

2. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, độ bền liên kết của lớp kim loại đắp với kim loại cơ bản, độ bền mòn và độ cứng của lớp đắp là ba đặc tính quan trọng ảnh hưởng tới khả năng làm việc của chi tiết máy phục hồi. Đặc biệt đối với hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết máy thì yếu tố độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền được coi là quan trọng nhất vì liên kết hàn chỉ xảy ra ở trạng thái chảy dẻo của kim loại hàn và kim loại nền cơ bản. Do đó nghiên cứu các thông số công nghệ nhằm nâng cao chỉ tiêu này là một trong những nhiệm vụ quan trọng.

3. Đã xác định được mục tiêu và phạm vi nghiên cứu của luận án, trong đó trọng tâm là nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến đồng thời nhiều chỉ tiêu chất lượng liên kết hàn trong công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục với vật liệu phụ là dây thép.

CHƯƠNG 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ CÔNG NGHỆ HÀN LẤN TIẾP XÚC PHỤC HỒI CHI TIẾT DẠNG TRỤC

Công nghệ hàn phục hồi chi tiết máy dạng trục được xây dựng dựa trên nguyên lý của phương pháp hàn điện tiếp xúc đường gián đoạn, và là sự phát triển trên phương diện của phương pháp hàn điện tiếp xúc điểm với việc hình thành các điểm hàn liên tục theo chu kỳ cài đặt.

2.1. Cơ sở lý thuyết hàn điện tiếp xúc đường

2.1.1. *Khái niệm, đặc điểm và ứng dụng của hàn điện tiếp xúc*

+ **Khái niệm:** Hàn điện tiếp xúc là quá trình hàn áp lực, sử dụng nhiệt điện trở của dòng điện chạy qua bề mặt tiếp xúc của hai hàn để nung kim loại vật hàn đến trạng thái hàn (chảy dẻo), và sử dụng lực để ép hai chi tiết hàn lại với nhau. Kim loại ở bề mặt hàn sẽ khuếch tán và thẩm thấu sang nhau tạo thành liên kết hàn [11,37,66,75].

Từ biểu thức của định luật Jun – Lenxơ ($Q = I^2.R.t$) khi cho dòng điện qua một vật dẫn sẽ sinh ra nhiệt lượng Q . Do vậy các bề mặt tiếp xúc có nhẵn bóng và được làm sạch thì vẫn còn những chỗ nhấp nhô và màng ôxít. Vì thế khi bắt đầu chúng chỉ tiếp xúc trên các điểm nhỏ, mặt khác chỗ tiếp xúc có màng ôxýt và khe hở cho nên có điện trở rất lớn tức mật độ dòng điện tại điểm tiếp xúc rất cao. Kết quả nhiệt lượng lớn sinh ra trên bề mặt tiếp xúc sẽ nung nóng chúng đến trạng thái hàn, dùng lực ép để tạo điều kiện cho việc thẩm thấu nguyên tử, làm cho các vật hàn nối chắc với nhau [11,16,37,64,65,66,75].

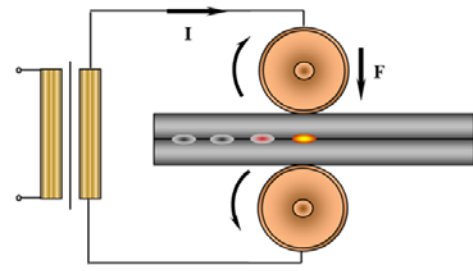
+ *Đặc điểm của hàn điện tiếp xúc:*

- Dòng điện có cường độ rất lớn.
- Thời gian tác dụng ngắn.
- Không cần dùng thuốc hàn hay khí bảo vệ.
- Chất lượng mối hàn cao, mối hàn không có xỉ.
- Năng suất quá trình hàn cao, chi tiết hàn biến dạng ít.
- Dễ cơ khí hóa và tự động hóa quá trình hàn [37,64,66,75].

2.1.2. *Hàn điện tiếp xúc đường*

a) *Nguyên lý chung:* Hàn đường hay hàn lăn là một dạng hàn tiếp xúc trong đó mối hàn là tập hợp các điểm hàn liên tục. Điện cực hàn có dạng bánh xe (chủ động hoặc bị

động, nhưng tối thiểu phải có một bánh xe chủ động), khi bánh xe quay, vật hàn nằm giữa hai bánh xe, nên mỗi hàn là một đường rất kín không cho các chất lỏng và chất khí lọt qua được (hình 2.1) [11,16,26,37,64,66,75].



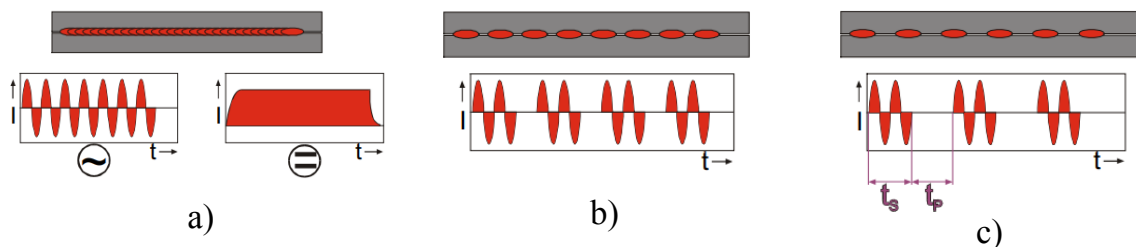
Hình 2.1. Nguyên lý hàn tiếp xúc đường

b) Các phương pháp hàn tiếp xúc đường: Hàn tiếp xúc đường có ba phương pháp: hàn liên tục, hàn gián đoạn, hàn bước.

- Hàn đường liên tục là điện cực quay làm chi tiết dịch chuyển liên tục và luôn luôn có dòng điện chạy qua trong quá trình hàn. Phương pháp này đơn giản nhưng bề mặt chi tiết bị nung nóng liên tục làm giảm chất lượng hàn và điện cực nhanh mòn (hình 2.2-a).

- Hàn đường gián đoạn là các chi tiết hàn vẫn được dịch chuyển liên tục nhưng dòng điện hàn chạy qua theo chu kỳ ngắn (1/10 ÷ 1/1000 giây). Phương pháp này hiện được dùng rộng rãi nhất (hình 2.2-b).

- Hàn bước là chi tiết hàn dịch chuyển gián đoạn, tại những chỗ dừng chi tiết bị ép và có dòng điện chạy qua tạo thành điểm hàn. Có thể gọi phương pháp này là phương pháp hàn điểm trên máy hàn đường (hình 2.2-c) [52,75].



a - hàn đường liên tục, b - hàn đường gián đoạn, c - hàn bước

Hình 2.2. Các phương pháp hàn tiếp xúc đường

2.1.3. Cơ sở lý thuyết quá trình hàn điện tiếp xúc

2.1.3.1. Cơ sở sinh nhiệt trong quá trình hàn

Khi ta cung cấp một lượng nhiệt Q nhất định cho một khối lượng kim loại m thì nhiệt độ của nó sẽ tăng lên một lượng nhất định. Lượng nhiệt đó được xác định bằng công thức sau:

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c} \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (2.1)$$

Trong đó: ΔT - Lượng tăng nhiệt độ; c - Nhiệt dung riêng của kim loại (cal/g. $^{\circ}$ C).

Lượng nhiệt sinh Q ra do dòng điện chạy trong kim loại được xác định theo công thức (2.1) là: [52,64,66,67,72,75].

$$Q = R.I^2.t \text{ (J)} \quad (2.2)$$

Trong đó: Q - Nhiệt lượng sinh ra (J); R - Điện trở của kim loại (Ω); I - Cường độ dòng điện (A); t - Thời gian hàn (s).

2.1.3.2. Sự thất thoát nhiệt trong quá trình hàn

Trong quá trình hàn, tổng năng lượng nhiệt của nguồn hàn bị phân tán thành các năng lượng nhiệt thành phần.

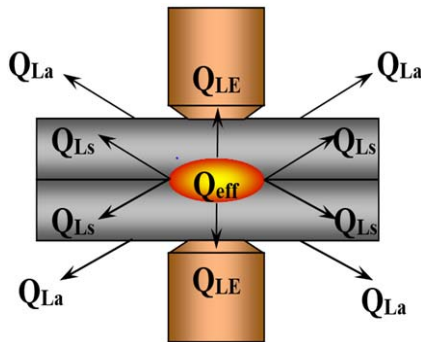
Phần lớn lượng nhiệt của quá trình hàn được tập trung tại vị trí hàn (mối hàn), lượng nhiệt còn lại bị phân tán và một phần được truyền vào hai đầu điện cực, phần còn lại được truyền vào các chi tiết hàn (phần lớn) và truyền ra môi trường xung quanh (hình 2.3) [52]

$$Q_{add} = I^2.R.t \quad (J) \quad (2.3)$$

$$Q_{eff} = Q_{add} - Q_L \quad (J) \quad (2.4)$$

$$Q_L = Q_{Le} + Q_{Ls} + Q_{La} \quad (J) \quad (2.5)$$

$$\eta = \frac{Q_{eff}}{Q_{add}}.100\% \quad (2.6)$$



Hình 2.3. Sự thất thoát nhiệt trong quá trình hàn điện tiếp xúc

Trong đó:

Q_{add} - năng lượng tổng (J);

Q_{eff} - năng lượng hiệu dụng (J);

Q_L - năng lượng mất mát (J);

Q_{Le} - năng lượng truyền vào điện cực (J);

Q_{Ls} - năng lượng truyền vào chi tiết hàn (J);

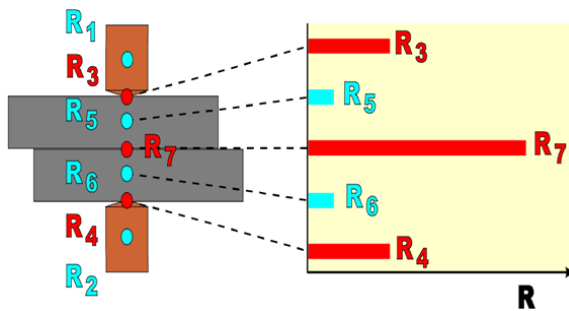
Q_{La} - năng lượng truyền vào môi trường (J);

η - hệ số hiệu dụng.

2.1.3.3. Điện trở trong hàn điện tiếp xúc

Quá trình hàn điện tiếp xúc sinh ra 2 loại điện trở (hình 2.4): 1) Điện trở sinh ra giữa các bề mặt tiếp xúc R_S bao gồm: R_3, R_4, R_7 ; 2) điện trở sinh ra trong bản thân vật liệu hàn và vật liệu điện cực R_M bao gồm: R_1, R_2, R_5, R_6 .

Trong đó điện trở tiếp xúc giữa điện cực với chi tiết hàn và điện trở tiếp xúc giữa hai chi tiết hàn với nhau có một ý nghĩa rất lớn đối với quá trình hình thành mối hàn. Chúng là những điện trở sinh nhiệt chủ yếu trong quá trình hàn.



Trong đó:

R_1, R_2 : điện trở điện cực hàn;
 R_3, R_4 : điện trở tiếp xúc giữa điện cực hàn và chi tiết hàn
 R_5, R_6 : điện trở chi tiết hàn;
 R_7 : điện trở tiếp xúc giữa hai chi tiết hàn.

Hình 2.4. Các vùng điện trở trong hàn điện tiếp xúc

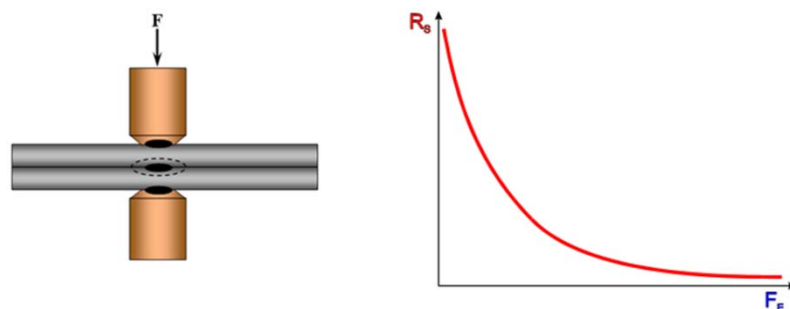
Tổng điện trở R_T của quá trình hàn bằng tổng điện trở của các bề mặt tiếp xúc ($R_S = R_3 + R_4 + R_7$) với điện trở của vật liệu điện cực và vật liệu hàn ($R_M = R_1 + R_2 + R_5 + R_6$) được thể hiện trên đồ thị (hình 2.6) [52,65,66,67,75].

$$R_T = R_S + R_M \quad (2.7)$$

2.1.3.4. Ảnh hưởng của các thông số đến điện trở tiếp xúc

a) Ảnh hưởng của lực ép điện cực đến điện trở tiếp xúc

Lực ép điện cực có ảnh hưởng rất lớn đến điện trở tiếp xúc của chi tiết hàn. Khi lực ép điện cực F_E càng lớn thì điện trở tiếp xúc R_S giảm càng nhanh và ngược lại được thể hiện trên (hình 2.5) [11].



Hình 2.5. Ảnh hưởng của lực ép điện cực đến điện trở tiếp xúc

b) Ảnh hưởng của thay đổi điện trở trong quá trình hàn

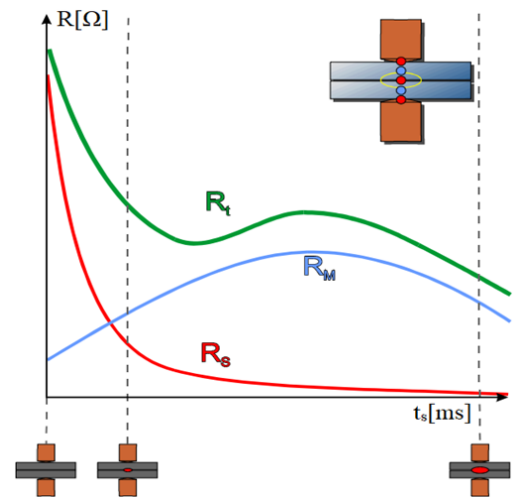
Quá trình thay đổi điện trở trong hàn điện tiếp xúc được thể hiện như trên đồ thị (hình 2.6) như sau [75]:

Khi quá trình hàn bắt đầu lực ép của điện cực ở giai đoạn đầu (còn gọi là lực ép sơ bộ), đồng thời chưa cho dòng hàn chạy qua chi tiết. Khi đó điện trở tiếp xúc giữa hai chi tiết tăng lên rất nhanh (lớn nhất), điện trở tiếp xúc giữa điện cực với chi tiết hàn

cũng tăng lên rất nhanh. Ở giai đoạn này, điện trở tiếp xúc của vật liệu cũng bắt đầu tăng nhưng không đáng kể.

Sau một thời gian ngắn (khoảng vài ms), khi lực ép điện cực gia tăng lên một trị số nhất định, khi đó điện trở tiếp xúc và nhiệt độ trong quá trình hàn biến thiên. Điện trở tiếp xúc thay đổi kéo theo sự thay đổi điện trở của vật liệu.

Tại thời điểm kết thúc quá trình hàn, điện trở tiếp xúc giữa hai chi tiết và điện trở tiếp xúc giữa điện cực với chi tiết giữ nguyên. Lúc này điện trở của vật liệu tăng lên.



Hình 2.6. Đồ thị thể hiện sự thay đổi điện trở trong hàn điện tiếp xúc

c) Ảnh hưởng của thay đổi nhiệt độ trong quá trình hàn

Khi quá trình hàn bắt đầu lực ép của điện cực ở giai đoạn đầu (còn gọi là lực ép sơ bộ), đồng thời chưa cho dòng hàn chạy qua chi tiết. Nhiệt độ ở giai đoạn này bằng nhiệt độ của chi tiết.

Sau một thời gian ngắn (khoảng vài ms), khi lực ép điện cực gia tăng lên một trị số nhất định, khi đó điện trở tiếp xúc thay đổi kéo theo sự thay đổi của nhiệt độ trong quá trình hàn làm cho nhiệt độ của vật liệu thay đổi.

Tại thời điểm kết thúc quá trình hàn (giai đoạn hình thành điểm hàn), lúc này điện trở của vật liệu tăng lên làm cho nhiệt độ của chi tiết cũng tăng lên [75].

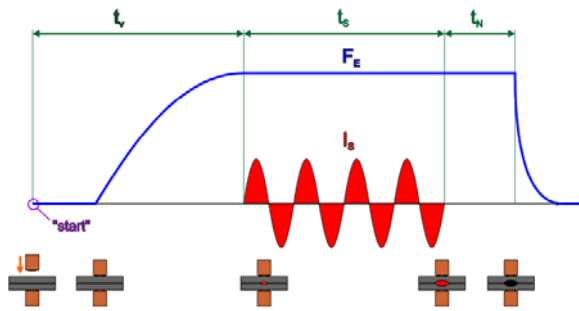
d) Chu trình hàn

Chu trình hàn gồm 3 giai đoạn (hình 2.7):

1) Ép sơ bộ: Giai đoạn này tạo lực ép ban đầu nhằm tạo ra các bề mặt tiếp xúc giữa các bề mặt;

2) Hàn; Giai đoạn này bắt đầu có dòng điện hàn với cường độ lớn chạy qua các bề mặt tiếp xúc làm cho các bề mặt này bị róm chảy hay dẻo, lực ép vẫn được duy trì để tạo điện trở liên tục trong giai đoạn này;

3) Ép nén: Giai đoạn này dòng điện ngừng cung cấp và lực ép được duy trì để tạo liên kết hàn [52,65,66,75].



Hình 2.7. Chu trình hàn điện tiếp xúc đường

Trong đó:

F_e : lực ép điện cực (N);

I_s : cường độ dòng hàn (A);

t_v : thời gian ép sơ bộ (chu kỳ) hoặc (giây);

t_s : thời gian hàn (chu kỳ) hoặc (giây);

t_n : thời gian ép nén (chu kỳ) hoặc (giây).

2.2. Các phương pháp hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết trục

Dựa theo loại vật liệu phụ được sử dụng thì phương pháp hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục được chia thành các dạng sau:

2.2.1. Hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dải thép

Đây là phương pháp hàn dải kim loại nhờ tác động của xung điện hàn. Để tránh việc các chi tiết máy bị nóng chảy và nâng cao độ dẻo dai của lớp hàn thì người ta sử dụng chất lỏng làm mát trong môi trường hàn [115]. Khi sử dụng bộ đóng cắt thyristor hoặc Ignitron đóng mở nguồn điện ở tần số công nghiệp thì thời gian xung điện dài khoảng 0,02-0,06s thì trị số dòng điện khoảng 8÷9 KA. Xung điện ngắn hơn khoảng 2,7÷11ms cường độ dòng điện tương ứng khá lớn khoảng 14÷18 KA nếu sử dụng máy hàn tụ [115,138].

Sơ đồ phục hồi trục bằng phương pháp hàn lăn tiếp xúc dải thép được trình bày qua hình 2.8. Kết cấu bố trí hàn sử dụng một hoặc hai con lăn dẫn điện [126]. Trước khi phục hồi, chi tiết máy 1 sẽ được phủ dải kim loại phụ 2 có chiều rộng bằng chiều dài của cổ trục còn chiều dài bằng chu vi của cổ trục. Cả hai đầu của dải kim loại tại vị trí đầu nối sẽ gắn với trục bằng mối hàn riêng. Sau đó chi tiết trục cùng với dải thép phụ đã được gắn chặt trên nó sẽ được kẹp trên mâm cặp 4, con lăn điện cực 3 sẽ tạo lực ép lên dải thép, dẫn động chuyển động quay cho chi tiết trục, dẫn động dịch chuyển tịnh tiến rồi bật nguồn điện máy biến áp 5 bằng cầu dao 6. Quá trình hàn diễn ra theo đường xoắn ốc phủ kín bề mặt chi tiết.

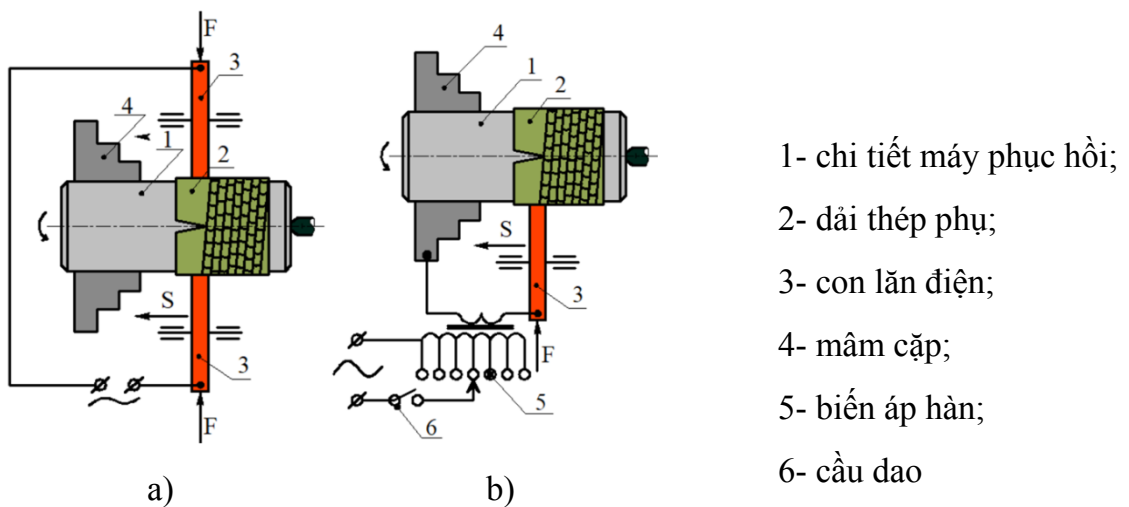
Để đảm bảo chất lượng của vật liệu hàn cần sử dụng dải thép có độ dày 0,25÷0,8mm từ thép cacbon, thép hợp kim và thép kết cấu [109,130]. Năng suất của quá trình đạt đến 0,4 dm²/phút. Quá trình liên kết kim loại cơ bản và kim loại phụ đi kèm với việc hình thành các hạt nóng chảy.

Đầu tiên, để phục hồi cổ trục cần sử dụng một dải thép mỏng được hàn theo đường xoắn ốc với sự chồng chéo lên nhau giữa các lớp liên kề, bằng việc sử dụng con lăn có độ rộng bằng với độ rộng của dải thép (3mm). Độ bền mỗi hàn thu được giữa lớp kim loại phủ với kim loại nền cơ bản ở mức thấp nhỏ hơn hoặc bằng 50MPa [123].

Nghiên cứu [130] có nêu rõ, khi khôi phục bề mặt hình trụ bằng dải thép hợp kim có độ dày $0,25 \div 0,35\text{mm}$ thì ở điều kiện tối đa độ bền của mỗi hàn có thể đạt $400 \div 500$ MPa. Theo số liệu [109] thì những vật liệu hàn khác nhau sẽ có sức bền mỗi khi uốn không quá 50% giới hạn bền mỗi tiêu chuẩn của thép C45.

Phương pháp này không chỉ phục hồi được bề mặt trụ bên ngoài mà còn có thể phục hồi các rãnh và bề mặt trụ bên trong. Việc phục hồi các trục có rãnh then, các chi tiết có thành mỏng bằng hàn tiếp xúc với vật liệu phụ là dải thép có tính kinh tế cao và thường thì không thể thực hiện bằng những phương pháp khác.

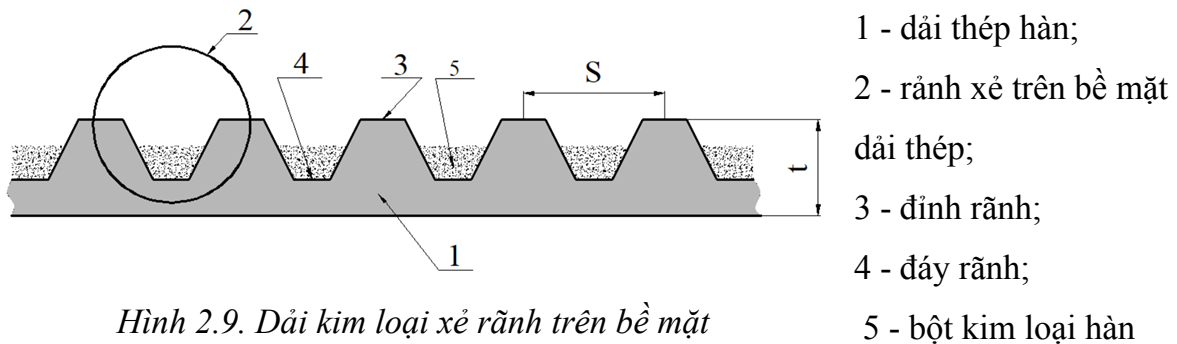
Một trong số những phương pháp tiên tiến nhất của công nghệ này là hàn lăn tiếp xúc dải thép các chi tiết máy thông qua lớp bột trung gian không nóng chảy [133] hoặc khó nóng chảy [113]. Trong trường hợp này hợp kim bột được đặt giữa lớp bề mặt kim loại phủ và chi tiết máy, bề mặt phủ và chi tiết máy liên kết với nhau nhờ dòng điện ngắn mạch. Sau đó diễn ra sự tương tác của các hạt vật chất bột với nhau, cũng như quá trình hình thành một liên kết bao gồm sự tác động qua lại của kim loại bề mặt liên kết và lớp bột hàn khi biến dạng dẻo do tỏa nhiệt trong quá trình kháng trở giữa các bề mặt tiếp xúc [125]. Rãnh của bề mặt trục được tạo bởi con lăn theo đường xoắn ốc phủ khắp bề mặt hàn. Phương pháp này giúp hình thành mối nối khi hàn với những vật liệu khó hàn và mở rộng phạm vi phục hồi.



a) sơ đồ hàn 2 con lăn; b) sơ đồ hàn 1 con lăn

Hình 2.8. Sơ đồ hàn lăn tiếp xúc phục hồi trục vật liệu phụ dải thép

Một phương pháp tiên tiến của hàn phục hồi vật liệu phụ dải thép là sử dụng dải thép mà phía mặt tiếp xúc với trục có một mặt cắt ngang dạng rãnh lõm xen kẽ. Khi đi qua khu vực hình thành mối hàn có cường độ dòng điện lớn, đóng ngắt xen kẽ, kim loại sẽ được nung nóng đến trạng thái dẻo và tạo liên kết bởi lực của con lăn điện cực hàn và vật liệu phụ sẽ trải qua biến dạng đáng kể. Khi nóng chảy, kim loại hàn sẽ biến dạng chuyển sang trạng thái dẻo trên bề mặt hàn của chi tiết máy, giúp phá hủy lớp ôxit dày là nguyên nhân gây hư hỏng mối hàn. Độ bền mối hàn của lớp phủ từ dải thép với kim loại cơ bản của chi tiết máy có thể được nâng cao khi cho bột kim loại hàn lấp đầy một nửa rãnh lõm của dải kim loại như hình 2.9 [86].



Hình 2.9. Dải kim loại xẻ rãnh trên bề mặt

Phương pháp hàn lăn tiếp xúc phục hồi trục với vật liệu phụ dải thép kim loại cũng tồn tại một số hạn chế.

+ Việc cắt dải thép, xẻ rãnh bề mặt và gắn lên bề mặt phục hồi làm phức tạp hóa quy trình kỹ thuật và hạn chế số lượng các loại chi tiết phục hồi.

+ Thậm chí khi hàn trong điều kiện tối ưu nhất thì việc loại bỏ những khuyết tật trong quá trình hàn như rỗ khí, nứt, tróc vỡ lớp bề mặt hàn đắp vẫn khó có thể thực hiện [132].

+ Trên thực tế tại vùng tiếp xúc của dải thép với chi tiết máy không có biến dạng dẻo của kim loại hàn - yếu tố được xem là điều kiện cần để có liên kết vững chắc giữa kim loại hàn và bề mặt phục hồi.

Với những nhược điểm kể trên với việc giảm độ bền mối đã phần nào làm hạn chế việc áp dụng phương pháp hàn tiếp xúc phục hồi trục vật liệu phụ dải thép kim loại.

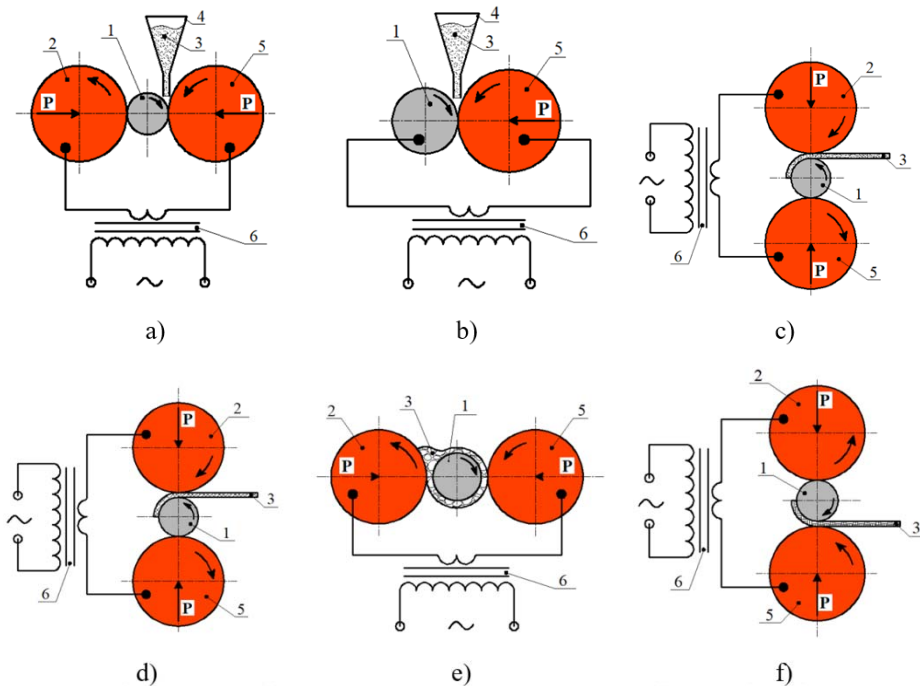
2.2.2. Hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ bột kim loại

Quy trình hàn lăn tiếp xúc bột kim loại được trình bày trong các công trình nghiên cứu [86,111]. Kỹ thuật và các trang thiết bị khác nhau của phương pháp này cũng đã được nghiên cứu và trình bày, các trường hợp cụ thể để phục hồi một số chi tiết máy bằng phương pháp này cũng đã được xem xét [124].

Có rất nhiều hình thức sử dụng bột kim loại để hình thành mối hàn khi sử dụng phương pháp hàn lăn tiếp xúc bột kim loại đã được đưa ra [112,115].

Thường thì bột kim loại sẽ được đưa vào vùng hàn thông qua phễu (hình 2.10-a,b). Phương pháp này được sử dụng phổ biến bởi tính đơn giản và không yêu cầu kết cấu phức tạp [124]. Thực tế khi đưa bột vào vùng hàn qua phễu ta không thể kiểm soát được độ dày của lớp bột. Một lượng lớn bột kim loại sẽ bị rơi vãi, hao phí. Bên cạnh đó, khi hàn rất khó để làm mát chi tiết máy và điện cực bằng nước thông thường, do đó ảnh hưởng xấu đến sự ổn định của cả quá trình.

Phương pháp hàn sử dụng bột kim loại thiêu kết [129]. Phôi bột kim loại thiêu kết có thể được chuẩn bị dưới dạng dải hoặc lá mỏng, có kích thước bằng với kích thước của bề mặt phục hồi (hình 2.10-c). Bột thiêu kết dưới dạng phôi này rất phù hợp để phủ kín chi tiết máy, và vật liệu hàn cũng không bị lãng phí. Tuy nhiên quá trình chế tạo bột thiêu kết tại các cơ sở sửa chữa mất rất nhiều thời gian và công sức, và việc thu mua cũng rất khó khăn vì giá thành cao và cần đặt với trữ lượng lớn. Mặt khác vật liệu hàn loại này rất cứng và dễ vỡ, việc cắt và chuẩn bị trước khi hàn sẽ gặp những trục trặc kỹ thuật nhất định. Vì vậy mà phương pháp hàn này rất ít khi được sử dụng.



1- Chi tiết máy phục hồi; 2,5- con lăn điện; 3-bột hàn; 4- phễu; 6- biến thế hàn
a - truyền bột bằng trọng lực qua phễu khi hàn với hai con lăn điện; b - truyền bột bằng trọng lực qua phễu khi hàn với một con lăn điện; c- sử dụng thuốc hàn thiêu kết; d- sử dụng sợi hàn polyme; e- hàn với bột nhão; f- bột được gắn vào bề mặt.

Hình 2.10. Sơ đồ hàn lăn tiếp xúc phục hồi trục bột kim loại với những cách thức sử dụng bột khác nhau

Một phương pháp hàn cũng được biết đến là hàn sợi polyme (PPL) [134]. Bản chất của phương pháp này là hỗn hợp bột với thành phần cần thiết sẽ được trộn với polyme dạng lỏng. Lượng chất đặc thu được sẽ được cán đến một kích thước phù hợp. Và hợp chất dẻo được phân bố quanh cổ trục bị mòn với đường kính lớn hơn 30mm (hình 2.10-d). Sau đó, quá trình hàn cũng tương tự như hàn băng bột thiêu kết.

Phương pháp hàn sợi polyme không yêu cầu thiết bị phức tạp, sợi hàn polyme dễ chế tạo. Tuy nhiên thực tế những sợi hàn kiểu này không được sử dụng do quá trình sản xuất sợi hàn kiểu này gây ra độc hại với con người và môi trường.

Phương pháp hàn bột nhão và màng cứng không được đưa vào ứng dụng sản xuất [140]. Bản chất của phương pháp này là đặt lên phần phục hồi của chi tiết máy một lớp bột nhão hoặc màng mỏng bằng những phương pháp khác nhau (hình 2.10-e). Bột nhão có vai trò giữ cho lớp bột hàn ở đúng vị trí, bột nhão là hỗn hợp bột đất sét, bột trộn với dầu, glycerol, nhựa và những chất tương tự. Đặc điểm khi dùng bột nhão là bột nhão cùng với bột hàn sẽ bị con lăn điện đẩy ra khỏi khu vực hình thành mối hàn. Một nhược điểm đáng kể của bột nhão là hạn chế trong việc điều chỉnh độ dày của lớp phủ và độ dẫn nhiệt kém.

Một phương pháp hàn nữa cũng được biết đến của hàn lăn tiếp xúc với bột kim loại bổ sung là lớp bột sẽ được gắn chặt trên bề mặt hoặc chỉ một phần được gắn trên bề mặt hàn, nghĩa là tạo một lớp phủ lưỡng kim (hình 2.10-f).

Với phương pháp hàn tiếp xúc bột kim loại, có nhiều lựa chọn dạng bột hàn (cacbon và hợp kim), cũng như các cách khác nhau để kết hợp chúng. Có thể tạo ra lớp phủ đa dạng về thành phần.

Chế độ tối ưu trong hàn bột kim loại, đảm bảo độ bền của liên kết khoảng 120÷150 MPa, nằm trong giới hạn sau: điện áp 0,87÷1,35 V trên 1mm độ dày của lớp bề mặt, áp lực 40÷60 N/mm², tiêu hao năng lượng 2,1÷3,2 Wh/g [114]. Độ xốp của lớp phủ khi hàn ở điều kiện tối ưu đạt mức 8÷12% [137], độ cứng phụ thuộc vào thành phần hóa học của vật liệu hàn. Yếu tố ảnh hưởng lớn đến chất lượng lớp hàn là độ liên kết của nó với kim loại cơ bản, ảnh hưởng đến tốc độ hàn, là nguyên nhân tác động đến điều kiện nhiệt độ khi hàn lớp bề mặt phủ. Độ xốp lớp phủ làm tăng cường độ bền mòn. Độ bền mỏi của trục máy được phục hồi bằng phương pháp hàn lăn tiếp xúc bột kim loại thấp hơn không đáng kể so với sử dụng phương pháp hàn dải thép kim loại.

Bên cạnh những ưu điểm thì phương pháp này cũng có một loạt yếu tố gây khó khăn cho việc áp dụng quy trình tiên tiến khi phục hồi các chi tiết dạng trục như:

Khi sử dụng con lăn - điện cực có kích thước lớn, độ rộng bề mặt làm việc của nó phải bằng (hoặc là bội số) độ rộng của cổ (ngõng) trục phục hồi. Khi hàn ngỗng trục bằng con lăn có độ rộng hẹp theo đường xoắn ốc đi khắp bề mặt phủ thì cấu trúc bề mặt kim loại phủ sẽ không đồng nhất. Là do quá trình hàn bột kim loại rất nhạy cảm với sự thay đổi nhiệt độ, nên khó có thể đảm bảo chất lượng ổn định của lớp bề mặt kim loại khi phục hồi cổ trục dài theo đường xoắn ốc.

Việc sử dụng bột sắt giá rẻ không hẳn lúc nào cũng đảm bảo chất lượng phục hồi yêu cầu đặt ra. Thành phần cấu tạo của vật liệu hàn làm phức tạp quy trình kỹ thuật, còn bột hợp kim chất lượng cao thì rất hiếm và có giá thành cao.

Hàn lăn tiếp xúc vật liệu phủ bột kim loại không hoàn toàn giải quyết được vấn đề đảm bảo độ liên kết cao của lớp hàn đắp với kim loại cơ bản của trục. Những bước gia công cơ khí tiếp theo của lớp phủ theo phương pháp hàn lăn tiếp xúc bột kim loại sẽ gặp khó khăn.

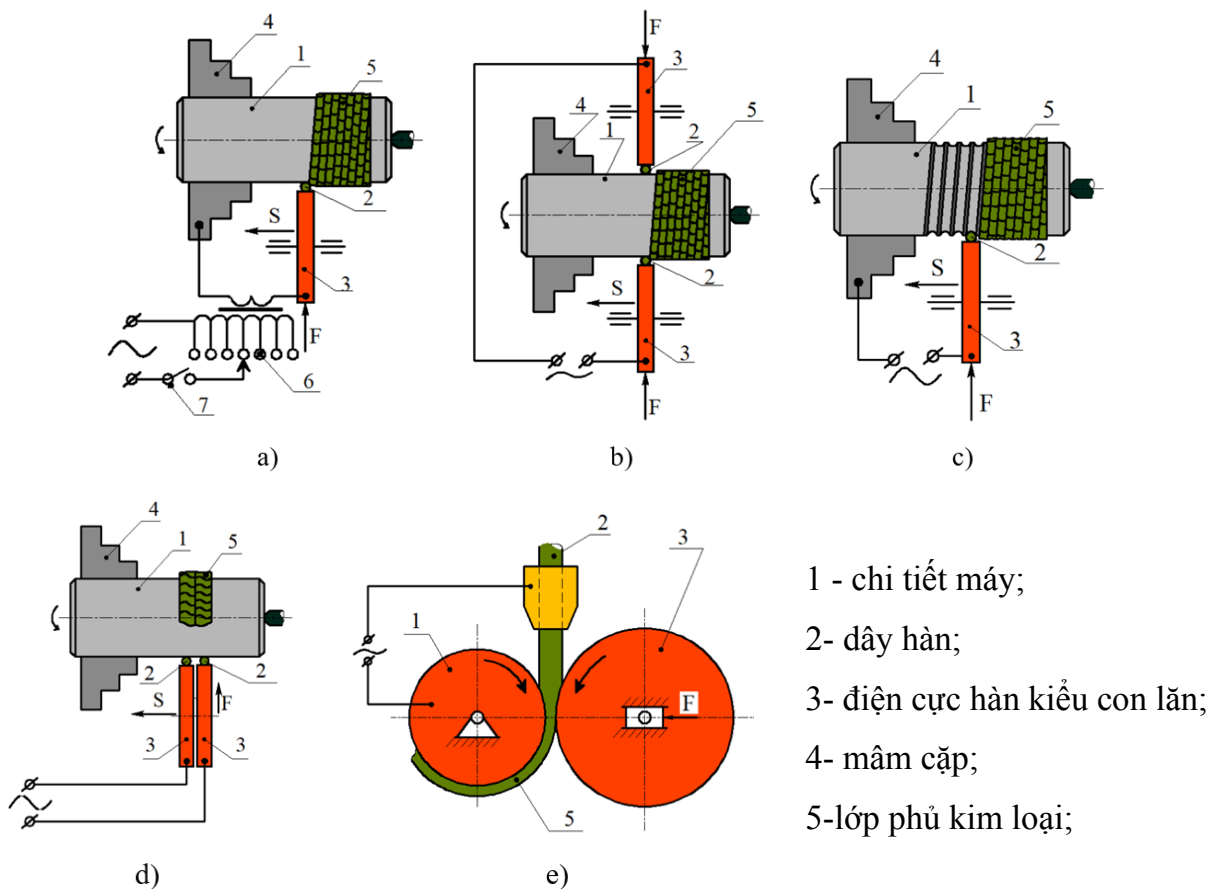
2.2.3. Hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép

Phương pháp hàn lăn tiếp xúc dây thép kim loại lần đầu tiên được Y.Klimenko đưa ra vào những năm 70, sau đó được đề cập rộng rãi trong các nghiên cứu của ông và nhiều nhà nghiên cứu khác như BM Askinazi, VV Bulycheva, VA Dubrovsky, VA Emelyanov, VS Ibragimov [69,85,98,104,107].

Bản chất của phương pháp hàn này là sự biến dạng đồng thời của dây kim loại phủ và lớp bề mặt của kim loại cơ bản được nung nóng đến trạng thái dẻo nhờ dòng điện có cường độ cao trong thời gian ngắn (0,02...0,06s). Biến dạng của kim loại phủ sau một chu kỳ đạt tới 40÷60% [86,107].

Kỹ thuật hàn được mô tả như (hình 2.11-a) Chi tiết trục hàn phục hồi 1 được kẹp chặt và truyền động quay bởi mâm cặp 4 và mũi chống tâm. Điện cực lăn 3 được quay đồng tốc, tịnh tiến theo phương dọc trục hàn và tác dụng một lực ép phù hợp để ép chặt dây kim loại 2 vào bề mặt trục phôi hồi tạo ra các đường xoắn ốc. Đồng thời một dòng xung điện có cường độ rất lớn được cấp từ máy biến áp hàn 7 thông qua cầu dao 6 chạy qua vị trí tiếp xúc giữa dây thép kim loại với trục phục hồi tạo lên lớp kim loại hàn đắp 5.

Sơ đồ kỹ thuật hàn này được coi là sơ đồ cơ bản để phục hồi phần lớn các nhóm sản phẩm [86,107]. Tuy nhiên, khi hàn theo sơ đồ kỹ thuật cơ bản thì khoảng dẫn điện dọc theo chi tiết sẽ bị thay đổi do sự dịch chuyển của con lăn điện, do đó các giá trị dòng điện hiện tại ở đầu và ở cuối của đoạn hàn là khác nhau (nếu không điều chỉnh).



a- sơ đồ cơ bản; b- sơ đồ hai con lăn; c- có tạo rãnh trên bề mặt hàn trước khi hàn; d- hai con lăn cạnh nhau; e- sử dụng con lăn trung gian.

Hình 2.11. Sơ đồ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép

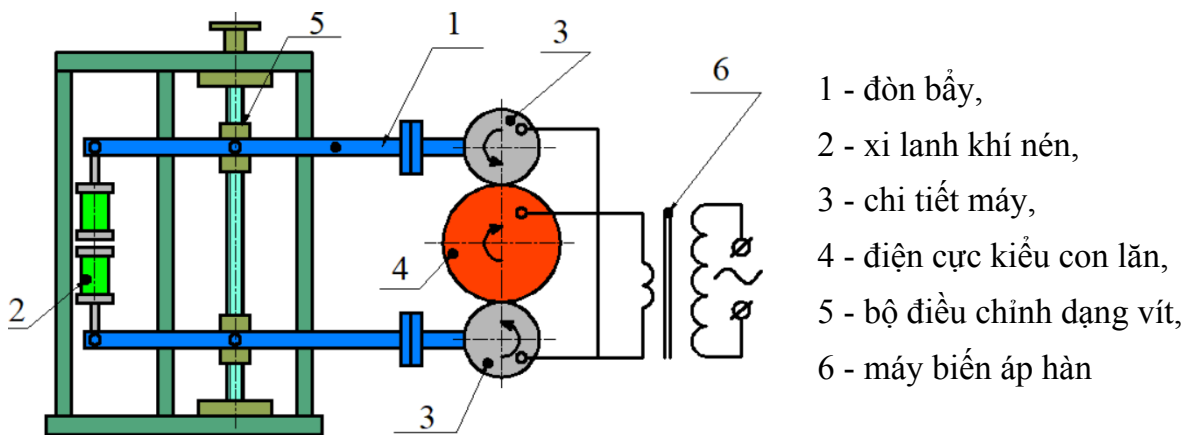
Loại bỏ nhược điểm của sơ đồ hàn cơ bản bằng sơ đồ kỹ thuật hàn với hai điện cực kiểu con lăn (hình 2.11-b). Theo sơ đồ này, dòng điện sẽ được đưa đến chỗ tiếp xúc thông qua hai điện cực con lăn trong mạch điện hàn bao gồm cả chi tiết máy. Khi đó điện cực con lăn thứ nhất tạo thành một mối hàn hình xoắn ốc có phủ lớp kim loại không liên tục (có khe hở hàn), con lăn thứ hai sẽ lấp đầy những khe hở hàn đã được tạo ra trước đó. Sơ đồ hàn này phức tạp hơn nhưng mang lại hiệu suất cao hơn 70-80% so với các sơ đồ hàn lăn tiếp xúc cơ bản.

Phương pháp hàn lăn tiếp xúc cũng rất phổ biến đó là tạo các rãnh trên bề mặt chi tiết phục hồi (hình 2.11-c) [110] rồi sau đó mới tiến hành hàn lăn tiếp xúc dây hàn vào rãnh hàn vừa tạo ra. Thêm vào đó đường hàn của lớp kim loại đắp từ dây dẫn kim loại phụ sẽ không có sự chòng chéo lên nhau, cấu trúc lớp phủ trên bề mặt của trục trở nên đồng nhất hơn, điều này tạo ảnh hưởng tích cực đến độ bền mỏi của trục. Nhược điểm của phương pháp này là phức tạp cũng như độ bền liên kết thấp của kim loại phụ với kim loại cơ bản.

Hàn phục hồi chi tiết dạng trục với kim loại phụ là dây thép còn có thể hàn theo sơ đồ hai con lăn cạnh nhau được thể hiện trong (hình 2.11-d). Theo sơ đồ này, quá trình hàn được diễn ra với sự hỗ trợ của hai điện cực kiểu con lăn song song nhau kèm theo sự đẩy dây kim loại phụ từ hai hộp đồ gá riêng biệt. Ưu điểm của phương pháp này là không nung quá nóng chi tiết máy phục hồi.

Y.V. Klimenko cũng đề xuất sơ đồ hàn điện sử dụng con lăn trung gian (hình 2.11-e). Dòng điện được đưa vào vùng hình thành liên kết hàn thông qua chi tiết hàn và dây kim loại phụ. Điện cực còn lại không dẫn điện và chỉ tác dụng một lực vừa đủ để chôn lún dây dẫn kim loại phụ. Bởi vậy con lăn có thể được chế tạo từ bất kỳ vật liệu bền nhiệt nào, ví dụ thép gió. Tuy nhiên do dòng điện phải qua dây dẫn kim loại phụ nên công suất có thể bị hạn chế khá nhiều, không đủ để tạo ra một liên kết hàn đảm bảo chất lượng.

Có thể nâng cao hiệu suất của quá trình hàn nếu như chúng ta áp dụng sơ đồ đề xuất cải tiến thiết bị hàn [86]. Trong đó thiết bị hàn bao gồm một điện cực kiểu con lăn được ghi chặt bởi hai hay nhiều chi tiết trục (hình 2.12). Thiết bị này có 2 đòn bẩy (1), một đầu đòn bẩy được liên kết với xi lanh khí nén (2), mặt khác liên kết với chi tiết hàn đang được phục hồi (3) ghi chặt vào điện cực con lăn (4). Điểm tựa của đòn bẩy (1) liên kết bản lề với bộ phận vít điều chỉnh của máy (5). Điện cực hàn kiểu con lăn (4) và chi tiết trục (3) được mắc vào máy biến áp hàn (6). Điện cực con lăn (4) được gá trong mâm cặp của thiết bị hàn và được truyền chuyển động quay. Các chi tiết hàn (3) bị ghi vào điện cực con lăn (4) bởi lực của xi lanh khí nén (2) sẽ quay theo chiều ngược lại nhờ lực ma sát và đồng thời truyền chuyển động cho dây hàn, đảm bảo dây hàn theo đường xoắn ốc với lớp che phủ cạnh nhau và hình thành lớp đắp kim loại đảm bảo độ chõm phủ theo yêu cầu.



Hình 2.12. Sơ đồ cải tiến hàn lăn tiếp xúc phục hồi với

vật liệu phụ dây thép.

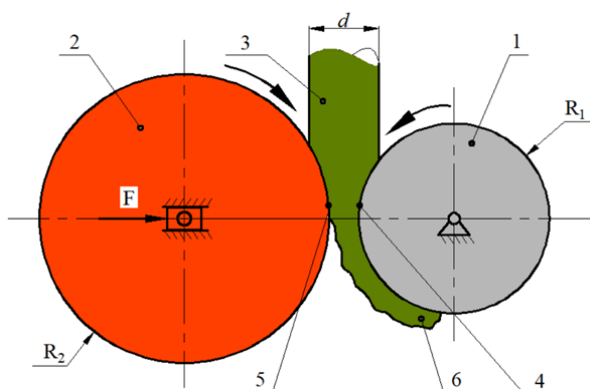
Ngoài những sơ đồ kể trên, còn rất nhiều sơ đồ hàn lăn tiếp xúc dây kim loại nhưng đôi khi chúng khá phức tạp và khó có thể thực hiện được. Trong các tài liệu kỹ thuật tác giả chỉ tìm thấy những thông tin về việc áp dụng trong sản xuất sơ đồ hàn lăn tiếp xúc cơ bản để phục hồi các trục bị mài mòn.

Ở nghiên cứu này tác giả sử dụng sơ đồ cơ bản nhưng có sự thay đổi đó là: con lăn điện cực ép dây và dịch chuyển thì bộ phận tiếp xúc điện vào trục hàn cũng dịch chuyển theo, do đó khoảng dẫn điện trong khu vực hàn là giống nhau khi đó dòng điện cung cấp tại đầu và cuối đoạn hàn là không thay đổi.

2.3. Cơ sở lý thuyết quá trình hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép

2.3.1. Nguyên lý hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép

Nguyên lý của quá trình hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép được thể hiện trên sơ đồ hình 2.13. Trục hàn (1) được kẹp chặt và truyền chuyển động, với sự quay tương đối và lực ép từ phía điện cực lăn (2) thì dây hàn (3) được kéo vào vùng hàn thông qua đầu dẫn hướng tạo nên bề mặt tiếp xúc giữa dây hàn với điện cực lăn, giữa dây hàn với bề mặt trục. Lúc này cung cấp một xung điện có cường độ lớn trong thời gian nhất định dây hàn bị chôn lún. Đồng thời lúc này tại bề mặt tiếp xúc dây hàn với bề mặt trục có điện trở tiếp xúc lớn nhất và sinh nhiệt cao nhất làm cho vật liệu bề mặt tiếp xúc này róm chảy hay chảy dẻo, dưới tác dụng của lực ép con lăn sẽ tạo thành liên kết hàn. Ngoài chuyển động quay tương đối của trục hàn với điện cực con lăn thì một trong hai chi tiết này tạo ra chuyển động tịnh tiến với bước tiến phù hợp tạo nên các đường xoắn ốc nhằm đảm bảo một lớp phủ chòm trên toàn bộ phần chi tiết trục cần hàn phục hồi [85,88,89,105,107].



- 1 - trục hàn;
- 2 - con lăn điện;
- 3 - dây kim loại phụ;
- 4 - bề mặt tiếp xúc giữa dây thép với bề mặt trục hàn;
- 5 - bề mặt tiếp xúc giữa dây kim loại với con lăn điện;
- 6 - kim loại lấp hàn đắp.

Hình 2.13. Sơ đồ nguyên lý hàn lăn tiếp xúc phục

2.3.2. Bản chất vật lý của quá trình liên kết kim loại

Các nghiên cứu của Y.V. Klimenko và E.S. Karakozov ở các công trình [69,88,107] đã làm rõ bản chất vật lý của mối liên kết giữa lớp đắp và kim loại cơ bản. Những nghiên cứu được tiến hành đã chỉ ra rằng việc hình thành liên kết hàn trong hàn lăn tiếp xúc xảy ra mà không có sự nóng chảy của kim loại cơ bản và kim loại phụ. Tại chỗ nối kim loại cơ bản và kim loại phụ không hình thành bề hàn và chính quá trình hàn lăn tiếp xúc được xem như một biến thể của hàn kim loại ở trạng thái rắn.

Sự hình thành lớp đắp kim loại khi hàn lăn tiếp xúc được thực hiện bằng cách tiếp xúc nhiều lần của chu kỳ cơ nhiệt, dẫn đến hình thành những vùng liên kết riêng biệt. Chu kỳ cơ nhiệt bao gồm việc ép sát dây hàn vào chi tiết, nung nóng dây hàn và lớp bề mặt gắn kết của chi tiết bằng một xung điện ngắn có cường độ cao (10÷12 kA). Những vùng liên kết riêng lẻ của lớp kim loại đắp lần lượt che phủ theo chiều dài của đường hàn, khi hàn theo đường xoắn ốc thì các đường hàn liên kế cũng gối chờm lên nhau đảm bảo đắp một lớp kim loại liên tục lên bề mặt phục hồi.

Nghiên cứu [107,137] có nêu, trong môi trường vật lý thì hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục là phương pháp hàn bằng áp lực, chính là hàn với lực tác động mạnh (F) trong khoảng thời gian (t) [11,37,67].

Theo nghiên cứu [69], sự hình thành mối liên kết bằng bất kỳ phương pháp hàn nào mà không có sự nóng chảy được xem như một quá trình gồm ba bước sau đây: 1) Sự hình thành tiếp xúc vật lý; 2) Hoạt động của các bề mặt tiếp xúc, nghĩa là: hình thành các trung tâm hoạt động; 3) Ảnh hưởng của khối lượng kim loại liên kết trong môi trường hình thành mối hàn.

Trong những điều kiện cụ thể của phương pháp hàn lăn tiếp xúc, quá trình hình thành mối hàn ở thể rắn diễn ra như sau.

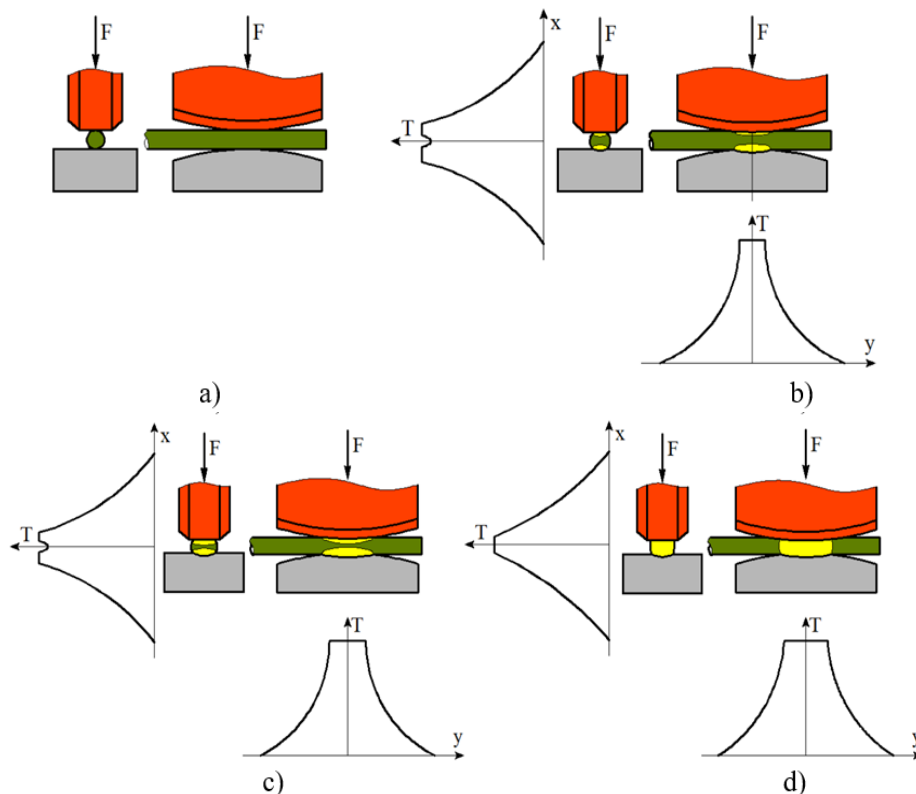
Dây hàn được ép chặt vào trục bởi con lăn điện cực. Trước khi tác dụng xung điện thì dây hàn chưa có sự tác động của nhiệt độ, được ép bởi con lăn điện cực bằng lực mà không bị biến dạng. Chỉ có phần nhấp nhô tế vi chỗ tiếp xúc giữa dây hàn với bề mặt trục bị biến dạng. Tại những phần này diễn ra sự liên kết nguyên tử của kim loại hàn và xuất hiện tác động vật lý do lực liên kết nguyên tử Van-der Waals gây ra. Và

kết quả của sự chuyển vị trên bề mặt của kim loại biến dạng dẻo dẫn đến hoạt hóa bề mặt tiếp xúc.

Độ rộng của khu vực hình thành liên kết giữa dây hàn với bề mặt trực trước khi tác động xung điện, sẽ phụ thuộc vào độ kháng biến dạng của dây kim loại, lực tác dụng của con lăn điện, đường kính trục hàn và dây hàn phụ, cũng như tình trạng bề mặt hàn. Theo nghiên cứu [78,79], thì ở giai đoạn đầu, yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến cấu tạo của liên kết là áp lực tác dụng.

Cùng với việc tác dụng xung điện, sẽ bắt đầu giải phóng năng lượng trong khu vực hàn. Vùng hoạt động của “con lăn điện - chi tiết trực” có thể chia làm 4 nguồn nhiệt nối tiếp: 1) Chuyển tiếp "con lăn điện - dây hàn"; 2) dây hàn trong vùng hàn; 3) chuyển tiếp "dây hàn - Chi tiết trực"; 4) kim loại tiếp xúc của trực cơ bản. Trước khi dây hàn nóng chảy thì nguồn nhiệt thứ 3 được xem là nguồn nhiệt mạnh nhất. Phần điện trở tiếp xúc chủ yếu của vùng "dây hàn - chi tiết trực" được quy định bằng các mô hình phức tạp của đường cong vi mô và vĩ mô của dòng điện [78,79].

Hình 2.14 cho thấy trình tự nung nóng dây hàn và kim loại trực cơ bản cũng như sự thay đổi phù hợp của nhiệt độ tại khu vực hàn sau thời gian tác động xung điện. Hình ảnh này được xây dựng dựa trên những tính toán về thay đổi của phần trở kháng [107].



a,b,c,d - các giai đoạn của quá trình nung nóng và biến dạng dẻo của dây hàn phụ

Hình 2.14. Quá trình biến dạng dẻo của dây hàn phụ và trường nhiệt độ khu vực hàn

Theo thời gian nung nóng sẽ xảy ra biến dạng của kim loại hàn và kim loại cơ bản, vùng tiếp xúc vật lý sẽ được mở rộng. Kết quả của quá trình nung nóng và nóng chảy, ở mỗi nối hàn sẽ diễn ra quá trình biến dạng và năng lượng sinh ra của nó đủ để vượt qua ngưỡng biến dạng dẻo của vật liệu, cho phép hình thành liên kết kim loại trên bề mặt tiếp xúc. Bề mặt tiếp xúc đã được hoạt hóa. Trong khu vực hàn có thể hình thành rỗ khí và không liên tục. Ở giai đoạn này, nhiệt độ hàn có ảnh hưởng lớn đến chất lượng mối hàn [78,79].

Sau 0,01÷0,02 giây kể từ thời điểm tác dụng dòng điện thì nhiệt độ của kim loại hàn đạt đến mức nhiệt của trạng thái dẻo và sự lún xuống tức thì của dây hàn xảy ra gần như đồng thời dưới tác dụng lực từ phía con lăn điện cực.

Trong 4 giai đoạn (a,b,c,d) thì giai đoạn (c) diễn ra quá trình hình thành mối hàn khi hàn lăn tiếp xúc bao gồm việc hình thành mối liên kết kim loại vững chắc của bề mặt liên kết. Tại khu vực liên kết thì các tác động của nguồn nhiệt riêng biệt kim loại sẽ hòa làm một, còn ở ngoài khu vực này thì liên kết bề mặt kém bền vững hơn.

Phần thể tích được nung nóng nhất của kim loại sẽ bị biến dạng nhiều nhất. Do đó nhiệt độ của kim loại hàn và áp lực tác động lên nó từ phía con lăn điện được cân bằng đến cuối quá trình kết tinh của dây kim loại [107]. Nhiệt độ của kim loại hàn ở giai đoạn cuối của quá trình hình thành mối liên kết không tăng lên, bởi ở trạng thái cân bằng nhiệt, lượng nhiệt thoát ra ngoài bằng với nhiệt tỏa ra từ bộ phận kim loại của chi tiết trục và con lăn điện qua các bề mặt tiếp xúc ở giai đoạn này của quá trình.

Nghiên cứu [117] cho thấy luồng nhiệt thoát ra chủ yếu đi vào con lăn điện chứ không phải vào phần kim loại của chi tiết trục, và gây ra một hố sâu nhỏ tại vùng ảnh hưởng nhiệt, đồng thời giúp nâng cao độ cứng của kim loại hàn bởi tốc độ làm mát nhanh của nó.

Một điểm cần lưu ý đó là trong quá trình hàn có một phần kim loại nóng chảy tồn tại và tạo liên kết trong vùng hàn [108]. Tuy nhiên khi hàn có tác dụng của lực ép như vậy thì ở vùng hàn nóng chảy tại chỗ tiếp giáp của kim loại dây hàn và kim loại cơ bản sẽ có một phần kim loại nóng chảy không đóng góp vào quá trình hình thành mối hàn mà tồn tại ở dạng pha lỏng và thoát ra khỏi khu vực hình thành mối hàn.

2.3.3. Quá trình cân bằng nhiệt khi hình thành vùng hàn

Khi cung cấp một xung điện có cường độ lớn chạy qua giữa con lăn điện (2) và trục (1) (hình 2.15), kim loại của dây hàn phụ (3) bắt đầu nóng lên và lún xuống. Theo mức độ gia nhiệt và biến dạng của dây kim loại phụ, vùng hàn (4) và (5) sẽ lan rộng, tiếp xúc của nó với các bề mặt của chi tiết trục và con lăn điện sẽ tăng lên, và do đó tăng sự thoát nhiệt khỏi vùng hình thành mỗi hàn, đồng thời mật độ dòng điện sẽ giảm xuống. Sự kết tinh của dây kim loại sẽ kết thúc khi nhiệt độ được cân bằng, khi lượng nhiệt được tạo ra nhiệt điện trở và nhiệt thoát ra từ vùng hình thành mỗi hàn cân bằng nhau. Thời gian kết tinh hoàn toàn của phần kim loại bị nung nóng đến trạng thái dẻo của kim loại phụ là 0,02 ... 0,025s.

Phương trình cân bằng nhiệt khi hình thành một điểm hàn khi hàn lăn tiếp xúc phức hồi trục kim loại phụ dây thép có thể được viết như sau:

$$Q = Q_{CT} + Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (J) \quad (2.8)$$

Với Q_{CT} - lượng nhiệt cần thiết để nung nóng một phần kim loại giữa chi tiết trục và con lăn điện đến trạng thái dẻo. Q_1, Q_2, Q_3 - là nhiệt lượng của vùng hàn nóng chảy truyền vào chi tiết trục hàn, điện cực con lăn và dây hàn phụ sau thời gian của một xung điện.

Theo tài liệu [107] các nhiệt lượng thành phần được tính như sau:

$$Q_{CT} = c_d \cdot \rho_d \cdot V \cdot T \quad (J) \quad (2.9)$$

$$Q_1 = A_1 \cdot \sqrt{\alpha_1 \cdot t_i} \cdot c_1 \cdot \rho_1 \cdot T \quad (J) \quad (2.10)$$

$$Q_2 = A_2 \cdot \sqrt{\alpha_2 \cdot t_i} \cdot c_2 \cdot \rho_2 \cdot T \quad (J) \quad (2.11)$$

$$Q_3 = 0,25\pi d^2 \sqrt{\alpha_d \cdot t_i} \cdot c_d \cdot \rho_d \cdot T \quad (J) \quad (2.12)$$

Trong đó c_d, c_1, c_2 là nhiệt dung riêng trung bình lần lượt của kim loại dây hàn phụ, chi tiết trục và con lăn điện cực trong khoảng nhiệt độ từ 0 đến nhiệt độ gia nhiệt T của dây hàn phụ, tương ứng; ρ_d, ρ_1, ρ_2 là khối lượng riêng của kim loại; $\alpha_d, \alpha_1, \alpha_2$ là các hệ số khuếch tán nhiệt của kim loại dây hàn phụ, chi tiết trục và con lăn điện, d là đường kính dây hàn phụ. Các giá trị của thể tích V của kim loại phụ sau mỗi chu kỳ được làm nóng đến trạng thái dẻo của dây hàn và khu vực diện tích tiếp xúc A_1, A_2 giữa kim loại phụ với trục và con lăn điện được xác định ở mục 2.3.5.

Do độ dày của lớp phủ kim loại nhỏ, nên việc thoát nhiệt sang điểm hàn trước đó và trục liền kề của lớp phủ kim loại là không đáng kể.

Trong bốn thành phần của sự cân bằng nhiệt trong công thức (2.8), có 2 thành phần Q_1 và Q_2 di chuyển tới chi tiết trục hàn và con lăn điện, nói cách khác là hai

thành phần này không tham gia vào quá trình hình thành mối hàn nên nó được coi là các thành phần nhiệt hao tổn trong quá trình hàn. Do đó chỉ số hiệu suất năng lượng của quá trình hình thành bề mặt phủ kim loại khi hàn lăn tiếp xúc bằng [85,93]:

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q} \quad (\%) \quad (2.13)$$

2.3.4. Mối liên hệ giữa khả năng biến dạng dẻo của dây phụ đến độ bền liên kết hàn

Độ bền liên kết lớp hàn với nền khi hàn đắp phục hồi chi tiết trục thường khó xác định và nó chỉ được phát hiện trong quá trình gia công sau hàn hoặc sau khi đưa vào sử dụng thực tế. Vấn đề khó khăn này có thể được đánh giá thông qua mối liên hệ của độ bền liên kết hàn với khả năng biến dạng dẻo của dây hàn phụ cụ thể:

Khi hàn lăn tiếp xúc với bất kỳ phương pháp hàn áp lực nào thì sự phát triển mối liên kết của kim loại chính và kim loại hàn phụ phải có sự phù hợp và được xác định bởi sự biến dạng dẻo của chúng. Biến dạng của dây kim loại được kiểm soát dễ dàng có thể xem là chỉ số chất lượng độ bền cơ bản của mối hàn. Do đó thông số biến dạng của dây hàn phải dựa trên cơ sở phương pháp xác định độ bền mối hàn giữa bề mặt phủ và chi tiết máy đã được nghiên cứu:

Trong nghiên cứu [107] chỉ ra độ bền của mối hàn trong hàn phục hồi chi tiết trục bằng hàn lăn tiếp xúc với kim loại phụ dây thép được xác định bởi các mối quan hệ:

$$d\bar{\sigma} / dt = S.\lambda(t) \quad (2.14)$$

Với $\bar{\sigma}$ - là độ bền không thứ nguyên của mối liên kết tính bằng những đơn vị tương đối, là độ liên kết lớp hàn đắp với nền trong bất kỳ điều kiện hàn cụ thể nào với độ bền tối đa cho phép; S - diện tích tính bằng m^2 của một mối hàn; λ - tần số hình thành của các mối hàn đơn vị ($s^{-1}.m^{-2}$) có thể được thể hiện dưới dạng [120].

$$\lambda(t) = \varepsilon(t) / L.b \quad (2.15)$$

Trong đó $\varepsilon(t)$ - là tốc độ biến dạng (c^{-1}); L – khoảng cách dịch chuyển (m)
Mặt khác $L = \sqrt{\rho}$, (ρ - mật độ xáo trộn, m^{-2}); b - mô-đun vector Burgers (m).

Từ công thức (2.14) và (2.15) ta có:

$$d\bar{\sigma} / dt = S.\varepsilon(t) / L.b \quad (2.16)$$

Mặc dù phương trình tăng độ bền mối hàn trên (2.16) rất quan trọng, nhưng các nhà nghiên cứu lại quan tâm nhiều hơn đến mối quan hệ được suy ra từ giữa độ bền mối hàn $\bar{\sigma}$ và các thông số biến dạng ε .

Nghiên cứu [128] có mô tả thí nghiệm phương pháp hàn giáp mối hai thanh có đường kính 10 mm làm bằng thép austenite và ferrit ở nhiệt độ không đổi 180 °C. Mức độ biến dạng trong trường hợp này được xác định với "hệ số diện tích".

$$K = A_k/A_h \quad (2.17)$$

Với A_k - là diện tích cuối cùng mặt cắt ngang của mối hàn; A_h - mặt cắt ngang ban đầu của thanh hàn. Các thí nghiệm đã chỉ ra rằng độ bền của liên kết hàn có mối liên quan chặt chẽ với hệ số K. Các dữ liệu đưa ra đã khẳng định sự tồn tại mối liên hệ giữa độ bền của liên kết hàn và mức độ biến dạng trong bề mặt tiếp xúc khi áp dụng các phương pháp hàn khác nhau mà không bị nóng chảy, điều này cũng được nói đến trong nghiên cứu [121].

Nghiên cứu của tác giả Nafikov M.Z trong công trình [86] đã chỉ ra những vấn đề không hợp lý trong công thức (2.16) với lý do về mặt toán học, chúng ta không thể lấy vi phân chính xác phương trình tăng độ bền mối hàn trong điều kiện hàn lăn tiếp xúc. Lý do nằm ở chỗ không một thông số nào của vế bên phải phương trình là được biết trước. Trên lý thuyết, không có giá trị nào của S, L, b theo các dạng vật liệu khác nhau đối với những điều kiện hàn lăn tiếp xúc cụ thể. Giá trị của những thông số này chỉ được biết trước đối với một số vật liệu hóa học tinh khiết trong điều kiện chân không cao. Trước khi tích phân, ta không thể biết sự phụ thuộc của tốc độ biến dạng ϵ vào độ dài xung điện chạy qua. Bên cạnh đó, dây kim loại hàn khi hàn lăn tiếp xúc phải trải qua biến dạng dẻo ba chiều phức tạp và không đồng nhất, và không thể xác định thông số ϵ một cách chính xác. Đồng thời Nafikov M.Z cũng chỉ ra rằng đại đa số nghiên cứu quá trình hàn lăn tiếp xúc thì thành phần xuyên tâm của biến dạng dẻo được sử dụng như một thông số kiểm soát độ biến dạng dẻo của dây hàn. Việc sử dụng tính chất kết tinh của dây hàn như một thông số đo lường và kiểm soát dường như không đem lại kết quả (công thức 2.17) bởi những lý do sau đây: Thứ nhất, rất khó để đo lường biến dạng xuyên tâm của dây hàn khi hàn liên tục chi tiết trực tiếp theo đường xoắn ốc cùng với các đường hàn liền kề gối lên nhau. Chỉ có thể đo được một cách chính xác trong trường hợp hàn trên một diện tích hàn không gối lên nhau. Điều đã này được kiểm nghiệm trong thực tế [107]. Điều kiện gia nhiệt và biến dạng của dây hàn khi hình thành khu vực hàn riêng biệt khác rất nhiều so với các điều kiện hàn thực tế. Trường hợp này không tính đến việc phân dòng của dòng điện hàn. Thứ hai, độ dày của lớp phủ kim loại δ phụ thuộc vào bước hàn S_t - sự phủ chòm lên nhau của đường hàn liền

kề càng lớn – thì độ dày của lớp phủ kim loại δ càng lớn. Kết tinh của dây kim loại theo hướng kính không thể hiện trực tiếp đặc điểm cường độ quá trình biến dạng xảy ra trong mặt phẳng tiếp giáp của kim loại hàn và kim loại cơ bản.

Với những lý do như đã trình bày, Nafikov M.Z trong công trình [86] đã đi xác định thực nghiệm về mối quan hệ giữa độ bền không thứ nguyên của liên kết hàn và biến dạng tương đối của dây hàn, ông sử dụng thành phần biến dạng dọc trục của dây hàn phụ (đo chiều dài dây hàn trước khi hàn và chiều dài số vòng dây quấn theo đường xoắn ốc trên trục hàn) như là một căn cứ khi phán đoán và đưa ra công thức tính như sau:

$$\bar{\sigma} = \sigma / \sigma_{\max} = k \cdot \varepsilon_y^m + C \quad (2.18)$$

$$\varepsilon_y = \frac{L_{dd} - L_{bd}}{L_{bd}} \quad (\%) \quad (2.19)$$

Với σ - là độ bền mỗi hàn của bề mặt phủ với bề mặt kim loại cơ bản trong điều kiện hàn cụ thể, MPa; σ_{\max} - là độ bền giới hạn của mỗi hàn, tương đương với độ bền phá hủy của kim loại cơ bản của trục, MPa; ε_y - là độ biến dạng tương đối của dây hàn phụ theo hướng dọc trục (L_{dd} – độ dẫn dài của dây hàn phụ đo được sau quá trình hàn; L_{bd} - chiều dài dây hàn phụ đo được trước khi hàn); k và m - là hệ số thực nghiệm không thứ nguyên; C - tích phân không thứ nguyên cố định, thể hiện rằng sự hình thành liên kết hóa học của các bề mặt liên kết được bắt đầu với một biến dạng nhỏ (ngưỡng) của dây hàn. Các hệ số thực nghiệm này được thực nghiệm trên một số vật liệu thép cacbon có thành phần cacbon khác nhau bằng phương pháp kéo chốt cho thấy độ lệch chuẩn từ kết quả thu được bằng kiểm tra phá hủy bằng phương pháp kéo chốt với công thức tính toán độ biến dạng dài của dây là 0,0668.

2.3.5. Diện tích tiếp xúc và diện tích mỗi hàn

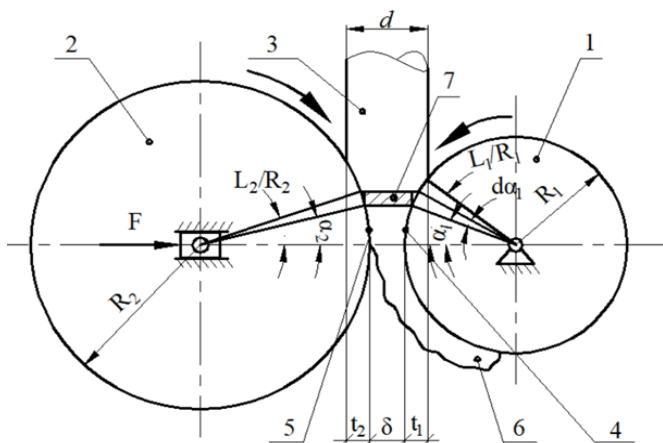
Muốn tính được diện tích tiếp xúc một mỗi hàn cần phải hiểu khái niệm phạm vi một mỗi hàn khi hàn lăn tiếp xúc.

Khi hàn dây hàn 3 bị nung nóng bởi xung điện theo chu kỳ, và liên kết bởi lực ép từ phía điện cực con lăn 2. Sau một chu kỳ kéo dài t_i trên bề mặt trục 1 (hình 2.15) sẽ hình thành phạm vi một mỗi hàn có chiều dài L, chiều rộng bằng một bước tiến hàn S dọc theo một đường xoắn ốc, và chiều cao tương đương với độ dày δ của lớp phủ kim loại 4 có dạng hình bán elip như (hình 2.16-a) [81,105].

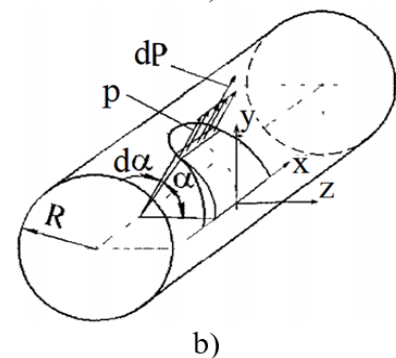
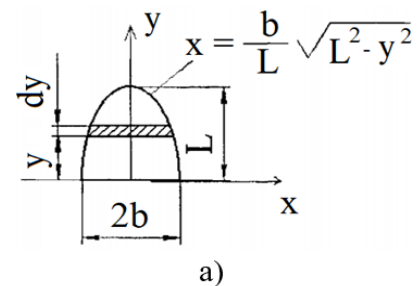
Quá trình hình thành một liên kết của dây hàn phụ và kim loại cơ bản khi hàn lăn tiếp xúc chủ yếu được xác định bởi các quá trình biến dạng xảy ra trong vùng tiếp xúc.

Vấn đề định hình dây hàn có vai trò vô cùng quan trọng, và vẫn chưa được làm rõ [63,107]. Để nghiên cứu sâu hơn về quy luật hình thành mối hàn trên bề mặt rắn thì cần phải xem xét biến dạng dẻo của dây kim loại, trong đó có tính đến các lực tác dụng lên kim loại phụ và các áp lực có thể tác động lên nó. Những yêu cầu trên đưa đến một hướng đi thực tế trong quy trình công nghệ cho phép phát triển các đề xuất để nâng cao chất lượng phục hồi.

Việc nghiên cứu quá trình biến dạng của dây hàn phụ phải được thực hiện bằng cách áp dụng phương pháp lý thuyết dẻo [30,94]. Bài toán biến dạng dẻo khi hàn lăn tiếp xúc cực kỳ phức tạp. Kim loại hàn phải chịu tác dụng của lực đồng thời từ hai phía (trục hàn và con lăn điện) ở trạng thái lực tác dụng phức tạp và phải chịu một biến dạng dẻo ba chiều. Dây kim loại khi đó cũng bị nóng chảy và cán mỏng. Khi nhiệt độ và độ đàn hồi của dây kim loại hàn thay đổi theo mức độ xung điện chạy qua thì sẽ hình thành kết cấu kim loại trong mối liên kết giữa trục và dây kim loại phụ. Có thể nói đa số trường hợp xảy ra thì bài toán thể tích của lý thuyết dẻo là rất khó nắm bắt và phức tạp [30,94]. Một phương pháp đã được thực hiện cho phép xác định kích thước hình học của các mối liên kết và độ bao phủ của chúng theo chiều dài của trục hàn khi hàn lăn tiếp xúc các trục [85,88,89].



Hình 2.15. Sơ đồ hình thành lớp phủ kim loại khi hàn lăn tiếp xúc



(a) kim loại hàn, (b) ứng suất của phần tử biến dạng

Hình 2.16. Biến dạng của vùng tiếp xúc giữa bề mặt trục với dây hàn phụ

Dây hàn 3 (đường kính d) được siết chặt vào trục 1 (bán kính R_1) bởi con lăn điện hàn 2 (bán kính R_2) bằng lực F . Khi xung điện chạy qua, kim loại hàn (dây hàn) nóng chảy và kết tinh, tạo thành các vùng tiếp xúc 4 và 5 với chiều dài cung tiếp xúc L_1 và L_2 tương ứng với bề mặt của trục hàn và điện cực con lăn. Phần kết tinh của dây kim loại t_1 từ phía trục, lớn hơn là độ lún t_2 từ phía con lăn điện vì $R_2 \gg R_1$. Đường hàn 6 của lớp kim loại phủ có độ dày là δ . Trong kim loại hàn có tách riêng lăng trụ cơ sở 7 với chiều rộng f , vị trí của nó được xác định bởi các góc α_1 và α_2 .

Từ sơ đồ (hình 2.15) có thể nhìn ra mối quan hệ hình học:

$$t_1 + t_2 + \delta = d \quad (2.20)$$

$$\cos \alpha_{1,2} = (R_{1,2} - t_{1,2})/R_{1,2} \quad (2.21)$$

$$L_{1,2} = R_{1,2} \cdot \alpha_{1,2}^{\max} \quad (2.22)$$

Theo cách đo lường nóng chảy trong quá trình biến dạng thì sẽ bao gồm tất cả khối lượng mới của kim loại hàn. Cùng với sự kết tinh, thì kích thước của các vùng tiếp xúc sẽ tăng lên và việc truyền nhiệt qua các khu vực này đến kim loại của trục và con lăn điện cực cũng tăng lên. Ở trạng thái cân bằng nhiệt, khi lượng nhiệt được sinh ra bằng với lượng nhiệt mất đi, thì kết tinh dây kim loại sẽ kết thúc. Ở trạng thái này, nhiệt độ của kim loại hàn không thay đổi, nó gần bằng với nhiệt độ nóng chảy, và các tính chất của thép gần với tính chất của chất lỏng đặc và nhớt. Khi kết tủa, lượng thép hàn được nung nóng cũng như các bộ phận của vùng tiếp xúc bị biến dạng mạnh nhất và áp suất tại đó cũng là lớn nhất. Do đó, nghiên cứu [107] cho rằng áp suất và nhiệt độ của kim loại hàn trên diện tích tiếp xúc được cân bằng (Hình 2.14) sẽ tạo cơ sở chỉ để tính đến thành phần thủy tinh của ứng suất pháp tuyến trong các liên kết.

Thời gian biến dạng dẻo của dây hàn không vượt quá một phần trăm giây [107], do đó dạng biến dạng dây hàn phổ biến nhất là kết tinh hướng tâm chứ không phải là sự dát mỏng dây kim loại giữa trục và con lăn điện. Một yếu tố không kém phần quan trọng trong việc đưa ra các giả định là mặt cắt dây kim loại và kích thước của các khu vực tiếp xúc nhỏ hơn (2-3 lần) đường kính của trục và con lăn điện, còn các góc trung tâm α_1^{\max} , α_2^{\max} được thể hiện trong (hình 2.15) là rất nhỏ.

Tại vùng tiếp xúc (hình 2.15) chọn một phần tử được xem là cạnh bên của khối trụ cơ sở trong hình. Diện tích của phần tử đã chọn là:

$$dA = R.d\alpha.2x = 2\frac{b}{L}\sqrt{L^2 - R^2}.\alpha^2.R.d\alpha \quad (2.23)$$

Coi ứng suất pháp tuyến hoạt động vuông góc với vị trí được xem xét bằng với giới hạn chống lại biến dạng dẻo (giới hạn đàn hồi) của vật liệu hàn ở một nhiệt độ nhất định.

Phép chiếu của lực nhỏ $dP = \sigma_T \cdot dA$ tác động lên phần tử đã chọn lên chu trình hoạt động của lực P trên con lăn điện là:

$$dP_z = \sigma_T \cdot 2 \frac{b \cdot R^2}{L} \sqrt{(L^2 / R^2) - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (2.24)$$

Tổng hợp các phép chiếu của các lực cơ bản tác dụng lên vật liệu hàn từ phía của trục và từ phía con lăn điện, chúng ta có:

$$F = 2\sigma_T \cdot \frac{b_{1,2} \cdot R_{1,2}^2}{L_{1,2}} \cdot \int_0^{L_{1,2}/R_{1,2}} \sqrt{(L_{1,2} - R_{1,2})^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (2.25)$$

Do đó ta có được một phương trình bổ sung có liên quan đến chiều dài của các khu vực tiếp xúc:

$$\frac{b_1 \cdot R_1^2}{L_1} \cdot \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1 - R_1)^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{b_2 \cdot R_2^2}{L_2} \cdot \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{(L_2 - R_2)^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (2.26)$$

Khi dây hàn biến dạng không đáng kể, như (hình 2.15) thì tỷ lệ giữa các thông số biến dạng của dây hàn từ phía trục và từ con lăn điện ($R_1 \ll R_2$) như sau: $t_1 \gg t_2$, $L_1 < L_2$, $b_1 > b_2$.

Khi dây hàn biến dạng lớn, kích thước của các bán trục b_1 và b_2 cách biệt không lớn, còn khi hàn dọc theo đường xoắn ốc thì các kích thước trên lại trùng khớp, tức là $b_1 = b_2 = b$, trong đó b là chiều rộng của con lăn khi hàn theo đường xoắn ốc. Cần đặc biệt lưu ý đến trường hợp hàn trục dọc theo một đường dây xoắn ốc trong điều kiện đảm bảo sự biến dạng lớn của dây hàn ($\varepsilon_y > 0,3$). Chỉ trong trường hợp biến dạng lớn như vậy mới có thể đảm bảo chất lượng hàn của bề mặt kim loại phủ trên bề mặt chính. Phương trình (2.26) khi đó được đơn giản hóa và có dạng:

$$\frac{R_1^2}{L_1} \cdot \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1 - R_1)^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{R_2^2}{L_2} \cdot \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{(L_2 - R_2)^2 - \alpha^2} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha \quad (2.27)$$

Phương trình (2.27) là phương trình gần đúng với sự cân bằng kim loại hàn ở cuối giai đoạn kết tinh của dây kim loại. Kết hợp với phương trình (2.20, 2.21, 2.22), ta có thể xác định kích thước của vùng tiếp xúc.

Việc giải hệ phương trình (2.20, 2.21, 2.22, 2.27) liên quan đến những khó khăn về mặt toán học. Vấn đề có thể được đơn giản hóa như sau. Các tích phân xác định trong phương trình (2.26) và (2.27) chính là các phép chiếu của các vùng tiếp xúc trên một mặt phẳng vuông góc với đường tác động của lực F. Chúng ta có thể giả định rằng hình chiếu của những đường cong nửa hình elip trên mặt phẳng xy cũng là một nửa hình elip. Như vậy các bán trục về mặt hình học của dây kim loại khi biến dạng lớn là bằng nhau ($b_1 = b_2 = b$). Do đó, hai hình chiếu của đường cong tiếp xúc lên trục y là bằng nhau, tức là tọa độ y của L_1 bằng tọa độ y của L_2 .

Trong trường hợp này:

$$R_1^2 - (R_1 - t_1)^2 = R_2^2 - (R_2 - t_2)^2 \quad (2.28)$$

Việc thay thế phương trình cân bằng (2.27) bằng phương trình (2.28) làm đơn giản hoá việc tính toán, nhưng ảnh hưởng đến độ chính xác của phép tính.

Cũng có thể tính toán kích thước của vùng tiếp xúc bằng cách sử dụng phương trình xấp xỉ được áp dụng khi cán vật liệu [88,89].

$$y_{L_1} = y_{L_2} = \sqrt{2R_1.R_2.(t_1 + t_2) / (R_1 + R_2)} \quad (2.29)$$

Để tính toán thể tích của vật liệu hàn biến dạng dẻo sau một chu kỳ hàn. Để làm điều này cần xác định kích thước hình học của lăng trụ cơ sở 7 trong (hình 2.15).

Chiều dài của lăng trụ cơ sở:

$$f = R_1 - R_1 \cos \alpha_1 + R_2 - R_2 \cos \alpha_2 - \delta;$$

$$R_1 \sin \alpha_1 = R_2 \sin \alpha_2$$

$$\cos \alpha_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \cdot \sin \alpha_1 \right)^2};$$

$$f = R_1 + R_1 + \delta - R_1 \cos \alpha_1 - \sqrt{R_2^2 - R_1^2 \cdot \sin^2 \alpha_1} \quad (2.30)$$

Chiều rộng của lăng trụ cơ sở:

$$2x = 2b \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{L_1^2}} = \frac{2b \cdot R_1}{L_1} \cdot \sqrt{(L_1 / R_1)^2 - \alpha^2} \quad (2.31)$$

Chiều cao của lăng trụ cơ sở:

$$dh = R_1 \cdot d\alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 \quad (2.32)$$

Tổng thể tích của lăng trụ:

$$dV = f \cdot 2x \cdot dh \quad (2.33)$$

Tổng thể tích của kim loại hàn biến dạng dẻo, nằm giữa trục và con lăn điện:

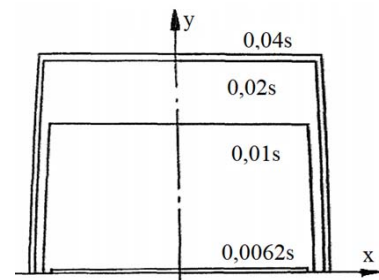
$$V = \frac{2b.R_1}{L_1} \int_0^{L_1/R_1} \sqrt{(L_1/R_1)^2 - \alpha_1^2} \cdot (R_1 + R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1 - \sqrt{R_2^2 - R_1^2 \cdot \sin^2 \alpha_1}) \cdot \cos \alpha_1 \cdot d\alpha_1 \quad (2.34)$$

2.3.6. Động học hình thành liên kết hàn

Hiện nay, động học hình thành một mối hàn khi hàn lăn tiếp xúc thực tế không được nghiên cứu. Tính quy luật hình thành lớp phủ kim loại đã nêu trong các phần trước cho phép xác định thời điểm bắt đầu hình thành mối hàn khi hàn trực bằng phương pháp hàn lăn tiếp xúc, và cũng để theo dõi sự thay đổi trong vùng hình thành liên kết khi tác động xung điện.

Đã có nhiều thí nghiệm được thực hiện để nghiên cứu động học hình thành một mối liên kết giữa bề mặt phủ và bề mặt chính. Trong các thí nghiệm, tất cả các thông số kỹ thuật đều được cố định ngoại trừ thời gian xung điện chạy qua. Thời gian của xung chạy qua được điều chỉnh bởi một bộ ngắt dòng thyristor có phân cấp. Sau mỗi lần hàn thử lại xác định được độ biến dạng trục tương đối của dây kim loại dây hàn ε_y theo công thức (2.19), cũng như độ bền kết dính của bề mặt phủ kim loại với bề mặt chính $\bar{\sigma}$ bằng cách tách các chốt từ lớp hàn và đưa ra kết luận động học của sự phát triển vùng hình thành mối liên kết khi xung điện chạy qua có thể được xác định theo (hình 2.17).

Trên thực tế việc lan rộng diện tích của vùng hình thành liên kết này được hoàn thành sau 0,020...0,025 giây. Ngoài ra, giá trị xung điện $t_i = 0,04s$ chính là độ dài tối ưu mà xung điện chạy qua. Các nghiên cứu về kim loại cũng cho thấy với giá trị này các quá trình chôn lún được hoàn thành 100%, còn các hạt chung sẽ được hình thành tại vùng liên kết giữa kim loại cơ bản và kim loại phụ [86].



Hình 2.17. Sự thay đổi kích thước của vùng hình thành mối hàn trong giới hạn của khu vực tiếp xúc khi xung điện chạy qua

2.3.7. Đặc điểm hình thành mối hàn khi hàn lăn tiếp xúc dây thép hợp kim

Nói chung, thành phần hợp kim trong thép làm giảm tính hàn của chúng trong hàn tiếp xúc [136]. Ở một chừng mực nào đó thì cacbon là ngoại lệ. Một mặt, sự gia tăng hàm lượng C trong thành phần thép ảnh hưởng không tốt đến khả năng hàn của nó. Mặt khác, cacbon là chất khử oxy giúp thúc đẩy quá trình hòa tan và phá hủy các lớp oxit và màng oxit tại phần tiếp xúc giữa kim loại chính và kim loại phụ, đồng thời thúc đẩy sự hình thành các liên kết hóa học.

Khi hàn dây kim loại phụ từ thép cacbon trong điều kiện tối ưu có thể đạt được độ bền của một mối hàn giữa lớp phủ và lớp nền có thể gần bằng với độ bền phá hủy kim loại cơ bản của chi tiết máy, nghĩa là giá trị $\bar{\sigma}$ có thể gần bằng 1,0. Khi hàn với dây hợp kim thì giá trị này thấp hơn và nó phụ thuộc vào thành phần nguyên tố hợp kim, hàm lượng nguyên tố hợp kim có trong dây hàn phụ. Điều này được giải thích bởi lý do chính là tốc độ biến dạng chậm khi gia tăng nhiệt thể tích kim loại hàn [104,136]. Khi hàn, rất khó để chôn (dát mỏng) dây kim loại phụ làm từ hợp kim. Đặc biệt rất khó để hàn thép chịu nhiệt và thép dụng cụ bởi những loại thép này vẫn giữ được tính đàn hồi dù cho nhiệt độ gia nhiệt tăng cao.

Điều kiện hàn dây thép hợp kim thực chất rất khác so với điều kiện hàn dây kim loại phụ làm từ thép cacbon. Khi chế độ hàn dây hợp kim mà áp dụng cho dây cacbon, thì kim loại phụ được làm nóng, tan chảy và tràn ra khỏi vùng hình thành mối liên kết, còn trên bề mặt hàn sẽ hình thành những chỗ khuyết dạng vỏ sò.

Khu vực tiếp xúc nơi mối hàn được hình thành khi hàn dây thép hợp kim bằng phương pháp hàn lăn tiếp xúc sẽ nhỏ hơn so với khi hàn dây kim loại làm từ thép cacbon trong điều kiện hàn gần như tối ưu. Do đó, để đảm bảo chất lượng bề mặt phủ kim loại khi hàn dây kim loại phụ từ thép hợp kim, thì giá trị lớn của hệ số phủ chòm K_y phải lớn (không nhỏ hơn 0,4 ... 0,45). Đối với sự biến dạng dây kim loại phụ làm từ thép hợp kim có giới hạn sức chịu biến dạng dẻo cao, cần phải tác động một lực ép lớn hơn trong trường hợp hàn dây kim loại phụ làm từ thép cacbon. Có thể đi đến kết luận rằng khi hàn phục hồi chi tiết dạng trục bằng hàn lăn tiếp xúc với kim loại phụ dây thép hợp kim phải hàn với tốc độ thấp hơn và lực tác dụng từ phía con lăn điện cũng cần phải lớn hơn trường hợp hàn dây hàn phụ làm từ thép cacbon thông thường.

2.4. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng lớp hàn đắp

Trong quá trình hàn ngoài việc thực hiện theo quy trình, các bước công nghệ phù hợp thì các thông số chế độ công nghệ đóng vai trò hết sức quan trọng. Nó quyết định đến sự thành công hay không của quá trình thực hiện công nghệ và chất lượng hàn.

Thông số của công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi trục vật liệu phụ dây thép là tổ hợp của các thông số chế độ công nghệ nhằm tạo được lớp hàn đắp có độ cứng, độ bền mòn, độ bền liên kết giữa lớp đắp với trục hàn cơ bản là tốt nhất. Trong công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép nói riêng và công nghệ hàn nói chung thì các thông số công nghệ hàn đều có ảnh hưởng với mức độ khác nhau tới quá trình thực hiện công nghệ cũng như chất lượng liên kết hàn.

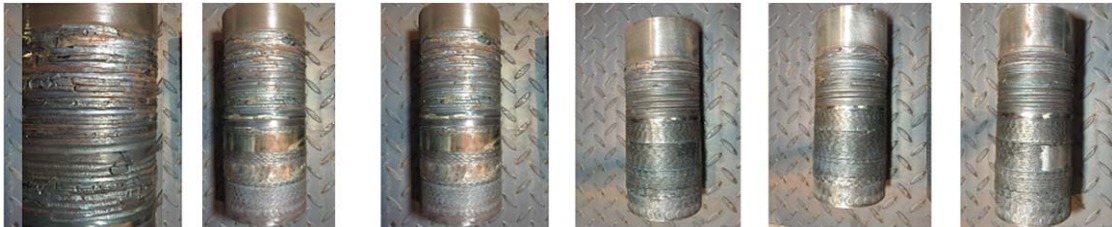
Trong công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép có nhiều thông số có ảnh hưởng đến công nghệ và chất lượng liên kết hàn như: Vật liệu

và đường kính dây hàn phụ, kích thước điện cực con lăn, dòng điện hàn I_h , thời gian hoạt động và nghỉ của xung điện hàn t_i , t_n , lực ép từ phía điện cực con lăn F , tốc độ quay chi tiết trục hàn V_h , bước tiến S_t của trục hàn sau mỗi vòng quay xoắn ốc...

2.4.1. Ảnh hưởng của cường độ dòng điện hàn (I_h)

Ảnh hưởng đến năng lượng nhiệt đầu vào của quá trình hàn, năng suất hàn cũng như độ bền liên kết của lớp hàn đắp với trục hàn cơ bản, ngoài ra I_h còn ảnh hưởng đến các thông số khác của quá trình hàn như thời gian xung điện, lực ép điện cực...

+ Dòng hàn quá nhỏ hoặc bị tổn hao quá nhiều ở các bộ phận truyền dẫn, lượng nhiệt sinh ra không đảm bảo cho bề mặt hàn đạt đến trạng thái hàn (chảy dẻo tại bề mặt tiếp xúc), khi đó kim loại hàn có thể chỉ xảy ra trạng thái biến dạng dẻo của dây hàn và bề mặt trục cơ bản mà không tạo thành liên kết hàn. Hiện tượng này được thể hiện rất rõ thông qua các mẫu thí nghiệm thăm dò chế độ công nghệ của chính tác giả thông qua hình ảnh trên hình 2.18.



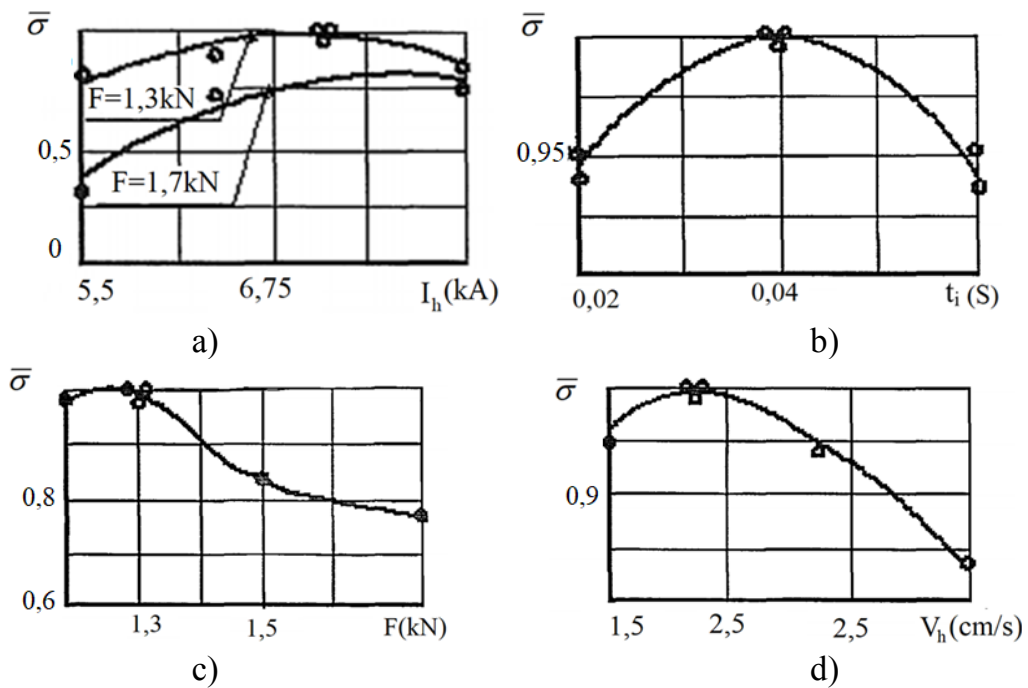
Hình 2.18. Các mẫu trục hàn với dòng hàn nhỏ, tổn thất nhiệt qua bộ phận truyền dẫn, thời gian xung điện quá dài

+ Với việc tăng dòng điện hàn (I_h) thì độ bền liên kết cũng tăng bởi sự tăng mạnh nhiệt lượng ở vùng hàn. Tuy nhiên khi tác dụng một lực nhỏ lên điện cực con lăn, sự dư thừa cường độ dòng điện hàn sẽ dẫn đến việc bắn tia lửa và xuất hiện những vết bắn tóe kim loại. Sự quá nhiệt của kim loại phụ với lực tác dụng mạnh lên điện cực con lăn làm cho kim loại chảy dẻo quá mức và tràn ra phần rìa chưa hàn của trục gây nên hiện tượng oxit bề mặt và làm cản trở quá trình hàn. Các kim loại quá nhiệt này nếu chuyển sang trạng thái nhớt dính có thể bị dính và cuốn theo điện cực lăn làm tróc rỗ bề mặt chi tiết trục phục hồi. Do đó độ bền của liên kết hàn thu được sẽ bị giảm, đồng thời bề mặt lớp phủ tạo ra các lớp sần sùi dạng vỏ xò, và các lỗ rỗ trên bề mặt [86,107]. Hiện tượng này được thấy rõ trên hình 2.19 khi tác giả thực hiện các mẫu thăm dò chế độ công nghệ.



Hình 2.19. Các mẫu trục hàn với dòng điện hàn lớn

Từ các công trình nghiên cứu [86,107], khi hàn lăn tiếp xúc phục hồi trục thép cacbon trung bình có đường kính 50mm với vật liệu phụ dây thép cacbon chất lượng tốt, cho thấy dòng điện hàn có ảnh hưởng lớn đến độ bền liên kết của kim loại đắp với kim loại trục cơ bản được thể hiện thông qua đồ thị (hình 2.20-a). Qua đồ thị cho thấy dòng điện hàn phù hợp để hình thành liên kết hàn đắp phục hồi có chất lượng độ bền liên kết $\bar{\sigma}$ tốt cho quá trình hàn lăn tiếp xúc phục hồi trục thép có đường kính 50mm với dây hàn phụ đường kính 1,8mm ở khoảng từ 5,5 đến 8kA.



a - cường độ dòng điện hàn; b - thời gian xung điện; c - lực ép điện cực; d - tốc độ hàn

Hình 2.20. Sự phụ thuộc của độ bền liên kết lớp hàn vào I_h ; t_i ; t_n ; F ; V_h

2.4.2. Thời gian xung điện (t_i , t_n)

Nếu thời gian xung điện quá nhỏ sẽ không đảm bảo cho quá trình chôn lún của dây hàn phụ được hoàn thành, xung điện lọt qua khu vực tiếp xúc không bao trùm trên toàn bộ bề mặt khi đó quá trình liên kết xảy ra không hoàn toàn và là nguyên nhân làm giảm độ bền của liên kết hàn.

Thời gian xung điện quá dài, kim loại bị biến dạng trong phạm vi lớn, bề mặt tiếp xúc quá nhiều làm cho dòng điện bị phân tán và giảm xuống. Năng lượng nhiệt bị phân tán nên liên kết hàn có thể chỉ xảy ra biến dạng dẻo bề mặt mà không tạo nên mối hàn có độ liên kết ổn định. Điều này đã xảy ra với một số mẫu hàn thăm dò được tác giả thực hiện thông qua hình ảnh trên hình 2.18.

Từ các công trình nghiên cứu [63,89,107], cũng như những trình bày ở mục 2.3.6 đã chỉ ra rằng thời gian xung điện cho quá trình chôn lún của dây hàn phụ phù hợp nhất ở mức $t_i = 0,04s$ và thời gian dừng giữa các xung là $t_n = 0,08s$ đối với dây hàn phụ có đường kính 1,8mm. Thời gian xung điện cũng là một yếu tố có ảnh hưởng lớn đến độ bền liên kết của lớp kim loại hàn đắp với kim loại trực cơ bản được thể hiện trên hình 2.20-b.

Trên đồ thị hình hình 2.20-b cho thấy thời gian để gia nhiệt làm biến dạng dẻo dây hàn phụ từ $0,02 \div 0,06s$. Nhưng thời gian $t_i = 0,04s$ là khoảng thời gian mối hàn bị chôn lún hoàn toàn và tạo được độ bền liên kết cao nhất giữa kim loại lớp phủ với kim loại trực cơ bản.

2.4.3. Ảnh hưởng của lực ép điện cực con lăn (F)

Lực ép điện cực con lăn tạo nên tiếp xúc vật lý ban đầu. Khi có xung điện chạy qua vị trí tiếp xúc, dây kim loại phụ bị nung nóng, nhanh chóng đạt đến trạng thái dẻo. Tại thời điểm này lực ép duy trì tạo lên sự chôn lún của dây phụ và khi đó liên kết hàn được hình thành.

Một số tài liệu [86,107] chỉ ra rằng khi kết hợp một dòng xung điện hợp lý với một lực ép ở mức thấp sẽ tạo nên liên kết hàn có độ bền tốt. Nhưng nếu quá thấp dưới mức phù hợp có thể gây ra ảnh hưởng cho quá trình tiếp xúc vật lý ban đầu không tốt gây bắn tóe tia lửa điện, trong quá trình chôn lún không có được sự tiếp xúc hoàn toàn những bề mặt liên kết. Những nguyên nhân này gây ảnh hưởng xấu tới việc hình thành bề mặt liên kết và làm giảm chất lượng liên kết hàn. Ngoài ra hiện tượng bắn tia lửa điện còn gây ra các hỏng hóc trên bề mặt điện cực con lăn.

Như trình bày ở phần 2.4.1 nếu lực ép điện cực quá lớn với dòng xung điện mạnh sẽ gây ra hiện tượng kim loại phụ bị biến dạng quá mức, kim loại bị ép tràn và bắn tóe làm xấu quá trình hình thành liên kết hàn đồng thời làm giảm chất lượng liên kết hàn thể hiện trên (hình 2.19).

Từ những phân tích trên, các công trình nghiên cứu [86,107] thể hiện trên đồ thị (hình 2.20-c) cho thấy độ bền liên kết lớp hàn đắp đảm bảo chất lượng trong khoảng

1,2 đến 1,7 kN đối với trục hàn làm từ vật liệu thép cacbon trung bình có đường kính 50mm và dây hàn phụ có đường kính 1,8mm làm từ vật liệu thép đàn hồi.

2.4.4. Ảnh hưởng của tốc độ hàn (V_h)

Nếu tốc độ hàn quá nhanh vượt qua phạm vi phù hợp thì độ bền liên kết sẽ giảm. Có một vài nguyên nhân dẫn tới hiện tượng này. Khi tăng tốc độ hàn, đồng thời làm giảm thời gian nung nóng bề mặt tiếp xúc dưới lực ép của điện cực con lăn. Nung nóng không đủ sẽ gây ảnh hưởng cho quá trình nở lỏng ứng suất khối ở khu vực nung nóng của biến dạng. Phần xác lập các liên kết kim loại của các nguyên tử trên bề mặt liên kết sẽ bị phá hủy [69]. Nguyên nhân chính làm giảm độ bền liên kết hàn khi hàn ở tốc độ cao là do các bề mặt tiếp xúc mà tại đó hình thành liên kết hàn không hòa lẫn vào nhau, hoặc các lớp đắp kim loại thu được là không có sự phủ chòm liên tục.

Nếu tốc độ hàn quá chậm, dưới tốc độ phù hợp thì độ bền liên kết cũng thấp hơn độ bền tối đa có thể. Trường hợp này bề mặt lớp hàn dọc theo chiều dài của trục với độ che phủ lớn sẽ làm giảm điện trở tiếp xúc trung gian, sự phân luồng dòng điện (dòng mạch rẽ) [66,67,75] tăng lên thông qua những vùng hàn được hình thành trước đó và nó làm giảm sự tỏa nhiệt năng trực tiếp tại vùng hình thành liên kết hàn.

Từ những phân tích các công trình nghiên cứu [86,107] được thể hiện trên hình 2.20-d cho thấy tốc độ hàn có khả năng tạo ra lớp hàn đắp cho chất lượng ổn định từ 1,5÷2,5cm/s đối với trục hàn thép cacbon có đường kính 50mm và dây hàn phụ thép đàn hồi có đường kính 1,8mm.

2.4.5. Ảnh hưởng của bước tiến hàn (St)

Nếu tăng tốc độ bước tiến theo đường xoắn ốc quá phạm vi phù hợp, kết quả thu được các đường hàn đắp không có sự phủ chòm lên nhau. Nói cách khác là các đường hàn này để lại các khe hở, hàn không thấu sau mỗi đường xoắn vít. Như vậy lớp hàn đắp hình thành không trên toàn bộ chiều dài trục, không được bảo đảm cho điều kiện làm việc của trục sau phục hồi.

Nếu bước tiến hàn theo đường xoắn ốc quá thấp sẽ ảnh hưởng mạnh đến cấu trúc của lớp phủ kim loại. Đồng thời làm tăng chiều dày lớp phủ của đường hàn liên kề, tăng chiều rộng vùng ram. Do đó làm giảm độ cứng, giảm độ bền mòn của lớp phủ bề mặt. Đồng thời tạo ra một lớp phủ hàn không đồng đều về cấu trúc trên dọc chiều dài của đoạn trục hàn.

Từ phân tích của các kết quả nghiên cứu [92,107] đã chỉ ra bước tiến hàn có ảnh hưởng lớn đến độ cứng và độ bền mòn của lớp phủ, kết hợp với thực nghiệm thăm dò

cho thấy bước tiến hàn đảm bảo sự chồng chéo phù hợp trong khoảng từ 2 đến 3mm trên một vòng quay của chi tiết trục đối với dây hàn phụ đường kính 1,8mm.

2.4.6. Ảnh hưởng của lưu lượng nước làm mát (Q_n)

Với việc tăng lượng chất lỏng làm mát và bố trí khối chất lỏng gần vùng hàn hơn, rõ ràng sẽ làm giảm hiệu quả của quá trình hàn điện tiếp xúc [117]. Nói cách khác nếu trục khi hàn bị làm nguội khốc liệt thì chế độ nhiệt cho quá trình hàn bị tổn thất lớn. Tuy nhiên việc sử dụng nước làm mát lại làm tăng độ cứng lớp kim loại hàn đắp. Nếu tăng cường lưu lượng chất lỏng làm mát quá giới hạn cho phép tại vùng hàn có thể gây gián đoạn quá trình hàn do năng lượng nhiệt bị mất mát, thậm chí gây nứt bề mặt lớp hàn do tốc độ nguội xảy ra quá lớn.

Với mục tiêu là đảm bảo tốt nhất cho một cấu trúc đồng nhất và độ bền mòn của lớp phủ thì những chế độ làm nguội nhẹ được khuyến cáo với việc sử dụng có chùng mực chất lỏng làm mát ngoại trừ việc chất lỏng bị rơi trực tiếp vào vùng hàn.

Trên các phân tích sự ảnh hưởng của I_h , F , V_h , t_i , t_n , S_t , Q_n , cho thấy thông số lưu lượng nước làm mát Q_n là thông số phụ với mục đích làm tăng độ cứng bề mặt hàn đắp. Thông số xung điện hàn t_i , t_n đã được một số nghiên cứu chỉ ra mức tối ưu cho dây hàn 1,8mm là $t_i = 0,04s$; $t_n = 0,08s$. Thông số S_t chủ yếu để đảm bảo khu vực che phủ và hạn chế vùng ram. Các thông số còn lại I_h , F , V_h là các tham số trực tiếp làm thay đổi năng lượng nhiệt, cơ chế hình thành mối hàn nên được nghiên cứu lựa chọn làm tham số điều khiển trong quá trình thực nghiệm.

Kết luận chương 2

1. Năng suất quá trình hàn cao, chi tiết hàn ít biến dạng do sử dụng dòng điện có cường độ rất lớn tác dụng trong thời gian ngắn. Trong quá trình hàn không cần dùng thuốc hàn hay khí bảo vệ, mối hàn không có xỉ nên điều kiện làm việc và môi trường được đảm bảo, ngoài ra phương pháp còn cho chất lượng mối hàn cao, dễ tự động hóa quá trình hàn.

2. Từ tính chất vật lý của quá trình hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục cho thấy phương pháp này cũng là một dạng của hàn tiếp xúc áp lực, mối hàn hình thành ở nhiệt độ chảy dẻo nói cách khác là không có sự nóng chảy của kim loại hàn và kim loại nền. Động lực học sự phát triển liên kết của kim loại hàn với kim loại nền được xác định bởi động lực học của sự biến dạng dẻo của chúng. Vì vậy liên kết hàn đắp không bị cháy hay bay hơi các thành phần nguyên tố hợp kim, sự ảnh hưởng về sự thay đổi thành phần hóa học của kim loại đắp và kim loại cơ bản không đáng kể. Như vậy sẽ khiến cho chi tiết trục phục hồi có thể tạo ra lớp bề mặt có độ cứng và độ bền

mòn tốt nhưng vẫn đảm bảo độ bền dẻo của bản thân trục. Quá trình hình thành liên kết hàn phần lớn chỉ xảy ra ở bề mặt tiếp xúc như vậy độ hòa tan của kim loại cơ bản vào kim loại đắp đạt được ở mức thấp nên lớp đắp sẽ có độ tinh khiết tốt làm cho lớp đắp có độ cứng trung bình cao và đồng đều.

3. Nghiên cứu đã chỉ ra quá trình hình thành mối hàn trong pha rắn, mối liên hệ giữa độ bền liên kết của kim loại hàn với kim loại trục cơ bản thông qua sự biến dạng của dây kim loại khi hàn. Phân tích đánh giá sự ảnh hưởng của các thông số hàn cơ bản của quá trình tới chất lượng liên kết hàn. Hệ thống các công trình nghiên cứu tương tự, phân tích, thử nghiệm thăm dò tìm được khoảng giá trị các thông số công nghệ cho sự hình thành liên kết khi hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép. Làm cơ sở nhằm thu hẹp và lựa chọn các thông số công nghệ cho quá trình thực nghiệm.

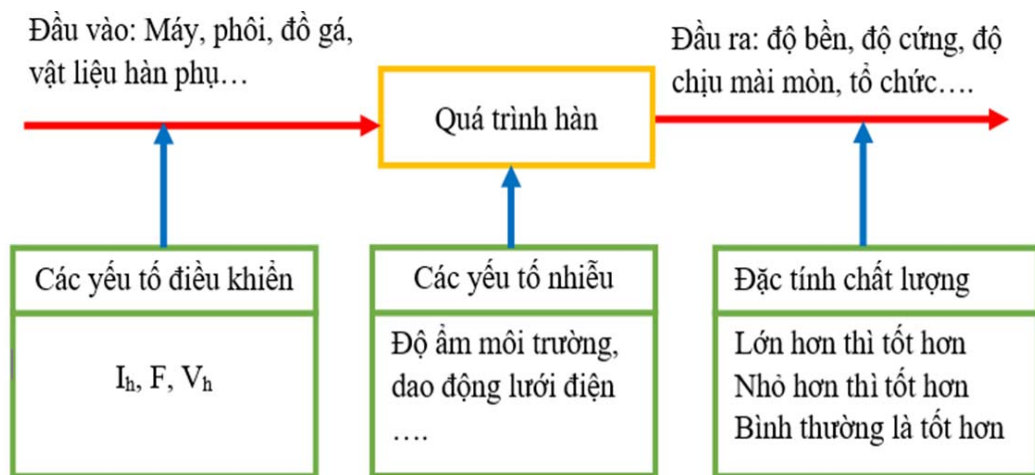
CHƯƠNG 3

VẬT LIỆU, THIẾT BỊ, PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM VÀ KIỂM TRA ĐÁNH GIÁ

Thiết kế mô hình thực nghiệm nhằm xác định các thành phần, yếu tố đầu vào, đầu ra của quá trình và giải quyết các mục tiêu của đề tài yêu cầu, từ đó lựa chọn trang thiết bị, vật liệu chế tạo mẫu hàn, vật liệu hàn và xác định mức của các thông số công nghệ lựa chọn cho nghiên cứu, các chỉ tiêu cần đánh giá để chuẩn bị mẫu cho quá trình thực nghiệm được phù hợp.

3.1. Mô hình thí nghiệm.

Mô hình thí nghiệm được xây dựng trên cơ sở các yếu tố đầu vào của quá trình và các mục tiêu đầu ra sau khi hàn phục hồi, mô hình này được mô tả trên hình 3.1.



Hình 3.1. Mô hình thực nghiệm

3.2. Thiết bị, vật liệu thực nghiệm

3.2.1. Thiết bị thực nghiệm

Hiện nay trên thế giới chưa có loại thiết bị nào dành riêng cho hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục với vật liệu phụ dây thép, bột hay băng kim loại chuyên dụng. Vì vậy để thực hiện được công nghệ hàn phục hồi chi tiết trục với vật liệu phụ dây thép thì ta phải cải tiến, chuyển đổi chức năng từ thiết bị hàn điện tiếp xúc đường kết hợp với đồ gá công nghệ. Đồng thời thiết bị thực nghiệm phải đảm bảo công suất đủ lớn và điều chỉnh được chính xác các thông số công nghệ cần khảo sát trong quá trình thực nghiệm.

3.2.1.1. Máy hàn điện tiếp xúc

Máy hàn điện tiếp xúc đường được sử dụng làm thiết bị thực nghiệm cho quá trình hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục với kim loại phụ dây thép là loại máy ARO 72500 sản xuất theo tiêu chuẩn NF A 82-020 của Pháp năm 2003 (hình 3.2). Máy hiện có tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ Hàn và Xử lý bề mặt - Viện Nghiên cứu Cơ khí, thông số của máy hàn được trình bày trong bảng 3.1 [53].



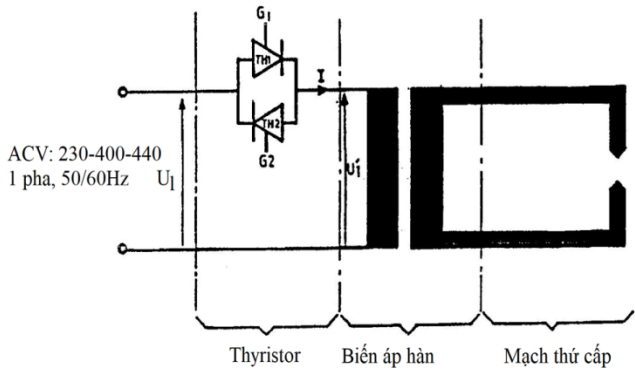
Hình 3.2. Máy hàn lăn ARO 72500 – France

Bảng 3.1. Thông số máy hàn điện tiếp xúc đường ARO 72500

TT	Thông số	Đơn vị đo	Giá trị
1	Nguồn vào	V	1 pha - 400 V - 50Hz
2	Nguồn điện điều khiển	V	24AC
3	Công suất làm việc ở chu kỳ 100%	kVA	185
4	Công suất làm việc ở chu kỳ 50%	kVA	262
5	Công suất hàn tối đa	kVA	253
6	Điện áp thứ cấp	V	11,7
7	Bước chỉnh điện áp thứ cấp	V	1
8	Dòng hàn tối đa	kA	27
9	Chiều cao hõng hàn	mm	275
10	Chiều sâu hõng hàn	mm	940
11	Lực ép điện cực tối đa	daN	1800
12	Áp suất khí nén đầu vào	bar	6
13	Lưu lượng nước làm mát	l/phút	20
14	Áp suất nước làm mát	bar	2,5
15	Đường kính điện cực	mm	220
16	Chiều dày điện cực	mm	20
17	Trọng lượng	kg	2500

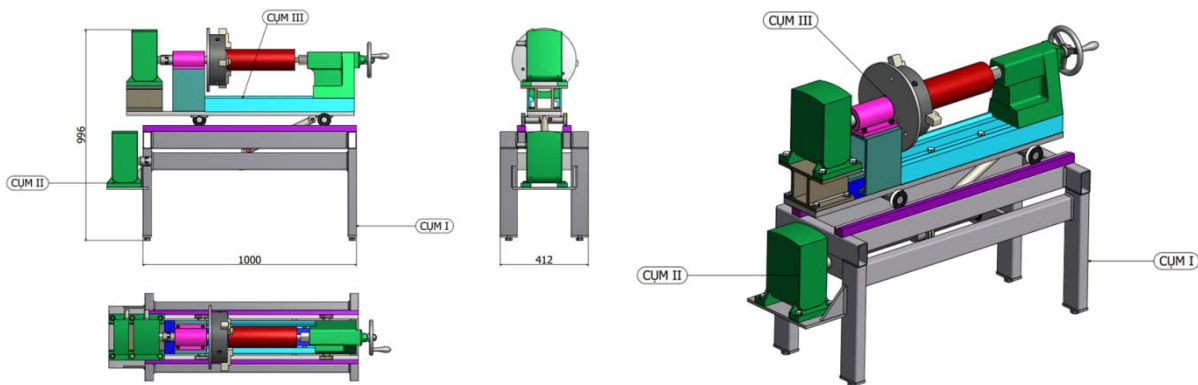
Máy biến áp có tác dụng biến đổi điện áp xoay chiều được sử dụng để thay đổi giá trị hiệu dụng của điện áp xoay chiều đầu ra. Máy biến áp này thuộc loại máy biến áp hạ áp và tăng dòng với tỷ số lớn nên cuộn thứ cấp của máy biến áp chỉ bao gồm một vòng dây được làm bằng các bản đồng chịu nhiệt. Các bộ xung áp xoay chiều (XAAC)

được dùng để điều chỉnh giá trị điện áp xoay chiều với hiệu suất cao. XAAC trong thiết bị này sử dụng các loại van công suất gồm hai Thyristor mắc song song ngược. Thyristor để thay đổi giá trị điện áp trong mỗi nửa chu kỳ của điện áp lưới theo góc mở α , từ đó thay đổi được giá trị điện áp hiệu dụng trên tải (hình 3.3) [53].



Hình 3.3. Sơ đồ máy biến áp hàn

3.2.1.2. Đồ gá công nghệ



Hình 3.4. Mô hình đồ gá hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục

Để thực hiện công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục với vật liệu phụ dây thép thì đồ gá công nghệ đóng vai trò hết sức quan trọng. Nó đòi hỏi có độ ổn định của lắp ghép cơ khí, tức đồ gá phải chắc chắn đảm bảo chịu được các lực tác dụng của lực ép điện cực lên chi tiết hàn từ phía con lăn điện cực. Đồng thời đồ gá hàn phải có tính năng kẹp chặt, chuyển động quay phôi hàn trong các phạm vi điều chỉnh phù hợp, chính xác với tốc độ hàn (V_h) đã được lựa chọn. Ngoài chuyển động quay phôi hàn với tốc độ hàn thì đồ gá còn dịch chuyển trục hàn theo hướng dọc trục với tốc độ phù hợp (bước tiến hàn S_t) để tạo nên các đường hàn theo đường xoắn ốc phủ kín toàn bộ phần trục cần hàn phục hồi.

Dựa trên nguyên lý của công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục vật liệu phụ dây thép, tác giả đã xây dựng mô hình, thiết kế và chế tạo đồ gá hàn nhằm phục vụ cho quá trình thực nghiệm được thể hiện trên hình 3.4.

Đồ gá được chia làm ba cụm bộ phận chế tạo: Cụm I - Khung đỡ bàn máy; Cụm II: Cơ cấu chuyển động tịnh tiến; Cụm III : Bàn máy kẹp và quay trục hàn.

Đồ gá hàn được truyền động bởi hai động cơ ba pha, cho công việc quay và tịnh tiến trục hàn và sử dụng biến tần để thay đổi tốc độ vô cấp trên một khoảng làm việc yêu cầu.

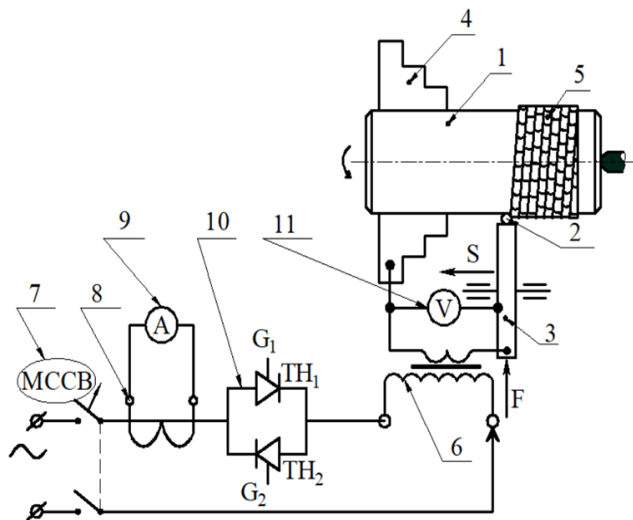
Cả hai động cơ đều có gắn encoder để đếm số vòng quay của động cơ, đưa thông tin về bộ phận xử lý thông tin. Nếu có sự thay đổi về tốc độ bất thường hệ thống sẽ kích hoạt bộ phận biến tần thay đổi do đó tốc độ động cơ nhanh chóng trở lại tốc độ lựa chọn. Đồng thời tốc độ quay của hai động cơ đều được hiển thị trên màn hình điện tử ở mặt tủ điện điều khiển của đồ gá nhằm thuận tiện cho việc kiểm soát tốc độ của quá trình hàn được thể hiện trên hình 3.5.



Hình 3.5. Lắp ráp và chạy thử nghiệm đồ gá

3.2.1.3. Đồng bộ máy hàn điện tiếp xúc đường với đồ gá

Để kết hợp được máy hàn đường ARO 72500 với đồ gá chế tạo, phục vụ cho công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục với kim loại phụ dây thép, tác giả xây dựng sơ đồ hoạt động của hệ thống với các thiết bị đo kiểm nhằm kiểm soát số liệu một cách ổn định và chính xác trong quá trình thực nghiệm được thể hiện trên sơ đồ hình 3.6.



- 1- trục hàn phục hồi;
- 2 - dây kim loại phụ;
- 3 - điện cực con lăn;
- 4 - mâm cặp;
- 5- lớp hàn đắp;
- 6- máy biến áp;
- 7- Aptomat;
- 8- bộ biến dòng;
- 9 - ampe kế;
- 10- Thyristor lắp song song ngược,
- 11- vôn kế.

Hình 3.6. Sơ đồ mạch và thiết bị đo kiểm điện

Để đồng bộ hệ thống, tiến hành hạ dầm đỡ con lăn điện phía dưới ra khỏi máy. Cố định chân đồ gá với đế máy hàn điện tiếp xúc đường nhằm tạo ra liên kết khô, ổn định về cơ khí của hệ thống.

Định vị các khoảng cách tương quan của hệ thống đặc biệt khoảng cách từ con lăn điện phía trên xuống tới trục hàn, có hành trình giống như hai con lăn điện trên và dưới của máy như trước đây. Lắp ráp các hệ thống điện động lực, điện điều khiển và hệ thống nước làm mát cho hệ thống máy được thể hiện qua hình 3.7.



Hình 3.7. Hệ thống thiết bị hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trực

Sau khi đã kết nối được thiết bị máy hàn và đồ gá, tác giả tiến hành kiểm tra sự vận hành của hệ thống. Kiểm tra các thông số hoạt động của hệ thống.

- Kiểm tra các thông số về điện

+ Kiểm tra điện áp và sóng điện của hệ thống máy hàn trên thiết bị PeakTech - 1200 của Đức (hình 3.8, a) và đồng hồ vạn năng Kyoritsu KEW 1110 của Nhật bản (hình 3.8, b).

+ Kiểm tra giá trị dòng điện thông qua đồng hồ đo dòng 250/5A - ENACI - EN-96 của Ý (hình 3.9, a), kết hợp với thiết bị biến dòng (current coil) 300/5A của Malaysia (hình 3.9, b) và ampe kìm Kyoritsu Model 2608A (hình 3.9, c).

Tuy nhiên để xác định và kiểm tra độ chính xác được dòng điện hàn từ phía mạch thứ cấp ta phải sử dụng công thức tính dòng điện máy biến áp (3.1) được đề xuất trong tài liệu [9].

$$I_h = I_2 = m \times I_1 = \frac{400}{11,7} \times I_1 \text{ (kA)} \quad (3.1)$$

Trong đó:

- + m: là tỷ số máy biến áp do nhà sản xuất cung cấp
- + I_h : là giá trị hiệu dụng dòng điện hàn bên cuộn thứ cấp
- + I_1 : là giá trị hiệu dụng của dòng điện sơ cấp đo được bằng dụng cụ đo cơ điện chỉ thị kim.

- Kiểm tra thông số lực ép

Lực ép điện cực máy hàn điện tiếp xúc sử dụng hệ thống xilanh khí nén, nên lực tác dụng trực piston được tính toán theo công thức (3.2) được đưa ra trong các tài liệu [24,33,65]:

$$F = \pi.R^2.P \text{ (kg)} \quad (3.2)$$

Trong đó: F là lực ép trên trục piston (kN)

R – bán kính piston (cm)

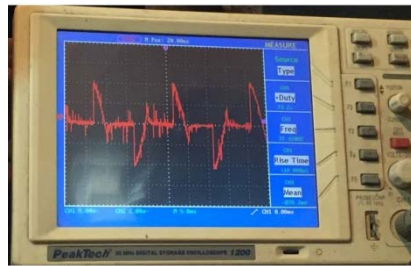
P – áp suất khí nén vào (kg/cm²)

Giá trị áp suất cung cấp cho hệ thống xilanh khí nén của máy hàn được đo trên đồng hồ khí nén Kkgauges-1kg/cm² của Đài Loan (hình 3.9, d).

+ *Kiểm tra tốc độ quay và tịnh tiến trục hàn*

Hai chuyển động này rất quan trọng và được giám sát chặt chẽ bằng việc đo trực tiếp số vòng quay của các thiết bị truyền động đồng thời phản hồi thông tin chính xác trên hai đồng hồ điện tử được gắn trên bề mặt tủ điều khiển của đồ gá hàn.

Tất cả các quá trình hoạt động của máy được đo đạc và kiểm soát tỉ mỉ cho thấy các chức năng hoạt động của thiết bị là hoàn toàn ổn định và chính xác. Điều này làm cơ sở tin cậy cho quá trình thực hiện mẫu thí nghiệm ở các chế độ lựa chọn khác nhau.



a)



b)

a) thiết bị đo áp và sóng điện PeakTech - 1200;

b) đồng hồ đo áp

Kyoritsu KEW 1110

Hình 3.8. Thiết bị sử dụng đo điện áp và sóng điện máy hàn



a)



b)



c)



d)

a) đồng hồ đo dòng 250/5A - ENACI - EN-96;

b) biến dòng current coil 300/5A;

c) ampe kìm Kyoritsu Model

2608A; d) đồng hồ đo áp suất khí nén

Hình 3.9. Thiết bị sử dụng đo dòng điện và áp suất khí nén

3.2.2. Vật liệu thực nghiệm

3.2.2.1. Chọn vật liệu và gia công mẫu thực nghiệm

a) Vật liệu mẫu thực nghiệm

Phần trình bày tổng quan các nghiên cứu phục hồi chi tiết trục, các tài liệu, chỉ ra rằng chi tiết trục thường làm việc với tải trọng cao như: uốn; xoắn, va đập và biến

dạng dọc trục, đặc biệt là chịu mài mòn mạnh. Các trục này chủ yếu được làm từ hai loại vật liệu chính là thép cacbon trung bình và thép hợp kim. Các chi tiết trục không phải làm việc trong điều kiện quá khắc nghiệt thường sử dụng hai vật liệu thông dụng là C45 và 40Cr sau đó tôi cải thiện và ram cao đạt độ cứng khoảng 45÷55HRC.

Trong công nghệ phục hồi chi tiết trục bằng phương pháp hàn nói chung hay phục hồi bằng phương pháp hàn lăn tiếp xúc. Nếu chi tiết phục hồi quá nhỏ thì kinh tế mang lại từ công việc phục hồi không mang lại được nhiều hiệu quả. Bởi các chi tiết trục có kích thước nhỏ thì vấn đề nguyên vật liệu và quá trình gia công diễn ra đơn giản và có chi phí cũng khá thấp. Mặt khác sử dụng phương pháp hàn phục hồi đối với các chi tiết có kích thước nhỏ có thể xảy ra các hiện tượng biến dạng như cong vênh, sai lệch hình dáng trong quá trình hàn phục hồi.

Với các chi tiết trục có đường kính lớn khi sử dụng các phương pháp phục hồi bằng công nghệ hàn truyền thống được thực hiện một cách đơn giản vì các thiết bị hàn này nhỏ gọn dễ vận chuyển. Tuy nhiên với công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục gặp khó khăn hơn bởi các vấn đề từ thiết bị, đồ gá. Đặc biệt vấn đề cần quan tâm ở công nghệ này là kích thước của bánh lăn điện cực của máy hàn lăn luôn đảm bảo có đường kính lớn hơn đường kính trục hàn phục hồi ($R_2 \gg R_1$ tức $\alpha_1 > \alpha_2$, đã được trình bày trong mục 2.3.5-diện tích tiếp xúc mỗi hàn) để đảm bảo quá trình kết tinh kim loại hàn phía trục hàn lớn hơn, nói cách khác là tạo ra diện tích của một mối hàn được tăng lên. Mặt khác điện cực hàn quá nhỏ, tiết diện tiếp xúc kim loại chảy dẻo với điện cực giảm xuống và thường hình thành các vết lõm cục bộ trên bề mặt mối hàn đồng nghĩa với việc làm giảm chất lượng bề mặt trục hàn và phức tạp quá trình gia công sau hàn.

Đề tài nghiên cứu hướng tới việc phục hồi các chi tiết trục trong các thiết bị ô tô, máy kéo, máy công nghiệp và nông nghiệp. Phần lớn chi tiết trục trong các máy móc này có đường kính từ 50÷150mm được sản xuất nhiều từ thép cacbon và thép hợp kim, bề mặt làm việc của chúng có độ cứng đạt trong khoảng 45÷55 HRC, độ mòn không vượt quá 0,5mm.

Dựa vào điều kiện thực tế và các yếu tố phân tích, đề tài nghiên cứu lựa chọn mẫu trục hàn thực nghiệm được làm từ vật liệu thép cacbon chất lượng tốt C45. Trục có đường kính danh nghĩa 100mm đã bị mòn 1mm theo đường kính, tức trục hàn thực nghiệm có kích thước 99mm. Sau hàn phục hồi với hai lớp hàn đắp bằng công nghệ hàn lăn tiếp xúc, gia công cơ khí thì trục trở lại kích thước ban đầu là 100mm. Đồng thời hướng tới mục tiêu chất lượng của công việc phục hồi là chi tiết sau hàn có độ cứng bề mặt trung bình khoảng 45÷55HRC, độ bền mòn tốt mà vẫn đảm bảo độ bền

liên kết cao của lớp hàn với nền cũng như độ bền trong thân chi tiết.

Mẫu trục hàn được kiểm tra thành phần hóa học tại Phòng thí nghiệm vật liệu tính năng kỹ thuật cao - Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN (IEMM). Quá trình được kiểm tra trên máy phân tích thành phần hóa học - Metal Lab 75/80J MVU-GRN. Dựa theo phương pháp ASTM E415:2015, có thành phần hóa học đưa ra trong bảng 3.2.

Bảng 3.2. Thành phần hóa học mẫu thực nghiệm (%)

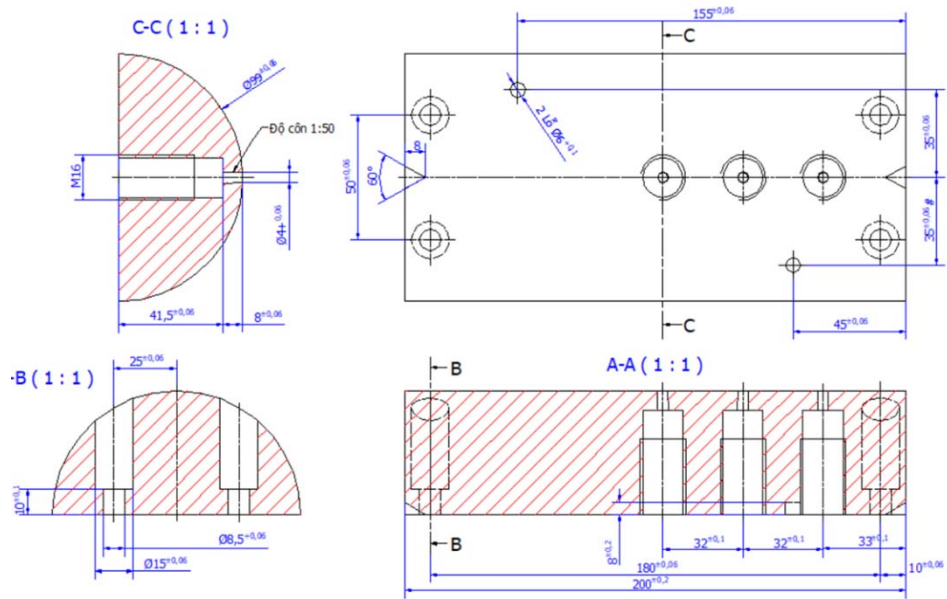
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Fe
0,4708	0,2630	0,6570	0,0271	0,0078	0,0743	0,0396	0,0178	0.0041	98,3808

Thành phần hóa học của mẫu thép đã được đơn vị kiểm tra kết luận đạt yêu cầu mác thép C45 theo tiêu chuẩn TCVN 1766:1975 [7,13,42], tương đương với mác thép S45C – JIS G 4501-79 của Nhật, mác 1045 - AISI của Mỹ, C45 – DIN 17200-87 của Đức, 45 – GB-699-88 của Trung Quốc, 45 – ГОСТ của Nga.

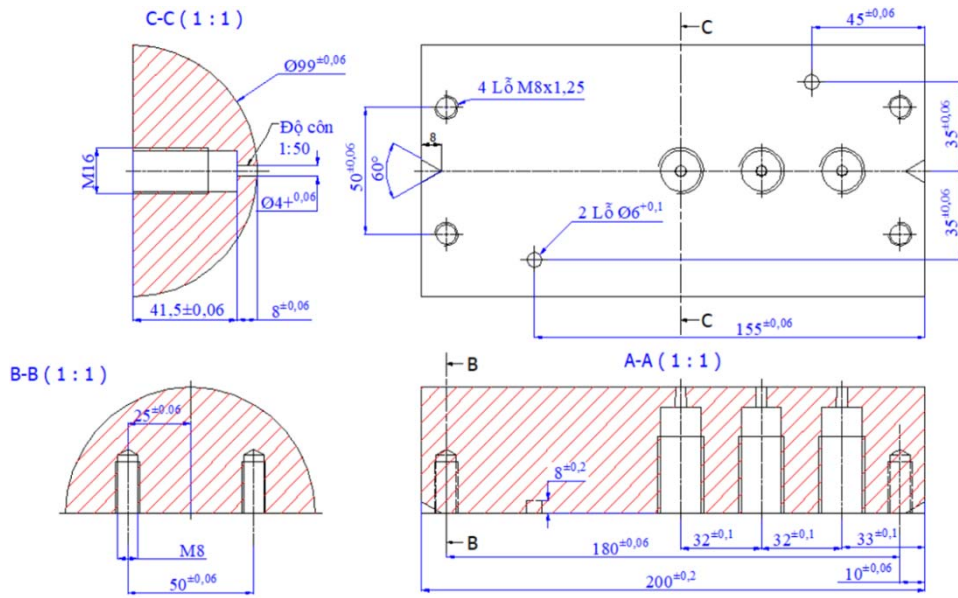
b) Chế tạo mẫu thực nghiệm

Như đã trình bày trong chương 1 chỉ ra các chỉ tiêu về chất lượng lớp hàn đắp phục hồi chi tiết trục nói chung và hàn lăn tiếp xúc nói riêng thì chỉ tiêu cơ tính về độ bền liên kết của lớp hàn đắp với bề mặt trục kim loại cơ bản là tiêu chí quan trọng hàng đầu quyết định đến khả năng làm việc của trục hàn phục hồi. Thực tế thì không có phương pháp kiểm tra đơn giản trong các cơ sở sản xuất phục hồi, nên khả năng kiểm soát chất lượng của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trong quá trình hàn là rất khó, thường các sai hỏng, khuyết tật của quá trình chỉ được phát hiện trong quá trình gia công cơ khí, thậm chí là quá trình đưa vào hoạt động thực tế mới phát hiện khuyết tật hàn như không thấu, khi đó tình trạng hoạt động của chi tiết máy là rất xấu nó có thể bị bong, vỡ mảnh và nhanh chóng đưa chi tiết trục trở lại tình trạng trước phục hồi hoặc có thể tồi tệ hơn. Vì vậy mọi quy trình công nghệ hàn phục hồi đưa vào sản xuất đều phải đảm bảo được độ bền liên kết của lớp hàn đắp và trục cơ bản là tốt nhất.

Để đánh giá độ bền liên kết của lớp hàn đắp với trục cơ bản nghiên cứu sử dụng việc tách các chốt hình côn có đường kính Ø4 ra khỏi lớp hàn đắp. Các chốt này có cùng mác vật liệu với trục hàn và được gài từ phía trong ra sao cho bề mặt chốt bằng với bề mặt trục hàn. Với mục đích kiểm tra được độ bền liên kết lớp hàn đắp và trục cần phục hồi mà mẫu trục hàn được thiết kế, chế tạo, lắp ghép như hình vẽ 3.10, 3.11, 3.12 và 3.13:



a)



b)

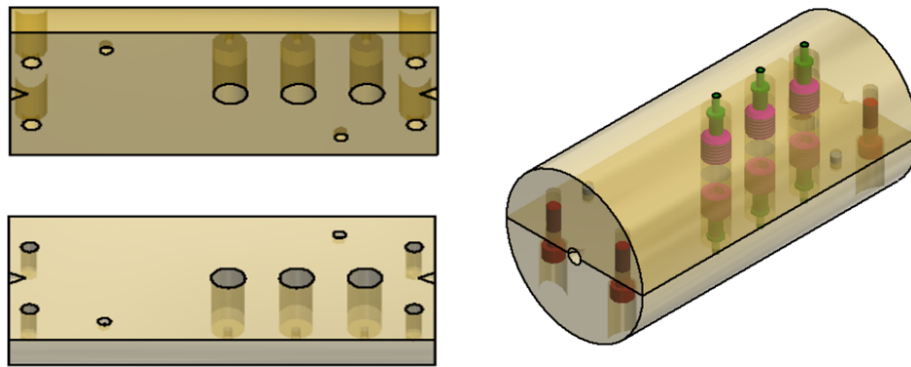
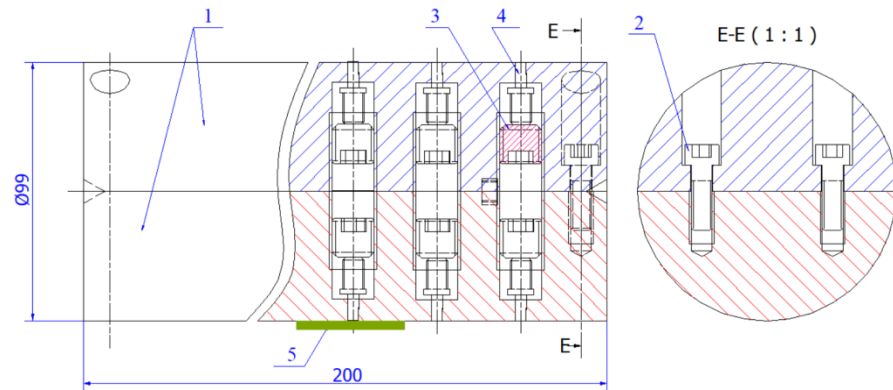
a) nửa trục trên; b) nửa trục dưới

Hình 3.10. Hình vẽ gia công mẫu thực nghiệm



Hình 3.11. Hình ảnh mẫu thực nghiệm sau gia công

Mẫu trực hàn thực nghiệm gồm hai nửa hình trụ được ghép lại bằng 4 vít nằm ở cuối khối trụ. Trên phần thân của khối trụ tác giả gia công những lỗ nhỏ để đặt những chốt hình côn 4, được chặn bởi những nút ren 3 như trên hình 3.12.

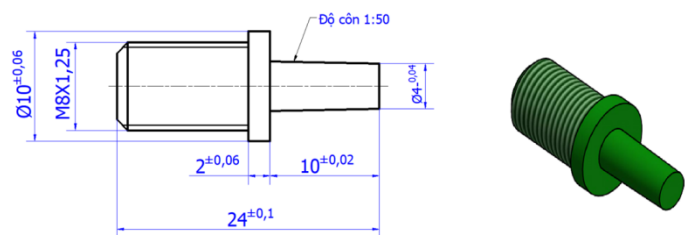


1 - hai nửa mẫu hàn; 2 - đinh vít; 3 - nút chặn; 4 - chốt hình côn; 5 - lớp hàn

Hình 3.12. Mô hình lắp ghép mẫu thực nghiệm



Hình 3.13. Hình ảnh mẫu thực nghiệm hoàn thiện



Hình 3.14. Chốt kiểm tra độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

c) Chế tạo chốt kiểm tra độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

Các chốt kéo kiểm tra độ bền liên kết hàn được thiết kế có tiết diện đầu chốt là Ø4, tương đương với diện tích tiếp xúc của một mối hàn. Thân chốt được chế tạo có độ côn tiêu chuẩn 1/50 để loại bỏ hiện tượng ma sát khi kiểm tra kéo đứt. Ở phần đuôi của

chốt có thiết kế một ren ngoài để ăn khớp với thanh kéo khi kéo đứt chốt ra khỏi mối hàn như hình 3.14.

Chốt kéo được chế tạo phải có cùng mác thép C45, thành phần cơ tính và hóa học tương tự như thành phần mẫu trực hàn thực nghiệm đã chọn, hoặc có độ sai khác không đáng kể.

Với mác thép và thành phần hóa học của mẫu trực hàn thực nghiệm đã chọn như trên bảng 3.2. Nghiên cứu chọn vật liệu chế tạo chốt làm từ vật liệu thép C45 dạng thanh có đường kính 11,82mm. Vật liệu làm chốt này được kiểm tra đánh giá thành phần hóa học tại Phòng thí nghiệm vật liệu tính năng kỹ thuật cao - Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN (IEMM). Quá trình được kiểm tra trên máy phân tích thành phần hóa học - Metal Lab 75/80J MVU-GRN. Dựa theo trên phương pháp thử ASTM E415:2015, có thành phần hóa học được đưa ra trong bảng 3.3.

Bảng 3.3. Thành phần hóa học mẫu vật liệu làm chốt hình côn (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
0,4371	0,2590	0,7708	0,0152	0,0066	0,0369	0,0076	0,0136	98,3808

Qua thành phần hóa học mẫu thép, có kết luận của đơn vị kiểm tra mẫu đạt mác thép C45 theo TCVN1766:1975.

Vật liệu chế tạo chốt được kiểm tra độ bền kéo trên thiết bị thử kéo, uốn WEW 1000B. Phương pháp thử áp dụng theo TCVN197-1:2014 tại Phòng thí nghiệm vật liệu tính năng kỹ thuật cao - Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN (IEMM). Quá trình thử nghiệm được thực hiện trên 03 mẫu được thể hiện trên hình 3.15, và kết quả độ bền kéo trình bày ở bảng 3.4.



Hình 3.15. Mẫu thử kéo vật liệu chế tạo chốt

Bảng 3.4. Kết quả thử kéo vật liệu chế tạo chốt

Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Kết quả			
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Trung bình
Giới hạn bền	N/mm ²	495	485	484	488
Giới hạn chảy	N/mm ²	374	427	427	409
Độ giãn dài A50	%	24.0	24.0	22.0	2.3

3.2.2.2. Chọn vật liệu dây hàn

Với mục tiêu của đề tài nhằm thực hiện công nghệ tạo ra lớp hàn đắp bề mặt các cỗ trục có độ bền mòn tốt, với độ bền liên kết cao giữa lớp đắp với lớp nền trục cơ bản bằng hàn lăn tiếp xúc, mà vẫn giữ được độ dẻo dai của bản thân chi tiết trục. Từ mục tiêu hướng tới cũng như dựa trên các tài liệu tham khảo. Đề tài lựa chọn vật liệu có độ bền, độ bền mòn tốt như dây thép đàn hồi làm vật liệu dây hàn phụ để hàn các mẫu thực nghiệm. Thực tế vật liệu hàn này thực hiện bằng các công nghệ hàn hồ quang truyền thống rất khó để đảm bảo được chất lượng lớp hàn đắp tốt vì quá trình hàn gặp khó khăn do độ cứng của dây, thậm chí có thể gây ra nứt, bong tróc, cháy và bay hơi các nguyên tố hợp kim có lợi, cũng như rất khó để tạo ra lớp hàn đắp có độ bền liên kết lớp với kim loại nền cao. Những nhược điểm này hoàn toàn có thể loại bỏ khi sử dụng công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi các chi tiết dạng trục như luận án đề xuất nghiên cứu.

Thép đàn hồi dựa trên thành phần hóa học được chia thành hai loại: thép đàn hồi cacbon và thép đàn hồi hợp kim. Phương pháp biểu thị mác thép của đàn hồi cacbon về cơ bản giống với thép kết cấu cacbon chất lượng tốt, còn thép đàn hồi hợp kim thì giống với thép kết cấu hợp kim. Các mác vật liệu sử dụng làm thép đàn hồi các bon thông dụng hiện nay như: C65, C70, C75; 60Si2, 60Si2A, 70Si3A; 60Mn, 65Mn, 70Mn... Các nhóm vật liệu này đều có độ bền mòn, tính đàn hồi tốt. Tuy nhiên mục đích của nghiên cứu lựa chọn các nhóm vật liệu này sử dụng vào công việc hàn phục hồi, nên cần có các phân tích và lựa chọn cụ thể cho mục đích sử dụng.

- Vật liệu phụ dây hàn làm từ thép đàn hồi cacbon như: C65, C70, C75,... có khả năng tạo ra lớp phủ bề mặt có độ cứng, độ bền mòn khá tốt. Tuy nhiên thành phần hợp kim trong loại vật liệu này thấp hơn so với vật liệu đàn hồi làm từ thép hợp kim. Do đó đặc trưng cơ tính lớp hàn được hình thành từ nhóm vật liệu này bị giảm bớt. Bên cạnh những nhược điểm thì nhóm vật liệu này cũng có những ưu điểm nhất định như: có khả năng tạo ra liên kết hàn với vật liệu cơ bản làm từ thép cacbon chất lượng hơn là nhóm vật liệu là từ thép hợp kim, bởi vì thành phần hợp kim trong thép phần nào làm giảm tính hàn của vật liệu. Một ưu điểm nữa của nhóm vật liệu này là sản phẩm rất đa dạng về mặt hàng, chủng loại, kích thước, cũng như giá thành của chúng là khá thấp.

- Vật liệu dây hàn làm từ thép đàn hồi hợp kim Si như: 60Si2, 60Si2A, 70Si3A.... Loại vật liệu này cũng có khả năng tạo nên lớp hàn đắp có độ cứng, độ bền mòn tốt, tính tự tôi cao. Tuy nhiên loại vật liệu này có mặt của nguyên tố Si với thành phần tỷ lệ cao, mỗi lần đắp có thể xảy ra hiện tượng bở giòn, không kết dính do nguyên tố Si có tính hàn xấu.

- Vật liệu dây hàn phụ làm từ thép đàn hồi hợp kim Mn như: 60Mn, 65Mn, 70Mn,... Vật liệu này cho phép tạo ra lớp phủ hàn có độ cứng, độ bền mòn tốt, tính hàn tốt hơn vật liệu làm từ hợp kim silic. Mặt khác vật liệu này có mặt của nguyên tố Mn là nguyên tố có khả năng tạo ra độ cứng, độ bền mòn tốt trong quá trình làm việc có va đập và ma sát trong các kết cấu máy. Có một vấn đề đặt ra hiện nay là các nhà sản xuất loại vật liệu này cho lĩnh vực chế tạo thép đàn hồi chứ không phục vụ cho lĩnh vực hàn lăn tiếp xúc phục hồi. Trong khi tính năng làm thép đàn hồi của vật liệu hợp kim Mn mang lại hiệu quả không lớn so với nhóm vật liệu làm từ cacbon và Si, cũng như giá thành của nó cao hơn nên nhóm vật liệu này ít được sử dụng trong sản xuất hiện nay và thay vào đó là các nhóm dây thép đàn hồi làm từ vật liệu cacbon và silic.

Từ những phân tích trên đề tài nghiên cứu đưa ra sự lựa chọn vật liệu dây thép đàn hồi C70 có đường kính 1,8mm làm vật liệu dây hàn cho quá trình thực nghiệm công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục.

Vật liệu dây hàn được kiểm tra thành phần hóa học tại Phòng thí nghiệm vật liệu tính năng kỹ thuật cao - Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN (IEMM). Quá trình được kiểm tra trên máy phân tích thành phần hóa học - Atlantis-GNR. Dựa trên phương pháp ASTM E415:2015, có thành phần hóa học đưa ra trong bảng 3.5.

Bảng 3.5. Thành phần hóa học của dây hàn phụ (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Fe
0,6720	0,1760	0,5270	0,0057	0,0063	0,0435	0,0275	0,0485	0.0033	98,4720

Thành phần hóa học của mẫu thép đã được đơn vị kiểm tra kết luận đạt yêu cầu mức thép C70 theo tiêu chuẩn TCVN 1767:75 [7,13,42,43], tương đương với mức thép 1070 - AISI của Mỹ, 080A67 - BS970/1-83 của Anh.

3.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm

Hiện nay có nhiều phương pháp để thiết lập các điều kiện và tiến hành các thí nghiệm cho bộ 3 thông số, mỗi thông số 3 mức như phương pháp quy hoạch trực giao cấp 1, cấp 2 hay phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi... Với phương pháp quy hoạch trực giao truyền thống thì số thí nghiệm cần thực hiện cho mục đích trên là khá lớn (27 thí nghiệm) [32], còn với phương pháp Taguchi ta chỉ cần thực hiện 9 thí nghiệm [15,19,23,58,96,97,100,103,106], điều này sẽ tiết kiệm thời gian và chi phí nghiên cứu, vì thế ta chọn phương pháp Taguchi để tiến hành thiết kế các thí nghiệm.

Ưu điểm nổi bật của phương pháp Taguchi là:

- Dễ ứng dụng và phân tích
- Xác suất thành công cao
- Có thể xác nhận dự báo cải thiện
- Cải thiện được lượng hóa bằng hàm tổn thất
- Yêu cầu số lượng thí nghiệm nhỏ
- Ảnh hưởng của nhiễu được xem xét

3.3.1. Phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi [15,97,103]

Theo phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi, sự kết hợp của các yếu tố ảnh hưởng tới hàm mục tiêu được thực hiện thông qua các mảng trực giao (OAs), ký hiệu tổng quát mảng trực giao là $L_n(x^y)$, trong đó: n số hàng trong mảng tương ứng số thí nghiệm, x số mức trong cột, y số cột trong mảng.

Đặc tính của mảng trực giao:

- Số trong mảng miêu tả mức của các yếu tố
- Hàng miêu tả điều kiện thử nghiệm
- Cột chứa các yếu tố đang khảo sát
- Cột của mảng là trực giao
- Mỗi mảng dùng cho nhiều tình huống thực nghiệm

Các cột của mảng là trực giao hoặc cân bằng, điều này có nghĩa là trong một cột có số lượng các mức là tương đương. Giữa 2 cột bất kỳ cũng phải cân bằng, điều này có nghĩa rằng các mức kết hợp tồn tại với số lượng bằng nhau.

Với mục tiêu là nghiên cứu đồng thời 3 yếu tố (I_h , F, V_h) với mỗi yếu tố 3 mức cho thấy mảng trực giao phù hợp là mảng L9 thể hiện trên bảng 3.6.

Bảng 3.6. Phương án thực nghiệm Taguchi mảng L9

Số thí nghiệm	I_h (kA)	F(kN)	V_h (cm/s)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Với các ký hiệu mã hóa 1, 2, 3 lần lượt là các mức của các yếu tố $I_h = (6,5/7,5/8,5)$ kA; $F = (1,7/2,0/2,3)$ kN; $V_h = (1,5/1,75/2,0)$ cm/s. Các kết quả thử nghiệm được phân tích bằng phương pháp thống kê thông qua việc tính tỷ số tín hiệu/ nhiễu (S/N). Phương pháp Taguchi khuyến cáo sử dụng tỷ số S/N để đo các đặc tính chất lượng lệch khỏi các giá trị mong muốn [84]. Tỷ số tín hiệu/nhiều (S/N) là thước đo độ lớn của tập dữ liệu liên quan đến độ lệch chuẩn. Trong phương pháp Taguchi, tỷ số tín hiệu đến nhiễu (S/N) được sử dụng để thể hiện đặc tính hiệu suất và giá trị lớn nhất của tỷ số S/N là mức tối ưu của các thông số thay đổi. Tỷ số S/N phụ thuộc vào đặc trưng chất lượng của hệ thống trong quá trình tối ưu với 3 đặc trưng chất lượng cho trong bảng 3.7.

Bảng 3.7. Các đặc trưng chất lượng theo Taguchi.

Dạng	Tên gọi	Biểu thức
1	Lớn hơn thì tốt hơn	$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2}\right)$ (3-3)
2	Bình thường thì tốt hơn	$S/N = -10 \log(\bar{y}^2 / D^2)$ (3-4)
3	Nhỏ hơn thì tốt hơn	$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum y_i^2\right)$ (3-5)

Trong đó: S/N , y_i , \bar{y} , D , n lần lượt là: tỷ lệ tín hiệu/ nhiễu; giá trị đo của thử nghiệm thứ i ; giá trị trung bình của các lần đo; phương sai và tổng số thử nghiệm cần thực hiện.

3.3.2. Phân tích phương sai ANOVA [15,97]

ANOVA là kỹ thuật thống kê được sử dụng khi chúng ta muốn so sánh số trung bình của một lớp ≥ 3 nhóm. Phân tích ANOVA cho phép ta định lượng ảnh hưởng tương đối của các yếu tố và tầm quan trọng của chúng tới hàm mục tiêu. Kỹ thuật này chia phương sai của một quan sát (observation) thành hai phần:

- Phương sai giữa các nhóm (between groups).
- Phương sai nội nhóm (within group).

* Các bước trong phân tích phương sai gồm:

- + Tính trung bình của các tỷ số tín hiệu/ nhiễu ứng với từng mức của mỗi yếu tố.

$$m_{ji} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 ((S/N)_j)_i \quad (3-6)$$

Trong đó: m_{ji} là trung bình của các tỉ số nhiều ứng với từng mức i ($i=1,2,3$); j là các tham số ảnh hưởng ($j=A,B,C$)

+ Tính tổng bình phương sai theo công thức sau:

$$s_j = 3(m_{ji} - m)^2 + 3(m_{ji} - m)^2 + 3(m_{ji} - m)^2 \quad (3-7)$$

Với m là trung bình của các tỉ số nhiều:

$$m = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 (S/N)_i \quad (3-8)$$

+ Giá trị tối ưu được xác định theo công thức:

$$Y_{opt} = T + \sum_{j=1}^n (J_j - T) \quad (3-9)$$

ở đây j là các yếu tố ảnh hưởng ($j=A,B,C$); i là mức tối ưu dự đoán lấy từ biểu đồ ảnh hưởng trung bình của các yếu tố.

+ Tổng các kết quả thí nghiệm.

$$T = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (3-10)$$

Với Y_i là kết quả đo ở điều kiện thử thứ i

+ Hệ số điều chỉnh yếu tố:

$$CF = \frac{T^2}{n} \quad (3-11)$$

Với n là tổng số thử nghiệm

+ Tính tổng bình phương các yếu tố:

$$S_j = \sum_{i=1}^{n_{ji}} \frac{j_i^2}{n_{ji}} - CF \quad (3-12)$$

Với n_{ji} là số thử nghiệm của yếu tố j ở mức i ; j_i là tổng các kết quả của yếu tố j ở mức i

+ Bậc tự do của thực nghiệm và bậc tự do các yếu tố:

$$\begin{cases} f_T = n - 1 \\ f_j = l - 1 \end{cases} \quad (3-13)$$

Với l là số mức của yếu tố j ; n là số thí nghiệm

+ Tính bình phương trung bình (phương sai của các yếu tố):

$$V_j = \frac{S_j}{f_j} \quad (3-14)$$

+ So sánh sự biến thiên xung quanh giá trị trung bình thông qua tính tổng bình phương:

$$S_T = \sum_{j=1}^n S_j \quad (3-15)$$

+ Xác định phần trăm phân bố ảnh hưởng của các yếu tố tới hàm mục tiêu:

$$P_j = \frac{S_j}{S_T} \quad (3-16)$$

3.3.3. Tối ưu đa mục tiêu dựa trên sự kết hợp phân tích quan hệ Grey và Taguchi [57,59,60,70,84]

Tối ưu đa mục tiêu là một bài toán tối ưu với nhiều mục tiêu, các mục tiêu có ràng buộc chặt chẽ với nhau, đôi khi mâu thuẫn nhau. Có nhiều bài toán tối ưu đa mục tiêu như hồi quy bình phương tối thiểu GLS (Generalized Least Squares Regression), hồi quy nhiều biến MVR (Multivariate Regression), hồi quy quan hệ GRA (Grey Relational Grade), ... Hiện nay, nhiều phương pháp tối ưu hóa chất lượng dựa trên kết hợp phân tích quan hệ (GRA) và phương pháp Taguchi được sử dụng. Trong luận án này sử dụng phân tích quan hệ (GRA) để xác định các giá trị tối ưu của các thông số công nghệ hàn I_h , F , V_h , tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền, độ cứng và độ bền mòn của lớp hàn đắp gồm các bước sau:

Bước 1: Thiết kế thực nghiệm

Bước 2: Phân tích quan hệ Grey

Phân tích quan hệ Grey được đề xuất bởi Deng vào năm 1989 [60] và nó được sử dụng rộng rãi để đo lường mức độ liên quan giữa các trình tự theo cấp độ quan hệ Grey [101]. Bằng cách sử dụng phân tích quan hệ Grey liên quan đến phương pháp Taguchi, việc tối ưu hóa các đặc tính đa mục tiêu có thể được chuyển đổi thành tối ưu hóa một đặc tính phản ứng đơn với lớp quan hệ Grey như một hàm mục tiêu.

Phân tích quan hệ Grey bao gồm:

+ *Chuẩn hoá số liệu thí nghiệm (Grey Relational Generation)*

Các số liệu đo, cũng là tiêu chí tối ưu hóa (ở đây là độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền σ_b , độ cứng lớp hàn đắp HRC, lượng mòn ΔP) có thứ nguyên, miền giới hạn và chiều biến thiên khác nhau. Bước này (còn gọi là tiền xử lý số liệu) nhằm đưa các dãy số liệu đo ban đầu về cùng một chuẩn, có thể so sánh với nhau được. Sau khi được chuẩn hoá, số liệu chuẩn không còn thứ nguyên, giới hạn trong khoảng [0,1] và heo các chỉ tiêu:

Tiêu chí độ bền, độ cứng mỗi hàn thuộc dạng "lớn tốt hơn" theo công thức:

$$y_i^*(k) = \frac{y_i(k) - \min y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (3.17)$$

Tiêu chí độ mòn mỗi hàn thuộc dạng "nhỏ tốt hơn" theo công thức:

$$y_i^*(k) = \frac{\max y_i(k) - y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (3.18)$$

Trong đó: $i = 1, 2, 3, \dots, m$, m là số thí nghiệm trong mảng trực giao Taguchi; $k = 1, 2, \dots, n$, n là số mục tiêu đầu ra của thí nghiệm; $\max y_{i(k)}$ giá trị lớn nhất của $y_{i(k)}$; $\min y_{i(k)}$ là giá trị nhỏ nhất của $y_{i(k)}$; $y_{i(k)}$ là giá trị sau khi phân tích quan hệ Grey.

+ *Tính toán hệ số quan hệ Grey (Grey Relational Coefficient)*

Tính toán quan hệ Grey dựa trên dữ liệu thử nghiệm chuẩn hóa để biểu diễn mối tương quan giữa dữ liệu thực nghiệm mong muốn và thực tế. Lớp quan hệ Grey tổng thể sau đó được tính bằng cách tính trung bình hệ số quan hệ Grey tương ứng với từng đặc tính hiệu suất. Kết quả là, sự kết hợp tối ưu của các thông số quá trình được đánh giá xem xét mức quan hệ Grey cao nhất bằng cách sử dụng phương pháp Taguchi. Hệ số quan hệ Grey được tính toán bằng các phương trình sau:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \psi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \psi \Delta_{\max}} \quad (3.19)$$

Trong đó: $\Delta_{oi}(k)$ là giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa giá trị chuẩn hoá thực và giá trị lý tưởng:

$$\Delta_{oi} = y_{oi}^*(k) - y_i^*(k) \quad (3.20)$$

Δ_{\min} và Δ_{\max} tương ứng là giá trị tối thiểu và tối đa của sự khác biệt tuyệt đối (Δ_{oi}) của tất cả các chuỗi so sánh.

ψ là hệ số phân biệt (*Distinguishing Coefficient*), $\psi \in [0, 1]$, mục đích của nó là làm suy yếu hiệu ứng của Δ_{\max} khi nó quá lớn và do đó làm tăng ý nghĩa chênh lệch của hệ số quan hệ. Thường lấy $\psi = 0,5$ được sử dụng do hiệu ứng phân biệt vừa phải và độ ổn định tốt của kết quả.

+ *Tính mức độ quan hệ Grey (the Grey relational grade)*

Dữ liệu đầu vào đã được đưa về hệ số quan hệ Grey, so sánh được. Tuy nhiên, chúng vẫn đại diện cho 2 tiêu chí khác nhau. Với mong muốn chuyển thành một hàm mục tiêu duy nhất, cần tính tổng theo trọng số (Weighted Sum) của chúng. Tổng theo trọng số của các hệ số Grey được gọi là mức độ Grey (Grey Relational Grade), được tính như sau:

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m \xi_i(k) \quad (3.21)$$

Trong đó, $i = 1, 2, 3 \dots 9$, (mảng trực giao L9 được chọn), $\xi_i(k)$ là hệ số quan hệ Grey của đáp ứng k trong thử nghiệm thứ i , $1/n$ là trọng số đánh giá cho mức độ ưu tiên của thông số đầu ra và m là số lượng thí nghiệm. Mức tối ưu của các thông số quá trình là mức có giá trị quan hệ Grey cao nhất.

+ *Phân tích quan hệ Grey và Taguchi*

Phân tích quan hệ Grey và Taguchi tương tự như với Taguchi truyền thống gồm:

1) Phân tích tỷ lệ S/N; 2) Phân tích phương sai (ANOVA); 3) Thí nghiệm kiểm chứng

3.4. Phương pháp kiểm tra đánh giá chất lượng hàn

3.4.1. Nghiên cứu thành phần cấu trúc lớp hàn

a) Đánh giá ngoại dạng lớp hàn đắp

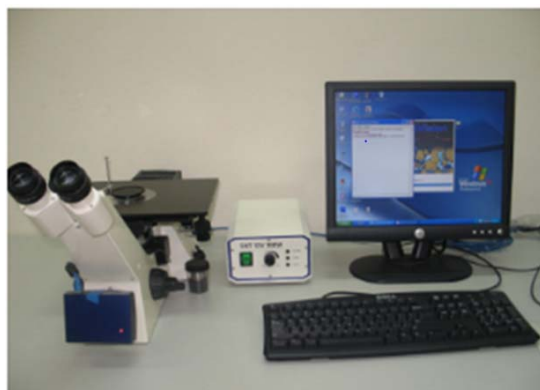
Sử dụng bằng mắt thường, kính lúp, dụng cụ đo để xác định độ che phủ của lớp hàn sau mỗi bước tiến, vết điện cực, nứt trên bề mặt, kích thước vùng hàn đắp ...

b) Đánh giá tổ chức thô đại mối hàn

Để xác định biên dạng, kích thước vùng hàn, vùng ảnh hưởng nhiệt và một số khuyết tật khác như: nứt, rỗ, không kết dính của lớp hàn đắp với lớp nền trực cơ bản, giữa các lớp dây hàn phụ liền kề sau mỗi bước tiến, giữa hai vùng liền kề sau mỗi xung điện hàn,... Các mẫu kiểm tra thô đại được cắt từ liên kết hàn sau đó mài và đánh bóng.

Việc gia công các mẫu kiểm tra phải loại trừ sự tác dụng của nhiệt và phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn của các mẫu kiểm tra.

Nghiên cứu tổ chức thô đại liên kết hàn được tiến hành trên kính hiển vi quang học Axiovert 40 Mat (Carl Zeiss) (hình 3.16). Với phương pháp thử nghiệm ASTM E340-13 [48], tại Trung tâm đánh giá hư hỏng vật liệu COMFA - Viện Khoa học Vật liệu.



Hình 3.16. Thiết bị kiểm tra cấu trúc tế vi, thô đại Axiovert 40 MAT

c) Nghiên cứu tổ chức tế vi lớp hàn

Nghiên cứu tổ chức tế vi kim loại cơ bản, kim loại mối hàn, vùng tiếp giáp kim loại hàn với kim loại trực cơ bản và vùng ảnh hưởng nhiệt, thông qua tổ chức tế vi để đánh giá được thành phần các pha, kích thước các pha, sự phân bố các pha trong mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt. Từ tổ chức tế vi phân nào còn đánh giá được khả năng liên kết, độ cứng của lớp hàn đắp, cũng như phát hiện các khuyết tật tồn tại trong tổ chức mối hàn, vùng ảnh hưởng nhiệt,... Nghiên cứu tổ chức tế vi cũng được nghiên cứu trên kính hiển vi quang học Axiovert 40 Mat (Carl zeiss) (hình 3.16).

d) Thành phần hóa học mối hàn

Đánh giá sự thay đổi của các thành phần hóa học mối hàn so với kim loại hàn. Đặc biệt là sự hao hụt (cháy, bay hơi) của các thành phần nguyên tố làm giảm độ cứng và độ bền mòn của mối hàn như C, Mn, Si...

Việc xác định thành phần hóa học bằng cách dùng tia phổ phát xạ được truyền qua mẫu, nung nóng mẫu đến nhiệt độ cao để kích thích các nguyên tử bên trong nó và xác định chúng. Quá trình thực hiện trên máy Metal Lab 75/80J MVU – GNR (hình 3.17), với phương pháp thử ASTM E415:2015 [50], tại Phòng thí nghiệm vật liệu tính năng kỹ thuật cao - Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN (IEMM).



Hình 3.17. Thiết bị tia phổ phát xạ kiểm tra thành phần hóa học Metal Lab 75/80J MVU - GNR

3.4.2. Phương pháp kiểm tra cơ tính lớp hàn đắp

3.4.2.1. Phương pháp xác định độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

a) Lựa chọn phương pháp

Việc xác định độ bền liên kết lớp phủ đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu với nhiều phương pháp khác nhau như: Phương pháp keo dính, phương pháp bám trượt và phương pháp kéo chốt.

Với lớp hàn đắp có độ bền liên kết cao như hàn lăn tiếp xúc thì sử dụng keo dán là phương pháp rất khó có thể mang lại hiệu quả như mong muốn. Nếu sử dụng phương pháp bám trượt cũng gặp rất nhiều khó khăn bởi độ liên kết tốt và bề mặt tiếp xúc là quá lớn (mẫu trục hàn Ø99mm), vì vậy đòi hỏi thiết bị kiểm tra phải có công suất lớn, quá trình gia công khuôn phức tạp,...

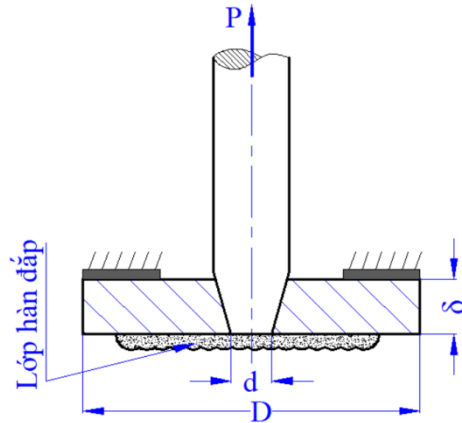
Qua phân tích về các phương pháp kiểm độ bền liên kết hàn đắp với nền trực cơ bản thì phương pháp kiểm tra tách chốt là phù hợp hơn cả cho mẫu hàn được thực nghiệm. Vì vậy phương pháp này được lựa chọn và sử dụng. Quá trình kiểm tra độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền bằng phương pháp tách các chốt hình côn ra khỏi lớp hàn cũng đã được trình bày ở các công trình [86,118,119,127].

Cơ sở của phương pháp là sử dụng một chốt hình trụ hoặc côn, đĩa chốt có lỗ rỗng phù hợp với phần đầu của chốt. Chốt và đĩa chốt đều được gia công vật liệu cùng loại.

Thực tế thường sử dụng kiểu chốt và đĩa chốt dạng côn (hình 3.18) để tránh hiện tượng ma sát làm ảnh hưởng đến lực kéo đứt chốt trong quá trình kiểm tra. Khi lắp chốt vào đĩa chốt mặt chốt vừa ngang mặt phẳng đĩa chốt (kiểu lắp giữa chốt côn và đĩa chốt là kiểu lắp khít).

Lớp phủ được tạo ra trên bề mặt chung giữa chốt và đĩa chốt. Quá trình kiểm tra độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền, bằng việc tiến hành kéo chốt ra khỏi đĩa chốt và tỷ lệ giữa lực kéo tối đa trên diện tích mặt chốt chính là độ liên kết lớp hàn đắp với nền cần tìm được áp dụng theo công thức sau:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (kN / mm}^2\text{)} \quad (3.22)$$



Hình 3.18. Kiểm tra lớp đắp bằng phương pháp kéo chốt

b) Quy trình kiểm tra độ bền mối hàn lăn tiếp xúc dùng chốt kéo

Thực nghiệm được chế tạo như trình bày ở mục 3.2.2.1-b được hàn với các chế độ lựa chọn thực nghiệm và:

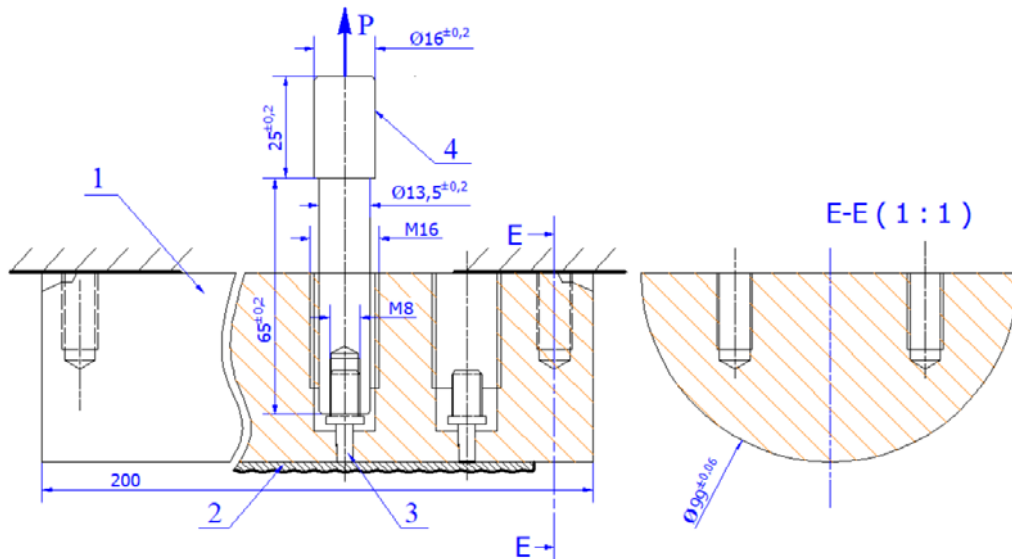
- Tách đôi trục hàn bằng việc cắt dọc lớp phủ hai cạnh bên, tháo 4 vít lắp ghép, tháo nút ren chặn chốt.

- Cắt rời từng phần trục hàn có gai chốt kiểm tra hình 3.19.



Hình 3.19. Cắt trục hàn thành các thành phần kiểm tra

- Lắp ghép ống nối với phần ren ở đuôi của chốt theo sơ đồ hình 3.20.



1- nửa trục hàn; 2- lớp hàn đắp; 3- chốt kéo hình côn; 4- trục nối dài
 Hình 3.20. Lắp ghép ống nối với phần ren ở đuôi của chốt

- Tiến hành tách các chốt ra khỏi mối hàn bằng thiết bị thử kéo, uốn WEW 1000B, Phương pháp thử áp dụng theo TCVN197-1:2014 [44] tại Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN (IEMM) được thể hiện trên hình 3.21.

Giá trị độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền là giá trị trung bình cộng của ba lần kéo đứt chốt trên cùng một mẫu hàn thực nghiệm.



Hình 3.21. Kéo đứt chốt hàn trên máy thử kéo WEW 1000B

3.4.2.2. Phương pháp xác định độ cứng lớp hàn

a) Độ cứng thô đại bề mặt mối hàn:

Xác định độ cứng bề mặt mối hàn sử dụng phương pháp đo độ cứng Rockwell thang C (HRC), với việc dùng một mũi nhọn kim cương có góc ở đỉnh là 120° và bán kính cong $R = 0,2\text{mm}$ để ấn lên bề mặt thử.

Độ cứng HR được xác định theo công thức.

$$HR = k - \frac{h}{e} \quad (HRC) \quad (3.23)$$

Trong đó: k là hằng số (mũi kim cương thì $k = 100$; e là giá trị một độ chia ($e = 0,002\text{mm}$); h là chiều sâu ấn với lực tải sơ bộ $P_1 = 98,07\text{N}$ và lực thử chính thức $P_2 = 1373\text{N}$, và tổng lực sau hai lần thử là 1471N .

Giá trị độ cứng mỗi hàn là giá trị đo trung bình cộng của năm điểm đo bất kỳ trên mỗi mẫu thực nghiệm.

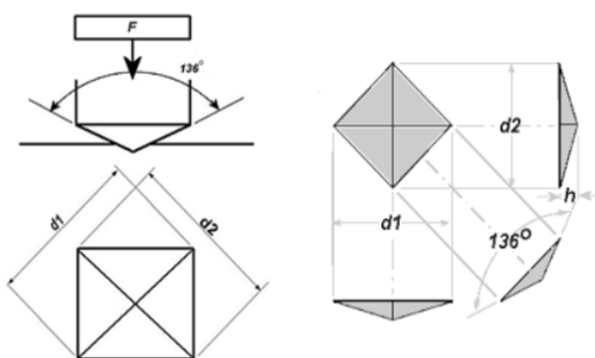
Các giá trị độ cứng bề mặt của lớp hàn sau khi hàn lăn tiếp xúc được đo sau khi đã gia công cơ bề mặt chi tiết đạt kích thước theo yêu cầu.

Quy trình gia công cơ bề mặt lớp hàn đắp được tác giả thực hiện bao gồm các công đoạn: Tiện thô, tiện tinh, và mài đạt độ nhám bề mặt là $R_a = 1,25$. Trong quá trình gia công luôn có sử dụng dung dịch trơn nguội để khắc phục và giảm thiểu hiện tượng sinh nhiệt làm thay đổi tổ chức của lớp bề mặt hàn đắp.

Quá trình kiểm tra độ cứng thô đại được tiến hành trên thiết bị HPO-250 theo TCVN 257-1:2007 [45], Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN (IEMM) được thể hiện trên hình 3.22.

b) Độ cứng mặt cắt mối hàn:

Sử dụng đo độ cứng Vickers bằng mũi thử kim cương hình chóp 4 cạnh có kích thước tiêu chuẩn, góc giữa các mặt phẳng đối diện là $136^\circ (\pm 30)$ với tải trọng là 100g. Sau đó đo đường chéo d của vết lõm được thể hiện trên hình 3.23.



Hình 3.23. Sơ đồ xác định độ cứng Vicker



Hình 3.22. Máy đo độ cứng thô đại HPO-250



Hình 3.24. Máy đo độ cứng tế vi 401-MVD-Wilson Wolpert

Kết quả độ cứng được tính bằng lực thử F chia cho diện tích bề mặt lõm A (F/A) theo công thức:

$$HV = k \frac{F}{A} = 0,102 \frac{F}{A} = 0,102 \frac{2F \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = 0,1891 \frac{F}{d^2} (HV) \quad (3.24)$$

Trong đó: k là hằng số ($k = 1/9,81 = 0,102$); F là lực thử; A là diện tích bề mặt lõm; d là độ dài đường trung bình; θ là góc hợp bởi hai mặt phẳng đối diện = 136° ;

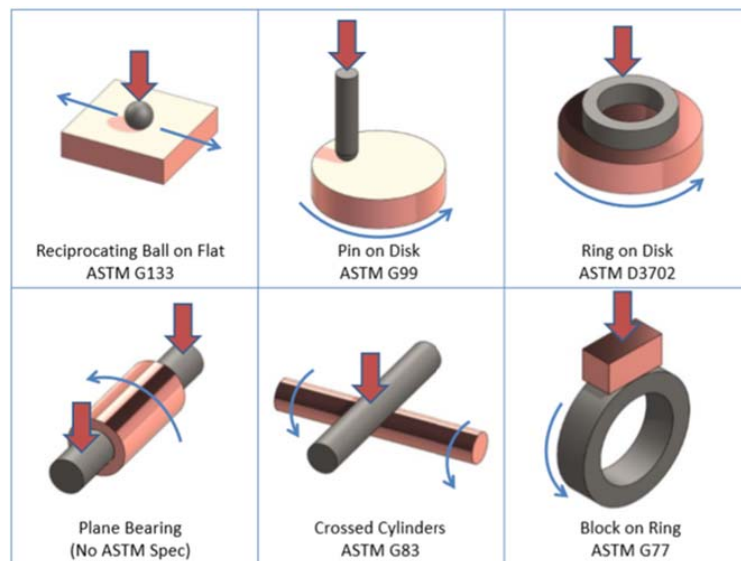
Đánh giá sự thay đổi độ cứng các vùng theo mặt cắt ngang mỗi hàn bao gồm: vùng hàn, vùng ảnh hưởng nhiệt và kim loại nền. Quá trình kiểm tra độ cứng mặt cắt ngang mỗi hàn được tiến hành trên thiết bị đo độ cứng tế vi 401-MVD-Wilson Wolpert, theo TCVN TCVN 258-1:2007 [46] như trên hình 3.24.

3.4.2.3. Phương pháp xác định cường độ mài mòn lớp hàn đắp

a) Nguyên lý của phương pháp

Phương pháp thử mài mòn mô tả quy trình phòng thí nghiệm để xác định độ mòn của cặp vật liệu khi chúng có sự chuyển động ma sát với nhau. Giá trị độ mòn được xác định bằng việc tính toán hao hụt về trọng lượng hay thể tích với một thời gian và một lực tải ấn định.

Một số phương pháp kiểm tra sự mài mòn của vật liệu theo tiêu chuẩn ASTM (hình 3.25). Để đánh giá được độ bền mòn của lớp hàn đắp nghiên cứu áp dụng tiêu chuẩn kiểm tra ASTM G99-05 [47] (Pin-on-Disk). Vì tiêu chuẩn này đang được áp dụng nhiều ở nước ta hiện nay.



Hình 3.25. Một số tiêu chuẩn kiểm tra mài mòn theo ASTM

b) Kiểm tra cường độ mài mòn mẫu hàn

Quá trình kiểm tra mài mòn mẫu hàn thực nghiệm như sau:

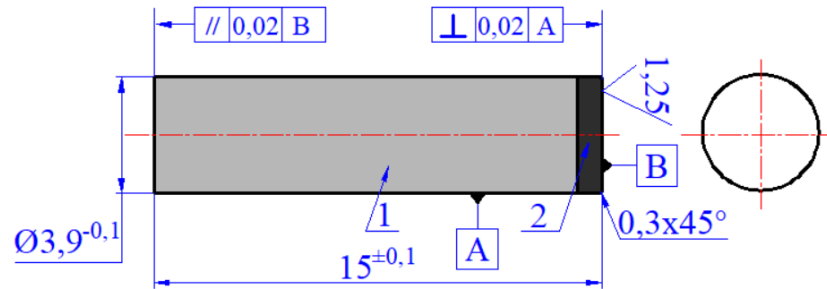
+ Chuẩn bị mẫu:

Mẫu thử mài mòn ở dạng trụ tròn lấy ra từ mẫu trục hàn đã được gia công đạt kích thước yêu cầu bằng phương pháp gia công cắt dây.

Bề mặt chốt sau khi cắt dây đã được tác giả gia công mài phẳng mặt đầu đạt độ nhám $R_a = 1,25$, tương đương với giá trị độ nhám bề mặt của chi tiết trục sau khi hàn và gia công cơ.

Trong quá trình mài bề mặt đầu của chốt luôn có sử dụng dung dịch trơn nguội để giảm thiểu sự thay đổi tổ chức do nhiệt sinh ra.

Mẫu thử mài mòn được gia công có hình dạng và kích thước như hình 3.26.



1- kim loại trục cơ bản; 2- kim loại lớp hàn đắp

Hình 3.26. Mẫu kiểm tra cường độ mài mòn

+ *Thiết bị*: Quá trình thí nghiệm kiểm tra cường độ mòn được thực hiện trên máy đo cường độ mòn và hệ số ma sát TE97-Friction theo tiêu chuẩn ASTM G99-05 [47], tại Viện Cơ khí Năng Lượng và Mỏ VINACOMIN (hình 3.27).



Hình 3.27. Thiết bị đo cường độ mòn và hệ số ma sát TE97- Friction

+ *Quá trình kiểm tra*: Cho cặp ma sát mài mòn tương đối thép - thép làm việc với tải trọng $P = \text{const}$, vận tốc $V = \text{const}$, $t = \text{const}$. Quá trình kiểm tra mài mòn có sử dụng dầu bôi trơn và hạt mài.

Cường độ mòn theo phương pháp trọng lượng được tính như sau:

$$I_m = \Delta P / (N.S) \text{ (g/N.mm)} \quad (3.25)$$

Trong đó: I_m - là cường độ mòn (g/N.mm)

ΔP - Độ hụt trọng lượng của mẫu thử sau thí nghiệm (kg)

N - Tải trọng thử (N)

S - Quãng đường di chuyển của mẫu: $S = n \times 2 \times \pi \times R$ (m)

n - tổng số vòng quay

R - bán kính trượt

c) So sánh cường độ mài mòn của mẫu hàn

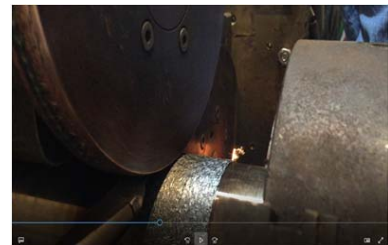
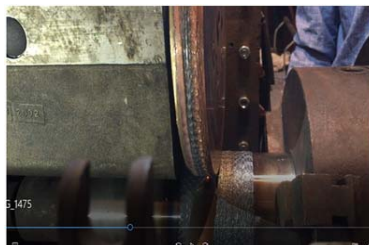
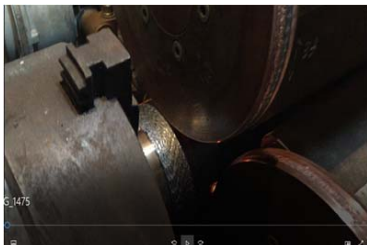
Để đánh giá độ bền mòn của các mẫu hàn, tiến hành so sánh độ bền mòn của tất cả những mẫu thử mòn được lấy ra từ 09 mẫu hàn thực nghiệm (đại diện cho chi tiết trục thép C45 được hàn phục hồi bởi công nghệ hàn lăn tiếp xúc, vật liệu phụ dây thép C70), với mẫu thử mòn được gia công từ vật liệu thép C45 nhiệt luyện có độ cứng tương đương (đại diện cho chi tiết trục thép C45 chế tạo mới và tôi cải thiện).

3.5. Quá trình thực nghiệm thăm dò

3.5.1. Lựa chọn thông số chế độ công nghệ

Trong quá trình hàn, ngoài việc thực hiện theo quy trình, các bước công nghệ phù hợp thì các thông số chế độ công nghệ đóng vai trò hết sức quan trọng. Vì vậy việc lựa chọn thông số công nghệ hàn phục hồi hợp lý sẽ làm giảm thiểu các thí nghiệm sai hỏng, cũng như đạt được các mục tiêu chất lượng đầu ra đảm bảo yêu cầu. Vì vậy việc nghiên cứu tìm ra khoảng thông số công nghệ đầu vào nhằm đạt được các kết quả chất lượng đầu ra tốt nhất là rất quan trọng và cần thiết.

Trên cơ sở lý thuyết trình bày trong chương 2 mục 2.4 và các thí nghiệm thăm dò ban đầu với mục đích thử nghiệm thiết bị và thực hiện công nghệ cho thấy mỗi hàn được hình thành trong khoảng giá trị thông số công nghệ: cường độ dòng điện hàn $I_h = 5,5 \div 9 \text{ kA}$; lực ép điện cực $F = 1,5 \div 2,5 \text{ kN}$; thời gian hoạt động của xung điện $t_i = 0,02 \div 0,06 \text{ s}$; thời gian gián đoạn giữa hai xung điện $t_n = 0,06 \div 0,08 \text{ s}$; vận tốc hàn $V_h = 1,5 \div 2 \text{ cm/s}$; bước tiến hàn $S_t = 1,5 \div 2,5 \text{ mm/vòng}$ khi hàn mẫu trục $\varnothing 99$ làm từ vật liệu C45 với dây hàn phụ làm từ vật liệu C70 có đường kính 1,8mm. Quá trình thực hiện các mẫu hàn ở các chế độ lựa chọn thăm dò được thể hiện trên hình 3.28.





Hình 3.28. Hình ảnh quá trình và một số mẫu hàn thực nghiệm thăm dò

Quan sát ngoại dạng hình ảnh bề mặt các mẫu hàn trên hình 3.28 có bề mặt lớp hàn đắp đồng đều và không thấy các khuyết tật bề mặt như nứt, rỗ, vết bắn tóe.

3.5.2. Một số kết quả thí nghiệm thăm dò

a) Kết quả chụp ảnh bề mặt.

Bề mặt hàn đắp một số mẫu hàn với các chế độ lựa chọn thăm dò được thể hiện trên hình 3.29.

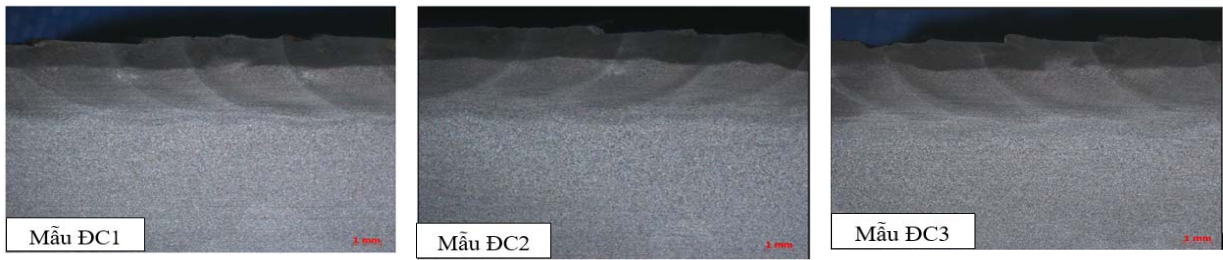


Hình 3.29. Một số mẫu hàn thăm dò chế độ công nghệ

b) Kết quả tổ chức thô đại

Tiến hành chụp ảnh tổ chức thô đại 3 mẫu (ĐC1, ĐC2, ĐC3) trong đó mẫu chế độ hàn mẫu ĐC1: $I_h = 8,5\text{kA}$; $F = 2,3\text{kN}$; $t_i = 0,04\text{s}$; $t_n = 0,08\text{s}$; $V_h = 2\text{cm/s}$; $S_t = 2,5\text{mm/vòng}$; ĐC2: $I_h = 7,5\text{kA}$; $F = 2\text{kN}$; $t_i = 0,04\text{s}$; $t_n = 0,08\text{s}$; $V_h = 1,75\text{cm/s}$; $S_t = 2\text{mm/vòng}$; ĐC3: $I_h = 6,5\text{kA}$; $F = 1,7\text{kN}$; $t_i = 0,04\text{s}$; $t_n = 0,08\text{s}$; $V_h = 1,5\text{cm/s}$; $S_t = 1,5\text{mm/vòng}$; Lưu lượng nước làm mát cho cả 3 mẫu là $Q_n = 1\text{ lít/phút}$.

Tổ chức thô đại liên kết hàn được tiến hành chụp trên kính hiển vi quang học Axiovert 40 Mat (Carl zeiss), phương pháp thử ASTM E340-13, tại Trung tâm đánh giá hư hỏng vật liệu COMFA - Viện Khoa học Vật liệu như trên hình 3.30.



Hình 3.30. Tổ chức thô đại mẫu hàn thăm dò (16x)

Kết quả chụp tổ chức thô đại mỗi hàn cho thấy sự liên kết của kim loại mỗi hàn với kim loại cơ bản, lớp hàn thứ 1 với lớp hàn thứ 2, liên kết kim loại sau mỗi xung điện có sự giao thoa và chuyển tiếp khá tốt, nó thể hiện sự gắn kết cao giữa các bề mặt liên kết. Tổ chức mẫu hàn cũng cho thấy sự phân biệt khá rõ ràng giữa các vùng liên kết. Vùng ảnh hưởng nhiệt của các mẫu tương đối hẹp, điều này cho thấy ưu điểm của phương pháp hàn lăn tiếp xúc vật liệu phụ dây thép.

c) Kết quả độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

Quá trình kiểm tra độ bền liên kết lớp kim loại đắp với kim loại trực cơ bản được trình bày trong mục 3.4.2.1. Kết quả kiểm tra thăm dò được thực hiện trên ba mẫu hàn với các chế độ hàn ở mục (b), và được thực hiện trên máy thử kéo, uốn WEW 1000B. Phương pháp thử áp dụng theo TCVN197-1:2014 [44] tại Phòng thí nghiệm vật liệu tính năng kỹ thuật cao - Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN có kết quả cho trong bảng 3.8.

Bảng 3.8. Kết quả thăm dò giới hạn bền kéo lớp hàn đắp với nền

Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Kết quả		
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
Lực kéo đứt	N	5000	5100	4900
Giới hạn bền	N/mm ²	398	406	390

d) Kết quả độ cứng bề mặt lớp đắp

Kết quả kiểm tra độ cứng của 03 mẫu theo chế độ hàn ở mục (b). Quá trình kiểm tra được thực hiện trên thiết bị HPO-250 theo tiêu chuẩn TCVN257-1:2007 [45] tại Phòng thí nghiệm vật liệu tính năng kỹ thuật cao - Viện Cơ Khí Năng Lượng và Mỏ - VINACOMIN (IEMM), Kết quả kiểm tra cho trong bảng 3.9 là kết quả trung bình của 5 điểm đo.

Bảng 3.9. Kết quả kiểm tra độ cứng mẫu thăm dò

Mẫu kiểm tra	Mẫu ĐC1	Mẫu ĐC2	Mẫu ĐC3
Giá trị đo TB (HRC)	51	47	45

Như trình bày trên mục 3.5.1 khi hàn với thông số chế độ công nghệ: $I_h = 5,5 \div 9 \text{kA}$; $F = 1,5 \div 2,5 \text{kN}$; $t_i = 0,02 \div 0,06 \text{s}$; $t_n = 0,06 \div 0,08 \text{s}$; $V_h = 1,5 \div 2 \text{cm/s}$; $S_t = 1,5 \div 2,5 \text{mm/vòng}$ thì mỗi hàn được hình thành. Tuy nhiên qua một số các thí nghiệm thăm dò cho thấy chất lượng bề mặt mỗi hàn được hình thành ổn định với các khoảng thông số chế độ: $I_h = 6,5 \div 8,5 \text{kA}$; $F = 1,7 \div 2,3 \text{kN}$; $t_i = 0,04 \text{s}$; $t_n = 0,08 \text{s}$; $V_h = 1,5 \div 2 \text{cm/s}$; $S_t = 2,5 \text{mm/vòng}$.

Trên cơ sở phân tích lý thuyết và kết quả các thí nghiệm thăm dò tác giả lựa chọn bộ thông số công nghệ hàn thực nghiệm với các mức khác nhau, nhằm khảo sát miền thông số cho ra được chỉ tiêu chất lượng đạt yêu cầu, được trình bày trong bảng 3.10.

Bảng 3.10. Thông số công nghệ hàn thực nghiệm

Thông số công nghệ	Ký hiệu	Đơn vị	Mức 1	Mức 2	Mức 3
Đường kính trục hàn	D_t	mm	99	99	99
Đường kính dây hàn	d_d	mm	1,8	1,8	1,8
Dòng điện hàn	I_h	kA	6,5	7,5	8,5
Đường kính điện cực	D	mm	220	220	220
Lực ép điện cực	F	kN	1,7	2,0	2,3
Thời gian xung điện	t_i	s (giây)	0,04	0,04	0,04
Thời gian dừng xung điện	t_n	s (giây)	0,08	0,08	0,08
Vận tốc hàn	V_h	cm/s	1,5	1,75	2
Bước tiến theo vòng xoắn ốc	S_t	mm/vòng	2,5	2,5	2,5
Lưu lượng nước làm mát	Q_n	Lít/phút	1,0	1,0	1,0

Có rất nhiều thông số có ảnh hưởng đến quy trình công nghệ cũng như chất lượng liên kết hàn khi hàn lăn tiếp xúc phức hồi chi tiết trục như: Vật liệu trục hàn, đường kính trục hàn, vật liệu dây hàn, đường kính dây hàn, kính thước điện cực con lăn, dòng điện hàn I_h , thời gian hoạt động và nghỉ của xung điện hàn t_i , t_n , lực ép từ phía điện cực con lăn F , tốc độ quay chi tiết trục hàn V_h , bước tiến S_t của trục hàn sau mỗi vòng quay xoắn ốc, lưu lượng nước làm mát Q_n , ... [86,107].

Qua một số tài liệu nghiên cứu [85,86,88,92,105,107] kết hợp với thí nghiệm thăm dò cho thấy các yếu tố thông số công nghệ như I_h , F , V_h có tầm ảnh hưởng và khả năng quyết định lớn đến quá trình thực hiện công nghệ cũng như chỉ tiêu chất lượng lớp hàn. Vì vậy tác giả lựa chọn ba thông số khảo sát chính là I_h , F , V_h với ba mức khác nhau được trình bày trên bảng 3.10.

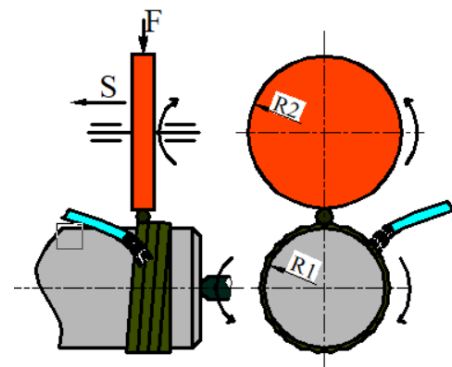
Ngoài thông số công nghệ I_h , F , V_h trên bảng 3.8, ta cũng cần quan tâm đến các thông số như:

+ Thời gian xung điện áp dụng một mức là $t_i = 0,04s$; $t_n = 0,08s$. Theo trình bày trên mục 2.3.6 và 2.4.2 thì đây là khoảng thời gian mỗi hàn bị chôn lún hoàn toàn và tạo được độ bền liên kết cao nhất giữa kim loại lớp hàn đắp với kim loại trực cơ bản.

+ Bước tiến hàn theo đường xoắn ốc nhỏ sẽ ảnh hưởng mạnh đến cấu trúc của lớp kim loại đắp, tăng chiều rộng vùng ram. Do đó làm giảm độ cứng, giảm độ bền mòn của lớp đắp bề mặt. Vì vậy bước tiến hàn sẽ được chọn một mức ở giá trị cao nhất mà vẫn đảm bảo được độ che phủ của lớp hàn đắp trên bề mặt trực hàn $S = 2,5mm$.

+ Lưu lượng nước làm mát không ảnh hưởng nhiều đến độ liên kết lớp hàn đắp với nền, song nó lại có sự ảnh hưởng khá lớn đến độ cứng và độ bền mòn của lớp hàn đắp. Với vật liệu dây hàn thép C70 là thép trước cùng tích tổ chức chủ yếu là ferit và peclit khi nung nóng đến nhiệt độ trên đường AC3 ($727-911^{\circ}C$), sau đó làm nguội nhanh và liên tục sẽ chuyển sang tổ chức không cân bằng mactenxit có độ cứng cao [14,141]. Trong quá trình thực nghiệm tác giả sử dụng thiết bị súng bắn nhiệt laser, cho thấy nước làm mát có tác dụng phù hợp tại khu vực có nhiệt độ khoảng trên $800^{\circ}C$ như trên hình 3.31. Tùy thuộc vào độ cứng yêu cầu mà ta sử dụng lưu lượng nước cho phù hợp. Thực nghiệm thăm dò cho thấy với lưu lượng nước làm mát $Q_n = 1$ lít/phút khi các thông số khác chọn như trên bảng 3.10 sẽ cho kết quả độ cứng đạt chỉ tiêu đặt ra khoảng $45\div 55HRC$.

Trường hợp sử dụng nước làm mát với lưu lượng lớn hơn, thậm chí cho dòng nước tác động trực tiếp vào vùng đang hàn thì độ cứng bề mặt trực hàn tăng lên và có thể đạt khoảng 60HRC, tuy nhiên bề mặt lớp hàn có thể xuất hiện các vết nứt nhỏ trên bề mặt.



Hình 3.31. Sơ đồ làm mát trực hàn

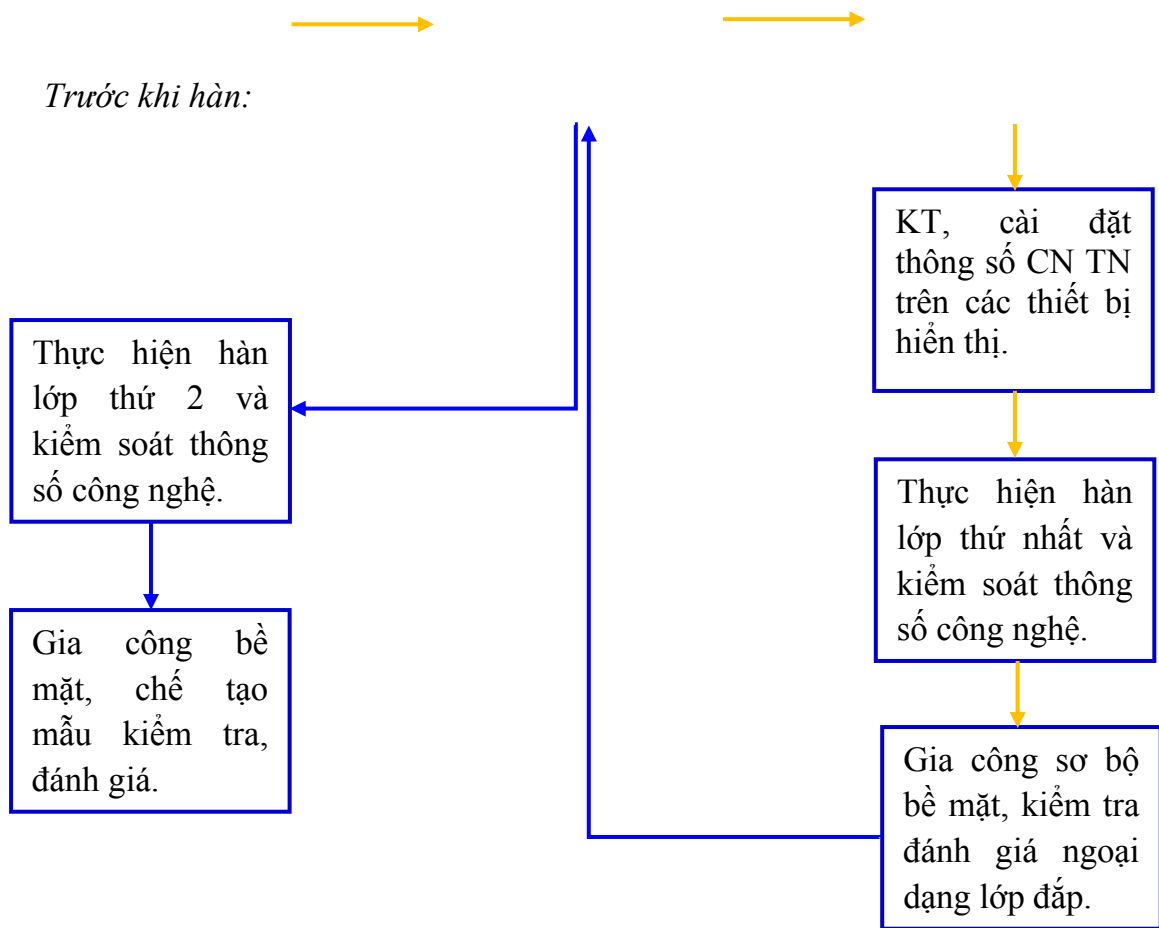
3.6. Các bước tiến hành hàn mẫu thực nghiệm

Tiến hành hàn mẫu theo sơ đồ hình 3.32, các bước được chuẩn bị và kiểm tra kỹ lưỡng như máy hàn, đồ gá, các hệ thống điều khiển và thiết bị đo đếm.... Thông số công nghệ của quá trình thực nghiệm theo bảng 3.11.

Kiểm tra sự hoạt động của máy, đồ gá, thiết bị đo kiểm....

Gá trực hàn lên đồ gá: đảm bảo kẹp chặt; đồng tâm....

KT các chuyển động của hệ thống khi chưa có dòng điện.



Hình 3.32. Sơ đồ các bước thực hiện hàn mẫu

Bảng 3.11. Thông số hàn các mẫu thực nghiệm

Số thí nghiệm	Mẫu số	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)
1	M1	6,5	1,7	1,5
2	M2	6,5	2,0	1,75
3	M3	6,5	2,3	2,0
4	M4	7,5	1,7	1,75
5	M5	7,5	2,0	2,0
6	M6	7,5	2,3	1,5
7	M7	8,5	1,7	2,0
8	M8	8,5	2,0	1,5
9	M9	8,5	2,3	1,75

Kết luận chương 3

1. Hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục được dựa trên nguyên lý của phương pháp hàn điện tiếp xúc đường gián đoạn. Dựa trên nhận biết này đã xây dựng được mô hình thực nghiệm. Thực hiện nghiên cứu phương pháp đã chế tạo được đồ gá công nghệ phù hợp với yêu cầu nghiên cứu, chuyển đổi chức năng của máy hàn điện tiếp xúc đường, kết nối hệ thống đồ gá với máy hàn ở mức độ cơ khí hóa và tự động hóa ở

mức cao. Lựa chọn được vật liệu và phương pháp chế tạo mẫu làm thí nghiệm phù hợp, vật liệu hàn tạo ra lớp hàn đáp ứng mục tiêu đặt ra của đề tài nghiên cứu.

2. Lĩnh vực nghiên cứu là có tính mới trong công nghệ hàn đắp phục hồi ở nước ta. Do đó đã tiến hành nghiên cứu các thí nghiệm thăm dò ban đầu để tìm ra các bước thực hiện và giải quyết vấn đề công nghệ. Tìm ra được khoảng chế độ mà thiết bị, công nghệ hình thành được mối hàn. Trên cơ sở đó tiếp tục các nghiên cứu thăm dò để thu hẹp khoảng thông số công nghệ đầu vào nhằm thu được những mối hàn có chất lượng ổn định. Xác định được giá trị các mức của các thông số công nghệ: I_h (6,5; 7,5; 8,5 kA); F (1,7; 2,0; 2,3 kN) và V_h (1,5; 1,75; 2,0 cm/s) để tiến hành thí nghiệm.

3. Lựa chọn được các thiết bị đo kiểm thông số đầu vào; thiết bị, phương pháp nghiên cứu đánh giá các đặc trưng chất lượng lớp hàn đắp đạt độ tin cậy.

4. Thực hiện thành công công nghệ phục hồi chi tiết máy dạng trục bằng hàn lăn tiếp xúc với vật liệu phụ dây thép trong phòng thí nghiệm và có thể áp dụng công nghệ này vào sản xuất phục hồi, chế tạo mới các chi tiết máy dạng trục.

5. Lựa chọn phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi với mảng trực giao phù hợp (mảng L9) cho việc xác định các phương án tiến hành thực nghiệm, đồng thời áp dụng phân tích phương sai ANOVA để xác định mức hợp lý và giá trị ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chỉ tiêu cơ tính yêu cầu.

6. Xây dựng phương pháp đánh giá ảnh hưởng, xác định mức phù hợp của các thông số công nghệ nhằm đảm bảo đồng thời các chỉ tiêu cơ tính của lớp hàn đắp thông qua việc phân tích quan hệ Grey và Taguchi truyền thống.

CHƯƠNG 4

KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Quá trình thực nghiệm các mẫu hàn lăn tiếp xúc phức hồi chi tiết dạng trục, các kết quả thực nghiệm được nghiên cứu đánh giá thông qua các chỉ tiêu về cấu trúc như: hình dạng bề mặt mối hàn; tổ chức tế vi vùng hàn, vùng tiếp giáp kim loại mối hàn với kim loại nền, vùng ảnh hưởng nhiệt; thành phần hóa học mối hàn. Các chỉ tiêu về cơ tính như: độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền, độ cứng thô đại bề mặt mối hàn, độ cứng tế vi mặt cắt ngang mối hàn, độ bền mòn lớp hàn đắp. So sánh và đánh giá độ bền mòn của các mẫu trục C45 hàn lăn tiếp xúc phức hồi vật liệu phụ dây thép C70 với các mẫu trục C45 chế tạo mới được nhiệt luyện đạt độ cứng tương đương.

4.1. Kết quả nghiên cứu cấu trúc lớp hàn

4.1.1. Tổ chức thô đại mối hàn

a) Hình dạng bề mặt mối hàn



Hình 4.1. Mẫu hàn và bề mặt mẫu hàn thực nghiệm

Hình dạng bề mặt mối hàn của 9 mẫu thực nghiệm với chế độ hàn được lựa chọn theo bảng 3.11, có bề mặt hàn đắp tương đối đồng đều. Bề mặt các mối hàn được quan sát bằng mắt thường, kính lúp cho thấy lớp hàn đắp được thực hiện bởi phương pháp

đề xuất đều được hình thành khá ổn định. Các vảy hàn xếp đều và có độ kết dính tốt, khu vực hàn phục hồi đảm bảo được độ che phủ yêu cầu (hình 4.1).

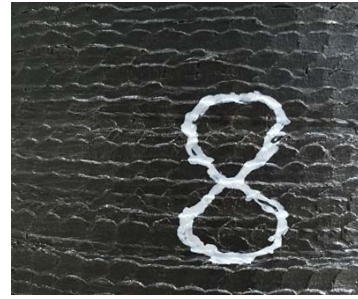
Quan sát các bề mặt mẫu hàn thực nghiệm ở các chế độ khác cho thấy những sự khác biệt giữa chúng cụ thể:

+ Khi hàn mẫu M3 với chế độ hàn $I_h = 6,5kA$; $F = 2,3kN$; $V_h = 2,0cm/s$. Mẫu thực nghiệm này được hàn với dòng điện ở mức thấp, lực ép ở mức cao, tốc độ hàn ở mức cao. Nói cách khác là mẫu hàn có mức tác động nhiệt thấp (I_h nhỏ) và tác dụng trong thời gian ngắn, khả năng biến dạng dẻo của dây hàn phụ kém cho dù lực ép cao. Cho thấy bề mặt mối hàn biến dạng nhiệt ở mức độ thấp hơn, các đường hàn theo vòng xoắn ốc có sự chồn lún không hoàn toàn, có sự tách biệt rõ hơn được thể hiện trên ảnh chụp sát bề mặt đắp được thể hiện trên hình 4.2.

+ Khi hàn mẫu M8 với chế độ hàn $I_h = 8,5kA$; $F = 2,0kN$; $V_h = 1,5cm/s$. Tức mẫu được hàn với mức nhiệt cao trong khoảng thời gian dài và lực ép trung bình. Quan sát bề mặt mối hàn cho thấy các vảy hàn xếp đều, do biến dạng nhiệt lớn các vảy hàn này có hướng độn ngược so với hướng của bước tiến trục hàn. Các lớp hàn liền kề theo đường xoắn ốc dàn đều không còn để lại những khe rãnh. Mối hàn có độ bám cao song bề mặt có một vài chỗ tồn tại các vảy sòm được thể hiện trên hình 4.3.



Hình 4.2. Bề mặt mối hàn M3: $I_h = 6,5kA$; $F = 2,3kN$; $V_h = 2,0cm/s$



Hình 4.3. Bề mặt mối hàn M8: $I_h = 8,5kA$; $F = 2,0kN$; $V_h = 1,5cm/s$

b) Tổ chức thô đại mối hàn

Tổ chức thô đại của liên kết hàn được kiểm và cho kết quả hình ảnh trên hình 4.4.

+ Dựa trên kết quả hình ảnh chụp tổ chức thô đại mối hàn cho thấy sự liên kết khá ổn định giữa kim loại hai lớp hàn, giữa kim loại hàn với kim loại nền, giữa các lớp hàn sau mỗi xung điện hàn.

+ Các vùng liên kết có sự phân biệt khá rõ ràng, vùng liên kết tiếp giáp, vùng ảnh hưởng nhiệt rất hẹp. Điều này có thể giải thích do quá trình hàn kim loại hàn không bị nóng chảy mà chỉ có vùng tiếp giáp (vùng tạo ra điện trở tiếp xúc) mới có hiện tượng chảy dẻo, do đó kim loại sẽ được hòa trộn, khuếch tán tạo ra liên kết trong vùng hẹp.

Quá trình hàn không có sự nóng chảy của kim loại hàn cũng như kim loại nền, sự hòa trộn của chúng rất nhỏ nên độ cứng và cấu trúc sẽ đồng đều hơn so với hàn nóng chảy.

+ Bề dày lớp hàn đắp tương đối đồng đều và có độ dày sau gia công đạt được mục tiêu phục hồi đặt ra là 1mm.



M1: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 1,7kN$; $V_h = 1,5cm/s$



M2: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 1,75cm/s$



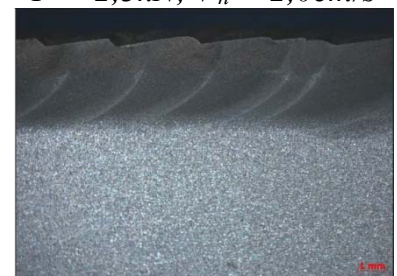
M3: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 2,0cm/s$



M4: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 1,7kN$; $V_h = 1,75cm/s$



M5: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 2,0cm/s$



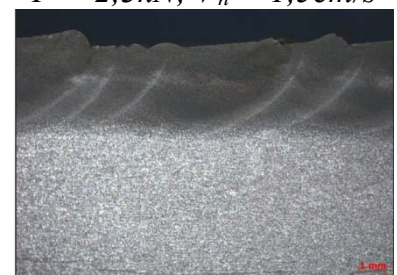
M6: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 1,5cm/s$



M7: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 1,7kN$; $V_h = 2,0cm/s$



M8: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 1,5cm/s$



M9: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 1,75cm/s$

Hình 4.4. Tổ chức thô đại mối hàn các mẫu thực nghiệm 16x

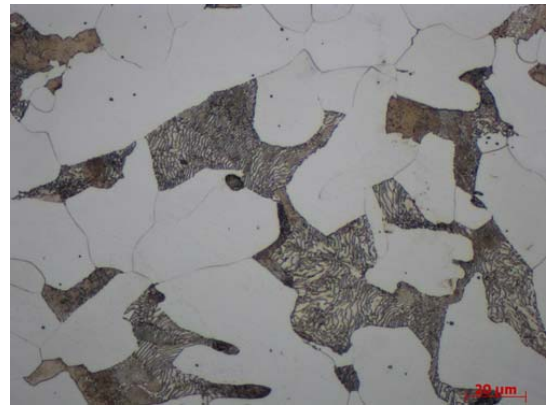
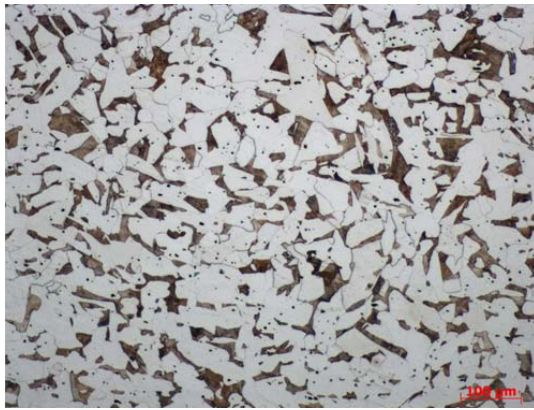
4.1.2. Tổ chức tế vi liên kết hàn

Tổ chức tế vi của liên kết hàn bao gồm tổ chức tế vi của mối hàn, vùng tiếp giáp kim loại hàn với kim loại nền, và vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ). Việc tạo ra liên kết hàn có tổ chức đạt độ cứng cao lớp hàn đắp, độ bền liên kết cao giữa lớp đắp với nền, mà vẫn có độ dẻo dai của bản thân chi tiết trực là yêu cầu đặt ra với hầu hết các công nghệ phục hồi từ phương pháp hàn.

4.1.2.1. Tổ chức tế vi vùng hàn

a) Tổ chức tế vi kim loại hàn cơ bản

Tổ chức tế vi vùng cơ bản mẫu thực nghiệm được trình bày trên hình 4.5



Tổ chức tế vi kim loại hàn cơ bản 100x

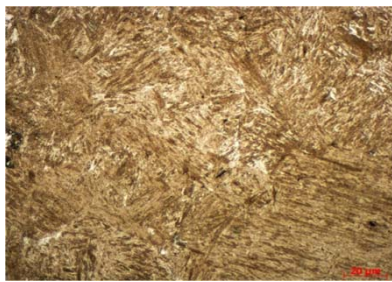
Tổ chức tế vi kim loại hàn cơ bản 500x

Hình 4.5. Tổ chức tế vi kim loại hàn cơ bản

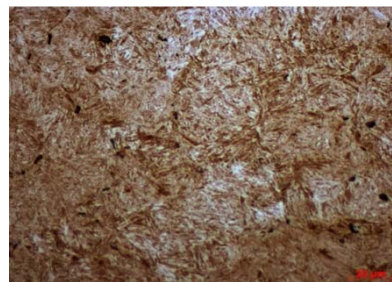
Trên hình ảnh chụp tế vi kim loại hàn cơ bản cho thấy tổ chức chủ yếu gồm hai pha kim loại cơ bản đó là ferit (màu sáng), peclit (màu tối) và tạp chất.

b) Tổ chức tế vi kim loại mối hàn

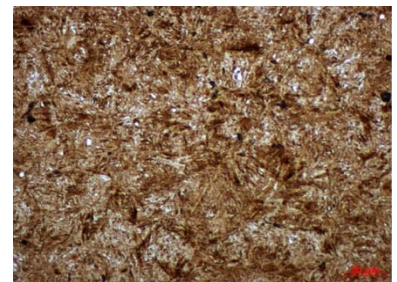
Tổ chức tế vi vùng hàn các mẫu thực nghiệm được trình bày trên hình 4.6



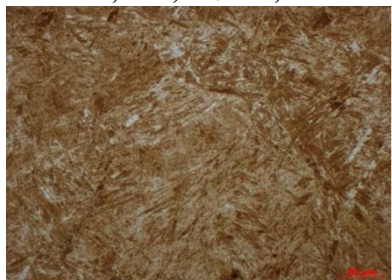
M1: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 1,7kN$; $V_h = 1,5cm/s$



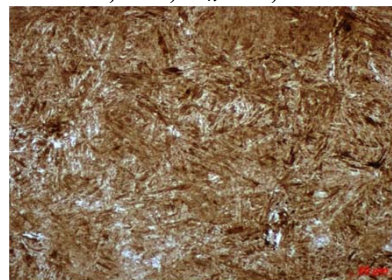
M2: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 1,75cm/s$



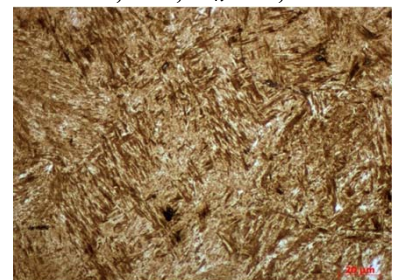
M3: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 2,0cm/s$



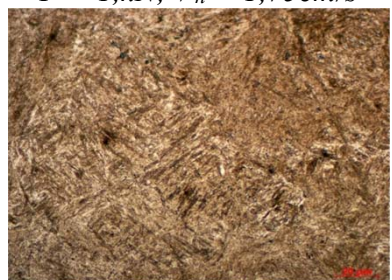
M4: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 1,kN$; $V_h = 1,75cm/s$



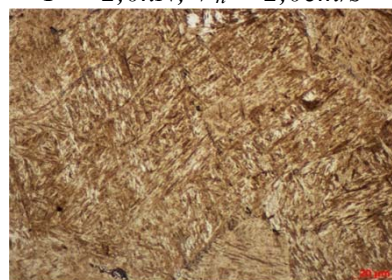
M5: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 2,0cm/s$



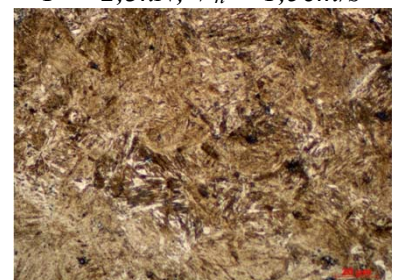
M6: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 1,5cm/s$



M7: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 1,7kN$; $V_h = 2,0cm/s$



M8: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 1,5cm/s$



M9: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 1,75cm/s$

Hình 4.6. Tổ chức tế vi mối hàn 500x

Thông qua hình ảnh chụp tổ chức tế vi vùng mối hàn của liên kết hàn thực nghiệm, có một số nhận xét đánh giá sau:

+ Khi hàn với sự thay đổi các thông số công nghệ hàn theo thiết kế thực nghiệm Taguchi mảng L9 cho thấy tổ chức tế vi của các mối hàn khá giống nhau. Hình ảnh cho thấy tổ chức chủ yếu gồm hai pha là mactenxit hình kim (màu thẫm) và austenite dư (màu sáng).

+ Tổ chức vật liệu ban đầu gồm hai thành phần pha là ferit sáng và peclit tối, còn tổ chức sau khi hàn lại là tổ chức mactenxit hình kim (màu tối) và austenite (màu sáng), điều đó được giải thích bởi nguyên nhân tác động nhiệt trong quá trình hàn đã làm các pha ferit và peclit chuyển biến thành các pha austenite. Ngay sau đó mối hàn được làm nguội nhanh bởi dòng nước làm mát (cung cấp nước làm mát ở khu vực có nhiệt độ khoảng 800°C - xảy ra hiện tượng tôi thép), khi đó tốc độ nguội vượt tốc độ tôi tới hạn. Do đó phần lớn các pha austenite không kịp chuyển biến thành hỗn hợp ferit-xementit, mà chỉ có chuyển biến thù hình (chuyển kiểu mạng tinh thể) từ tổ chức austenite (tâm mặt) chuyển thành mactenxit (chính phương tâm khối). Quá trình chuyển biến và làm nguội không liên tục và hoàn toàn, nên trong tổ chức mối hàn còn tồn tại tổ chức austenite dư (màu sáng).

+ Tổ chức mactenxit là tổ chức không ổn định xuất hiện trong mối hàn làm cho độ cứng và độ bền mòn của nó tăng nên đáng kể.

+ Khi hàn với dòng điện ở mức cao (năng lượng nhiệt tác dụng lớn), tốc độ hàn chậm (thời gian giữ nhiệt lâu). Đó là điều kiện để tổ chức ferit, peclit chuyển biến thành austenite khi nung rồi chuyển tiếp sang tổ chức mactenxit khi làm nguội.

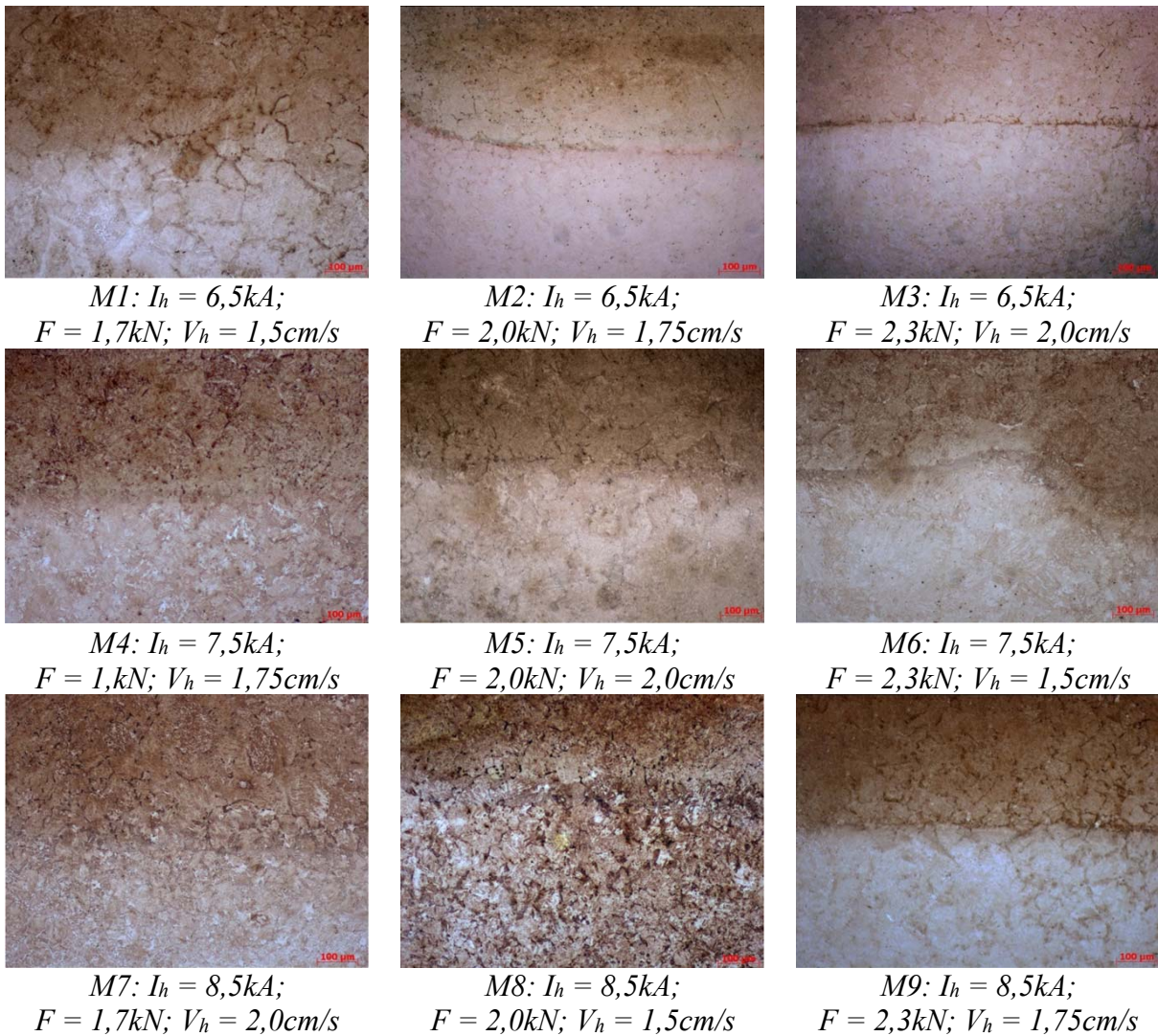
+ Từ các hình ảnh chụp tổ chức tế vi cho thấy mật độ mactenxit hình kim dày đặc hơn cả được thể hiện trên mẫu hàn M1, M6, M7, M8. Thông qua việc nghiên cứu tổ chức tế vi phần nào đánh giá được độ cứng lớp hàn đắp đó là các mẫu có mật độ mactenxit cao thì độ cứng tương ứng sẽ cao.

4.1.2.2. Tổ chức tế vi vùng tiếp giáp kim loại hàn với kim loại nền

Tổ chức tế vi vùng tiếp giáp kim loại lớp hàn đắp với lớp nền các mẫu thực nghiệm được kiểm tra và cho kết quả hình ảnh như hình 4.7.

Thông qua ảnh chụp tổ chức tế vi trên hình 4.7 cho thấy:

+ Vùng tiếp giáp kim loại lớp hàn đắp với kim loại nền trực cho thấy các mẫu hàn đều có sự liên kết là tương đối tốt.



Hình 4.7. Tổ chức tế vi vùng tiếp giáp lớp hàn với nền 100x

+ Kim loại vùng hàn và vùng kim loại nền được phân biệt khá rõ ràng. Tổng quan cho thấy vùng mối hàn có màu tối hơn so với vùng kim loại cơ bản. Điều này được giải thích bởi lớp hàn có tỷ lệ cacbon cao và nhiệt tác động nhiều, ứng suất dư tồn tại lớn nên nó có khả năng bị ăn mòn cao hơn khi sử dụng hóa chất tầm thực.

+ Các mẫu hàn thực nghiệm thể hiện sự chuyển tiếp kim loại giữa hai vùng tiếp giáp tốt hơn đối với các mẫu hàn có dòng cao, lực ép nhỏ và tốc độ thấp. Tuy nhiên độ ổn định của liên kết cho thấy ở các mẫu thực nghiệm khi hàn với dòng điện hàn ở mức trung bình (M4, M5, và M6).

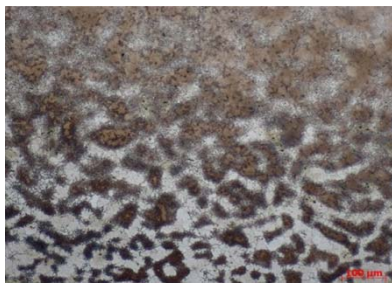
+ Các mẫu hàn với dòng điện ở mức thấp và tốc độ hàn lớn cho thấy khả năng liên kết là chưa tốt, vùng tiếp giáp vẫn còn xuất hiện đường phân ranh giới rõ rệt, hiện tượng này cho thấy thông qua ảnh chụp tế vi vùng tiếp giáp của mẫu M2, M3.

+ Các mẫu hàn với dòng điện ở mức cao như mẫu M7, M8, M9 cho thấy sự liên kết giữa vùng kim loại hàn với vùng kim loại nền cũng khá tốt. Tuy nhiên các mẫu này

có xuất hiện vết màu đen nhiều hơn. Đặc biệt ở mẫu M8 rất khó phân biệt ranh giới vùng và xuất hiện các vết đen nhiều nhất. Hiện tượng này có thể được giải thích bởi nguyên nhân khi hàn dòng cao, tốc độ thấp và lực ép trung bình, tức nhiệt cung cấp dư thừa với một lực ép lớn sẽ tạo ra hiện tượng kim loại chảy tràn sang các vùng chưa hàn nhiều hơn, bắn tóe kim loại nhiều và đó là một nguyên nhân làm giảm chất lượng của liên kết hàn.

4.1.2.3. Tổ chức tế vi vùng kim loại cơ bản tiếp giáp với kim loại hàn đắp

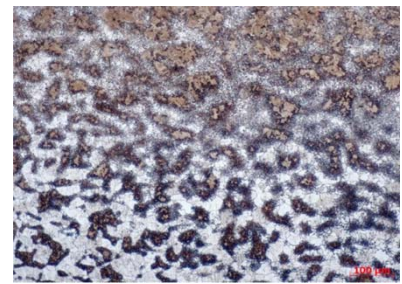
Tổ chức tế vi vùng kim loại cơ bản tiếp giáp với kim loại hàn đắp của các mẫu thực nghiệm được kiểm tra và cho kết quả như hình 4.8. Qua hình ảnh cho thấy sự thay đổi về tổ chức của kim loại cơ bản có liên quan đến chế độ cung cấp nhiệt lượng. Cụ thể các mẫu hàn với dòng thấp, tốc độ cao như mẫu M2, M3 thì sự thay đổi của tổ chức bề mặt kim loại cơ bản có độ sâu nhỏ, chứng tỏ nhiệt trong quá trình hàn truyền vào kim loại cơ bản là nhỏ. Khi hàn với dòng cao, tốc độ chậm thì sự thay đổi tổ chức của bề mặt kim loại cơ bản có độ sâu lớn hơn (mẫu M7, M8), điều này cho thấy nhiệt lượng trong quá trình hàn truyền vào bề mặt kim loại cơ bản nhiều hơn.



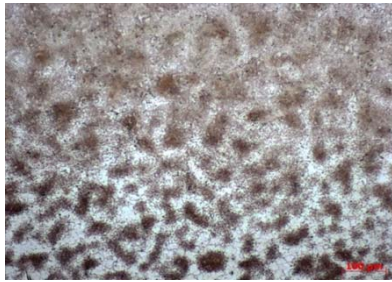
M1: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 1,7kN$; $V_h = 1,5cm/s$



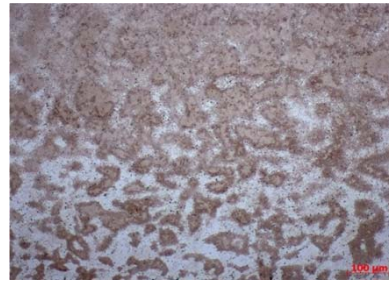
M2: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 1,75cm/s$



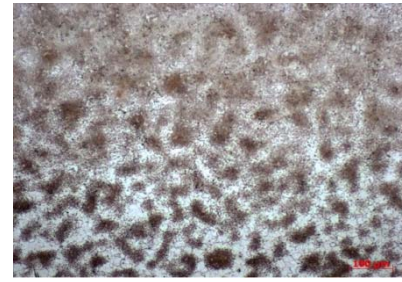
M3: $I_h = 6,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 2,0cm/s$



M4: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 1,kN$; $V_h = 1,75cm/s$



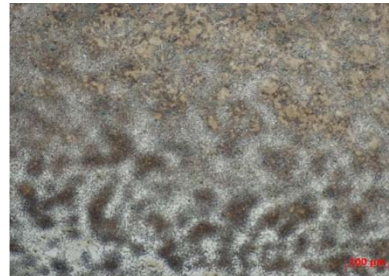
M5: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 2,0cm/s$



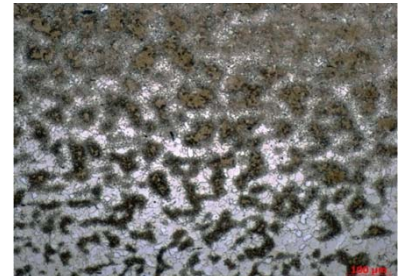
M6: $I_h = 7,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 1,5cm/s$



M7: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 1,7kN$; $V_h = 2,0cm/s$



M8: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 2,0kN$; $V_h = 1,5cm/s$



M9: $I_h = 8,5kA$;
 $F = 2,3kN$; $V_h = 1,75cm/s$

Hình 4.8. Tổ chức tế vi vùng ảnh hưởng nhiệt

4.1.3. Phân tích thành phần hóa học mỗi hàn

Thành phần hóa học của mỗi hàn được phân tích và cho kết quả trong bảng 4.1.

Bảng 4.1. Thành phần hóa học cơ bản của mỗi hàn các mẫu sau khi kiểm tra

Mẫu số	Thành phần nguyên tố (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
M3	0,5926	0,1550	0,4433	0,0097	0,0074	0,0503	0,0359	0,0053	0,0340	98,6369
M4	0,5871	0,1425	0,4364	0,0087	0,0069	0,0487	0,0345	0,0057	0,0353	98,6619
M8	0,5724	0,1405	0,4343	0,0081	0,0061	0,0484	0,0345	0,0057	0,0333	98,6859

Thành phần hóa học kim loại bề mặt lớp hàn đắp có ảnh hưởng lớn đến độ cứng và độ bền mòn của chi tiết phục hồi. Trong công nghệ hàn phục hồi nói chung người ta mong muốn sự duy trì ổn định của các thành phần có lợi cho cơ tính lớp đắp như cacbon, magan, silic.

Kết quả phân tích thành phần hóa học trong bảng 4.1 cho thấy các thành phần chính như cacbon, magan, silic, thấp hơn so với thành phần kim loại dây hàn (bảng 3.5). Điều này có thể kết luận là trong quá trình hàn xảy ra hiện tượng khuếch tán, ôxi hóa các nguyên tố, mức độ ôxi hóa tăng khi hàn với dòng điện lớn và tốc độ chậm, tức kim loại bị tác động ở nhiệt độ cao trong thời gian dài.

Sự ôxi hóa các nguyên tố có lợi cho cơ tính lớp hàn đắp như cacbon, magan, silic của phương pháp hàn điện tiếp xúc xảy ra ở mức thấp. Và đó cũng cho thấy ưu điểm nổi bật của phương pháp hàn phục hồi này so với các phương pháp hàn phục hồi bằng công nghệ nóng chảy.

4.2. Kết quả nghiên cứu cơ tính mỗi hàn

Chất lượng của chi tiết hàn phục hồi được thể hiện bởi các đặc trưng cơ tính của lớp hàn đắp phục hồi. Trong khi cơ tính lớp hàn lại phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: Công nghệ hàn, thiết bị và vật liệu hàn, thành phần hóa học mỗi hàn, cấu trúc tổ chức liên kết hàn, ... với mức độ ảnh hưởng khác nhau.

Kiểm tra cơ tính của chi tiết hàn đắp phục hồi thì yếu tố quan trọng hàng đầu là độ bền liên kết của lớp đắp với kim loại nền cơ bản, tiếp đến là độ cứng, độ bền mòn và độ bền bản thân chi tiết.

4.2.1. Độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trực cơ bản

Để tăng độ tin cậy về khả năng liên kết của lớp hàn đắp với kim loại nền của 09 mẫu thực nghiệm, tiến hành thử nghiệm trên mỗi mẫu hàn với 03 lần tách chốt hình côn ra khỏi lớp hàn đắp. Kết quả kiểm tra độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền chung của mẫu hàn được coi là giá trị trung bình của ba lần tách chốt được gài trên ba vị trí khác nhau của mẫu trực hàn thực nghiệm.

Độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền mẫu trực thực nghiệm khi hàn lần tiếp xúc cho kết quả cao và khá đồng đều, các kết quả được đánh giá thông qua hình chụp bề mặt chốt hình côn sau khi được tách khỏi lớp hàn hình 4.9 và kết quả kiểm tra được cho trong bảng 4.2.



Hình 4.9. Bề mặt tách của chốt hình côn ra khỏi môi hàn

Bảng 4.2. Giới hạn bền kéo lớp hàn đắp với nền trực cơ bản

STT	Tên mẫu	Chế độ hàn			Giới hạn bền kéo			
		I _h (kA)	F (kN)	V _h (cm/s)	Lần 1 (N/mm ²)	Lần 2 (N/mm ²)	Lần 3 (N/mm ²)	Trung bình (N/mm ²)
1	Mẫu 1	6,5	1,7	1,5	422	446	454	440
2	Mẫu 2	6,5	2,0	1,75	422	414	438	424
3	Mẫu 3	6,5	2,3	2,0	390	374	414	393
4	Mẫu 4	7,5	1,7	1,75	470	470	462	467
5	Mẫu 5	7,5	2,0	2,0	438	446	454	446
6	Mẫu 6	7,5	2,3	1,5	430	446	454	443
7	Mẫu 7	8,5	1,7	2,0	430	438	446	438
8	Mẫu 8	8,5	2,0	1,5	446	454	454	451
9	Mẫu 9	8,5	2,3	1,75	422	430	438	430

Từ các kết quả kiểm tra độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trực khi tách các chốt hình côn ra khỏi lớp hàn đắp tác giả có một số nhận xét và đánh giá sau.

+ Bề mặt các chốt côn hình 4.9 thể hiện khả năng liên kết rất cao của lớp kim loại hàn đắp với kim loại nền. Các bề mặt này không xuất hiện một lớp tách bề mặt mà là vết kéo đứt với độ nhấp nhô lớn bao gồm cả kim loại cơ bản lẫn kim loại mối hàn.

+ Khi thay đổi các giá trị của thông số công nghệ hàn I_h , F , V_h khác nhau cho thấy độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền đạt được các giá trị khác nhau.

+ Kết quả trong bảng 4.2 cho thấy khi tăng dòng điện hàn, giảm lực ép và giảm tốc độ hàn độ bền có xu hướng tăng lên. Các mẫu có dòng hàn ở mức thấp, lực ép và tốc độ hàn ở mức trung bình và cao thì độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền đạt kết quả thấp hơn tương đối nhiều (M2, M3) so với các mẫu hàn khác. Khi hàn với dòng hàn ở mức trung bình, lực ép ở mức thấp và trung bình có kết quả liên kết lớp hàn đắp với nền là cao nhất (M4, M5).

+ Các kết quả độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền cũng được phản ánh sự phù hợp thông qua các ảnh chụp tổ chức thô đại đã trình bày ở hình 4.4. Các mẫu hàn M4, M5, M6 có vùng chuyển tiếp giữa lớp đắp với kim loại nền có sự ổn định tốt, còn các mẫu M2, M3 có phần kém ổn định hơn. Độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền càng được thể hiện rõ hơn thông qua ảnh chụp tổ chức thô đại và tổ chức tế vi ở hình 4.4, và 4.7. Bề mặt liên kết tiếp giáp các mẫu hàn M2, M3 không ổn định, liên kết có sự phân vùng tách biệt giữa vùng hàn với nền. Còn lại các mẫu khác có sự liên kết ổn định và đồng đều hơn rất nhiều.

+ Trên cơ sở phân tích kết quả độ bền liên kết lớp hàn đắp, có thể giải thích là do quá trình hàn thực nghiệm các mẫu M2, M3 hàn với dòng điện ở mức thấp, tốc độ hàn ở mức trung bình và cao, tức năng lượng nhiệt tác dụng vào mối hàn nhỏ trong thời gian ngắn, kim loại mối hàn xảy ra hiện tượng biến dạng dẻo chưa hoàn toàn, mặc dù lực ép có tăng lên. Hiện tượng này được thể hiện rất rõ bởi hình ảnh chụp sát bề mặt mối hàn của mẫu M3 trên hình 4.2. Tuy nhiên khi hàn với dòng điện ở mức cao, lực ép lớn, tốc độ chậm như mẫu M8, M9 độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền khá tốt nhưng không phải các mẫu đạt giá trị cao nhất. Điều này có thể giải thích bởi các mẫu hàn này có mức độ tác động nhiệt lớn trong thời gian dài, dưới lực ép lớn làm dư thừa năng lượng nhiệt. Làm kim loại bị bắn tóe nhiều, kim loại chảy dẻo có xu hướng bị con lăn điện cực ép tràn sang các vùng chưa hàn nhiều hơn, tạo ra các ôxit kim loại nhiều hơn, đây chính là các tác động làm giảm độ bền liên kết của lớp hàn với nền kim loại. Hiện tượng này được thể hiện khá rõ trên ảnh chụp tế vi mẫu M8 hình 4.7.

+ Căn cứ vào giá trị độ bền kéo của kim loại cơ bản chế tạo chốt hình côn ở bảng 3.4 (có giá trị trung bình là 488N/mm²), so với kết quả kiểm tra độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền khi tách các chốt hình côn ở bảng 4.2 cho thấy: Mẫu có độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền thấp nhất M3 393N/mm² đạt 80,5%, mẫu có độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền cao nhất M4 là 95,7%. Tỷ lệ này cho thấy ưu điểm khá tốt của công nghệ hàn phục hồi bằng điện tiếp xúc.

4.2.2. Độ cứng kim loại mối hàn

4.2.2.1. Độ cứng thô đại bề mặt kim loại mối hàn đắp

Khi phục hồi chi tiết dạng trục sử dụng công nghệ hàn lăn tiếp xúc vật liệu phụ dây thép thì độ cứng bề mặt hàn đắp phụ thuộc chính vào các yếu tố như chế độ nhiệt tác động, lưu lượng nước làm mát, bước tiến hàn, thành phần hóa học của lớp hàn đắp.

Kết quả đo độ cứng được thực hiện trên 05 vị trí đo khác nhau trên bề mặt của mỗi mẫu hàn thực nghiệm, giá trị độ cứng chung của mỗi mẫu thực nghiệm là giá trị trung bình sau 05 lần đo, được thể hiện trong bảng 4.3.

Bảng 4.3. Độ cứng thô đại bề mặt lớp hàn đắp

STT	Tên Mẫu	I _h (kA)	F (kN)	V _h (cm/s)	Vị trí đo					Trung bình
					1	2	3	4	5	
1	Mẫu 01	6,5	1,7	1,5	51	54	53	52	53	53
2	Mẫu 02	6,5	2,0	1,75	48	47	50	51	49	49
3	Mẫu 03	6,5	2,3	2,0	45	47	48	48	49	47
4	Mẫu 04	7,5	1,7	1,75	49	53	53	50	51	51
5	Mẫu 05	7,5	2,0	2,0	50	48	49	51	54	50
6	Mẫu 06	7,5	2,3	1,5	53	49	54	52	53	52
7	Mẫu 07	8,5	1,7	2,0	54	51	55	54	55	54
8	Mẫu 08	8,5	2,0	1,5	55	56	53	54	57	55
9	Mẫu 09	8,5	2,3	1,75	52	49	53	49	54	51

Từ kết quả đo độ cứng thô đại bề mặt lớp hàn đắp các mẫu thực nghiệm trong bảng 4.3 có một số nhận xét đánh giá sau:

+ Khi hàn với dòng điện ở mức cao, tốc độ hàn chậm tức mối hàn bị tác động nhiệt cao và được giữ trong thời gian dài thì độ cứng bề mặt tăng lên mẫu M1, M7, M8. Ngược lại khi hàn với dòng nhỏ tốc độ hàn nhanh, mức tác động nhiệt nhỏ thì độ cứng mối hàn thấp hơn như mẫu M2, M3 mặc dù thành phần C, Mn, Si của mẫu M3 cao hơn M8 (bảng 4.1). Điều này cho thấy yếu tố của tôi bề mặt đắp trong quá trình hàn có

ảnh hưởng mạnh hơn so với yếu tố hao hụt một lượng nhỏ thành phần C, Mn, Si do bị ôxi hóa trong khi hàn.

+ Yếu tố ảnh hưởng mạnh đến độ cứng lớp hàn đắp là do yếu tố tôi bề mặt đắp được diễn ra ngay trong quá trình hàn do mức độ tác động nhiệt và tốc độ làm nguội nhanh của con lăn điện cực và nguồn nước làm mát trực từ bên ngoài. Quá trình tác động nhiệt làm biến đổi pha từ ferit, peclit thành austenite, khi làm nguội nhanh austenit không kịp tiết ra ferit-xementit mà chỉ biến đổi thành mactenxit có kiểu mạng tinh thể chính phương tâm khối có độ cứng cao, điều này cũng đã được giải thích bởi các hình ảnh chụp tổ chức tế vi lớp hàn ở mục 4.1.2.1-b.

Với việc lựa chọn vật liệu dây hàn, thông số công nghệ của quá trình thực nghiệm cho thấy các mẫu thực nghiệm đều đạt độ cứng khá cao, cơ bản đảm bảo được yêu cầu độ cứng chung đặt ra cho các chi tiết phục hồi là 45÷55HRC. Dựa trên kết quả độ cứng đạt được thì chi tiết trực phục hồi có thể không cần phải gia công nhiệt luyện sau hàn, đó là ưu điểm rất lớn mà công nghệ mang lại, nó sẽ tránh được các hiện tượng biến dạng nhiệt, bong tróc lớp đắp do quá trình nhiệt luyện sau hàn có thể xảy ra.

4.2.2.2. Độ cứng mặt cắt ngang kim loại mối hàn

Kết quả độ cứng mặt cắt ngang mối hàn được đánh giá thông qua giá trị đo cho trong bảng 4.4, và hình ảnh chụp vết đâm ở hình 4.10.

Bảng 4.4. Độ cứng mặt cắt ngang kim loại mối hàn

Đo độ cứng (HV1)										
Stt	Tên mẫu	Vùng hàn			Vùng ảnh hưởng nhiệt			Vùng kim loại cơ bản		
		Vị trí đo			Vị trí đo			Vị trí đo		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Mẫu 3	461	452	395	325	257	225	214	195	191
2	Mẫu 4	481	466	378	307	296	261	214	196	193
3	Mẫu 8	496	482	405	327	249	216	213	191	185



Hình 4.10. Ảnh chụp vết đâm độ cứng mặt cắt ngang mối hàn

+ Thông qua giá trị đo và ảnh chụp vết đâm độ cứng tế vi mặt cắt ngang mối hàn cho thấy vùng kim loại đắp có giá trị cao nhất (vết đâm nhỏ), tương ứng với bản chất của dây kim loại C70, sau đó là vùng ảnh hưởng nhiệt (vết đâm trung bình), thấp nhất là vùng kim loại nền (vết đâm lớn).

+ Vùng ảnh hưởng nhiệt do vật liệu chảy dẻo hòa trộn và có thể còn có các oxit kim loại hòa tan, đồng thời vùng này cũng chịu ảnh hưởng của quá trình tôi thép khi hàn thấp hơn lớp ngoài cùng nên độ cứng tế vi vùng này thấp hơn lớp hàn đắp và cao hơn so với nền.

+ Vùng kim loại cơ bản có giá trị độ cứng thấp nhất, tương ứng kim loại nền thép C45. Đồng thời vùng này hầu như không bị sự tác động của quá trình tôi thép khi hàn.

4.2.3. Độ bền mòn kim loại mối hàn

Lượng mòn và cường độ mài mòn của mẫu thử hàn được kiểm tra và cho giá trị trong bảng 4.5:

Bảng 4.5. Kết quả kiểm tra lượng mòn trung bình các mẫu hàn thực nghiệm

TT	Tên mẫu	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)	ΔP (g)	n (vòng)	S (mm)	N (N)	I_m (g/N.mm)
1	M1	6,5	1,7	1,5	0.0144	6160	580272	20	$1.24080.10^{-09}$
2	M2	6,5	2,0	1,75	0.0164				$1.41313.10^{-09}$
3	M3	6,5	2,3	2,0	0.0163				$1.40451.10^{-09}$
4	M4	7,5	1,7	1,75	0.0150				$1.29250.10^{-09}$
5	M5	7,5	2,0	2,0	0.0154				$1.32696.10^{-09}$
6	M6	7,5	2,3	1,5	0.0148				$1.27526.10^{-09}$
7	M7	8,5	1,7	2,0	0.0140				$1.20633.10^{-09}$
8	M8	8,5	2,0	1,5	0.0143				$1.23218.10^{-09}$
9	M9	8,5	2,3	1,75	0.0151				$1.30111.10^{-09}$

Kết quả đánh giá độ mài mòn mẫu thử ở bảng 4.5 cho thấy độ bền mòn của các mẫu hàn có sự tương quan với độ cứng lớp hàn đắp. Các mẫu có độ cứng cao như M1, M6, M7, M8 có độ bền mòn tương đương cũng cao, các mẫu có độ cứng thấp tương quan về độ bền mòn cũng thấp. Nhìn vào bảng 4.5 thấy các mẫu thử có độ cứng cao nhất (M8) lại không phải là mẫu có độ bền mòn cao nhất, còn mẫu số M7 có độ bền

mòn lớn nhất nhưng có độ cứng không phải cao nhất, mẫu số M3 có độ cứng thấp nhất nhưng có độ bền mòn cao hơn mẫu M2. Các nguyên nhân này được giải thích bởi tổ chức lớp hàn không thể có sự đồng đều như các tổ chức đúc, ngoài ra trong quá trình hàn có xảy ra các vùng ram kim loại sau mỗi vòng xoắn trục. Một nguyên nhân khác có thể là do chất lỏng làm mát được đưa trực tiếp vào gần khu vực hàn, một lượng nước rất nhỏ bị bắn trực tiếp vào vị trí hàn, khi đó không chỉ thu được lớp đắp có độ cứng cao cục bộ đồng thời còn cả sự không đồng nhất về cấu trúc của nó. Vị trí bị tác động nước trực tiếp trên lớp phủ sẽ xuất hiện ứng suất dư bất lợi và xuất hiện các vết nứt tế vi khi tôi (tổ chức tế vi mẫu M8 - hình 4.7), bởi vậy độ bền mòn của lớp đắp mẫu số M8 lại thấp hơn một chút so với thí nghiệm số M7.

4.3. Đánh giá độ bền mòn trục hàn phục hồi với trục chế tạo mới làm từ thép C45 tôi cải thiện

Để so sánh và đánh giá độ bền mòn của trục hàn phục hồi bằng hàn lăn tiếp xúc dây thép phụ C70, bằng việc chế tạo một mẫu được làm từ vật liệu C45 tôi bề mặt bằng dòng cao tần (đặc trưng cho chi tiết trục chế tạo mới và tôi cải thiện), nhằm tạo ra bề mặt có độ cứng tương đương với bề mặt của mẫu thử nghiệm hàn đắp phục hồi bằng hàn lăn tiếp xúc vật liệu dây thép C70 hình 4.11.



Hình 4.11. Mẫu thép C45 tôi cao tần

Quá trình tôi cải thiện mẫu thép C45 được thực hiện và xác nhận bởi Công ty TNHH thép và xử lý nhiệt Hoàng Anh - Quốc lộ 5A, số 168, Phố Nối, Mỹ Hào, Hưng Yên, đạt độ cứng 54HRC (chiều sâu lớp cứng 2mm) tương đương với độ cứng của mẫu hàn M7 trên bảng 4.3.

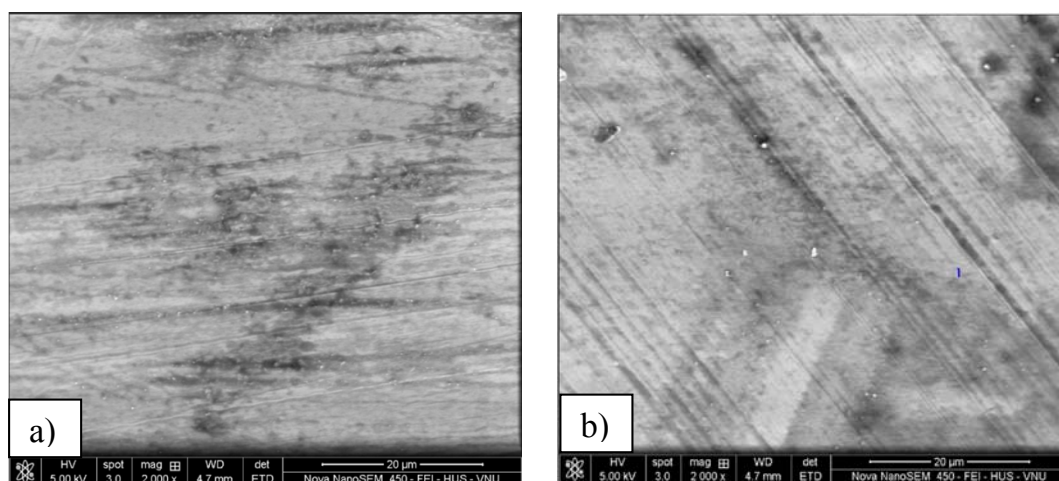
Các mẫu thử mòn được cắt ra từ mẫu thép C45 có kích thước như hình 3.26, sau đó tiến hành kiểm tra mài mòn với thiết bị, đĩa mài, tải trọng, thời gian giống quá trình thử mòn cho các mẫu thử được cắt ra từ mẫu hàn. Kết quả kiểm tra thử mòn của mẫu thử từ thép C45 tôi cao tần đưa ở bảng 4.6:

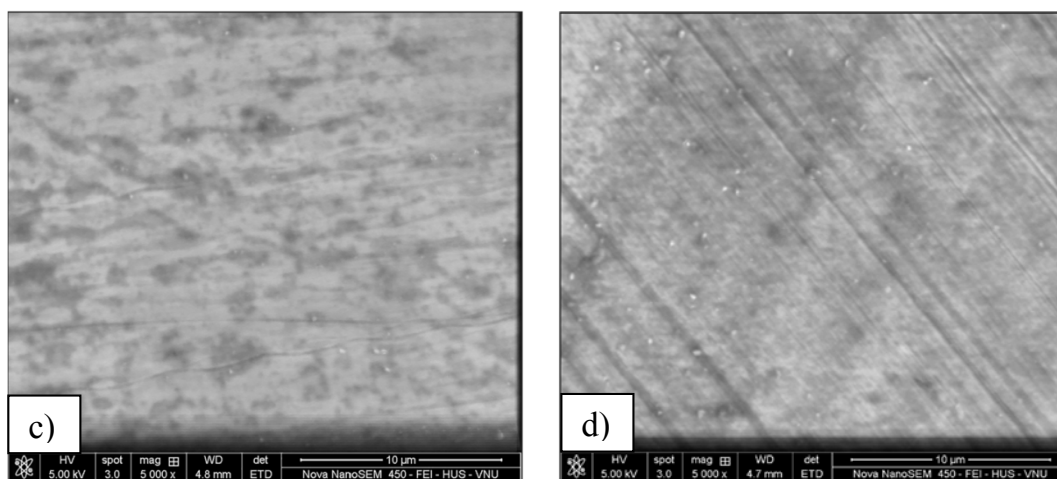
Bảng 4.6. Kết quả kiểm tra lượng mòn trung bình các mẫu thép C45 tôi cao tần

TT	Tên mẫu	ΔP (g)	n (vòng)	S (mm)	N (N)	Im (g/N.mm)
1	M1c	0.0205	6160	580272	20	$1.76413.10^{-09}$
2	M2c	0.0199				$1.71471.10^{-09}$
Trung bình		0,0202				$1.74056.10^{-09}$

Từ bảng kết quả 4.5 và 4.6 chỉ ra lượng mòn của mẫu thử lấy từ mẫu hàn M7 có độ cứng 54HRC có lượng mòn là 0.0140 (g), nhỏ hơn 1,44 lần so với lượng mòn trung bình mẫu thử mòn từ mẫu C45 tôi cao tần có cùng độ cứng với mẫu M7. Mẫu hàn có độ cứng thấp nhất M3 lượng mòn là 0,0163 (g), cũng nhỏ hơn 1,24 lần so với mẫu thử mòn từ thép C45. Tức độ bền mòn của mẫu M7 gấp khoảng 1,44 lần còn M3 gấp khoảng 1,24 lần so với mẫu thép C45 tôi cao tần. Độ bền mòn của kim loại lớp hàn đắp đạt mức cao, trong khi độ bền liên kết lớp hàn với nền vẫn đạt ở mức khoảng 80÷95% độ bền của kim loại cơ bản. Kết quả này đã khẳng định được chất lượng của phương pháp hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết dạng trục vật liệu phụ dây thép C70 (độ bền mòn trên khá phù hợp với các nghiên cứu ở công trình [83,86]).

Kết quả đánh giá độ mòn của mẫu hàn và mẫu thép C45 tôi cao tần còn được thể hiện thông qua hình ảnh chụp SEM trên hình 4.12.





a,c- mẫu hàn M7 với độ phóng đại 2000x và 5000x;
b,d- mẫu M1c với độ phóng đại 2000x và 5000x

Hình 4.12. Ảnh chụp SEM bề mặt mẫu thử sau kiểm tra mài mòn

Trên hình ảnh chụp SEM bề mặt mẫu thử mòn cho thấy mẫu thử được lấy ra từ mẫu thép C45 tôi cao tần có vết mài mòn về độ rộng và sâu lớn hơn rất nhiều so với mẫu thử mòn lấy ra từ mẫu hàn M7.

4.4. Xác định ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ đến cơ tính của mối hàn

Qua các kết quả kiểm tra cơ tính mối hàn các mẫu thực nghiệm cho thấy các thông số công nghệ lựa chọn nghiên cứu có ảnh hưởng lớn đến cơ tính của lớp hàn đắp. Các thông số công nghệ này cũng cho thấy sự ảnh hưởng của chúng đến mỗi chỉ tiêu cơ tính là hoàn toàn khác nhau. Yêu cầu đặt ra của quy trình công nghệ phục hồi là tạo được lớp hàn đắp đảm bảo hoàn lại kích thước ban đầu và có cơ tính mối hàn là cao nhất, vì vậy việc tìm ra bộ thông số công nghệ hàn phù hợp để đáp ứng mục tiêu chất lượng đặt ra là rất cần thiết.

Thiết kế thực nghiệm Taguchi là một phương pháp đơn giản để giải quyết vấn đề đặt ra. Các điều kiện của thí nghiệm được thiết kế với mảng trực giao đặc biệt tạo nên bởi sự kết hợp có quy luật của các cặp thông số và các mức giá trị. Tiếp đến sử dụng công cụ phân tích phương sai (ANOVA) để phân tích ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ. Phương pháp thiết kế thực Taguchi có thể kết hợp với một số công cụ khác như quan hệ Grey (GRA) để xác định mức hợp lý của các tham số công nghệ nhằm đáp ứng đồng thời nhiều mục tiêu

4.4.1. Ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

4.4.1.1. Xác định tỷ lệ ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

Áp dụng phương pháp Taguchi để phân tích ảnh hưởng và tìm mức phù hợp của các thông số công nghệ biến đổi để nhận được độ bền liên kết lớp đắp với nền cơ bản là tốt nhất.

Bước 1: Chọn hàm mục tiêu độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền (σ_b) của lớp hàn đắp với lớp nền, các yếu tố ảnh hưởng tới hàm mục tiêu là: I_h , F , V_h .

Bước 2: Mức mỗi yếu tố ảnh hưởng là 3 mức với các giá trị cụ thể như bảng 4.7.

Bảng 4.7. Các mức và giá trị tương ứng của các yếu tố ảnh hưởng

	Yếu tố	Mức 1	Mức 2	Mức 3
Giá trị	Cường độ dòng hàn I_h (kA)	6,5	7,5	8,5
	Lực ép điện cực (kN)	1,7	2,0	2,3
	Vận tốc hàn V_h (cm/s)	1,5	1,75	2,0

Thông số công nghệ đầu vào là 3 yếu tố, mỗi yếu tố 3 mức như trên khi áp dụng cho trục giao là mảng L9, sẽ cho 09 điều kiện thử nghiệm như 09 hàng của bảng 4.8.

Bảng 4.8. Kết quả đo độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và tỷ số S/N

1	2	3	4	5	6	7	8	9
STT	Tên mẫu	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)	σ_b (N/mm ²)	y_i^2	MSD (10 ⁻⁵)	S/N
1	1	6,5	1,7	1,5	440	193600	0.5165	52.869
2	2	6,5	2,0	1,75	424	179776	0.5562	52.547
3	3	6,5	2,3	2	393	154449	0.6475	51.888
4	4	7,5	1,7	1,75	467	218089	0.4585	53.386
5	5	7,5	2,0	2	446	198916	0.5027	52.987
6	6	7,5	2,3	1,5	443	196249	0.5096	52.928
7	7	8,5	1,7	2	438	191844	0.5213	52.829
8	8	8,5	2,0	1,5	451	203401	0.4916	53.084
9	9	8,5	2,3	1,75	430	184900	0.5408	52.669

Bước 3: Thực hiện thí nghiệm với các điều kiện thử nghiệm và đo kết quả trên các mẫu thử nghiệm tương ứng với các điều kiện đã lập, có được giá trị độ bền kéo của các mẫu cho ở cột 6 của bảng 4.8.

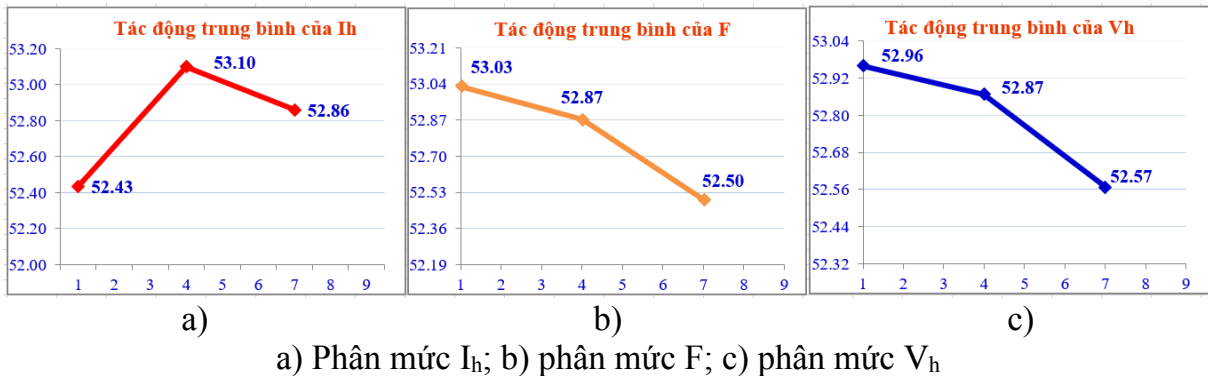
Bước 4: Tính tỷ số S/N theo đặc trưng chất lượng lớn hơn thì tốt hơn, áp dụng công thức (3.3) có kết quả S/N của các điều kiện thử nghiệm ở cột 09 bảng 4.8.

Xác định ảnh hưởng của các yếu tố I_h , F , V_h tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền, đồng thời dự đoán mức độ và chất lượng tối ưu ta tiến hành phân tích ANOVA. Dựa trên kết quả tính S/N trong bảng 4.9 và áp dụng các công thức từ (3.7) đến công thức (3.16) cho kết quả phân tích phương sai ANOVA như trong bảng 4.9.

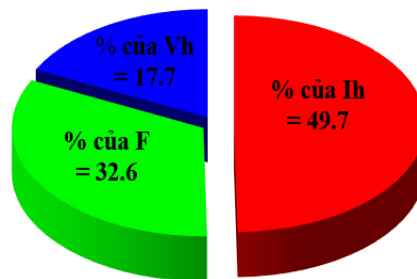
Bảng 4.9. Phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các yếu tố tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

Thí nghiệm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kết quả σ_b (N/mm ²)	440	424	393	467	446	443	438	451	430
Trung bình các kết quả thực nghiệm m (N/mm ²)	436,89								
Tổng các kết quả thực nghiệm (T)	3932,00								
Hệ số điều chỉnh các yếu tố (CF)	1717847								
Bậc tự do của thực nghiệm (f_T)	8								
Phân mức cho các thông số (m_{ji})	m_{Ih1}	52,43							
	m_{Ih2}	53,10							
	m_{Ih3}	52,86							
	m_{F1}	53,03							
	m_{F2}	52,87							
	m_{F3}	52,50							
Tiếp bảng 4.9									
	m_{Vh1}	52,96							
	m_{Vh2}	52,87							
	m_{Vh3}	52,57							
Tổng bình phương các yếu tố (S_j)	S_{Ih}	1668,2							
	S_F	1093,6							
	S_{Vh}	594,9							
Tổng bình phương thí nghiệm (S_T)	3356.67								
Bậc tự do của các yếu tố (f_j)	f_{Ih}	2							
	f_F	2							
	f_{Vh}	2							
Bình phương trung bình các yếu tố (V_j)	V_{Ih}	834,1							
	V_F	546,8							
	V_{Vh}	297,4							
Tỷ lệ phần trăm ảnh hưởng của các yếu tố (P_j)	$P_{Ih}(\%)$	49,7							
	$P_F(\%)$	32,6							
	$P_{Vh}(\%)$	17,7							

Căn cứ vào bảng phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các yếu tố tới độ bền liên kết của lớp hàn đắp với nền cho ra các biểu đồ phân mức và biểu đồ tỷ lệ phần trăm ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ như hình 4.13 và 4.14:



Hình 4.13. Biểu đồ phân mức của các yếu tố cho độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền



Hình 4.14. Biểu đồ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố I_h , F , V_h tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

Dựa trên biểu đồ phân mức của các yếu tố (hình 4.13) cho thấy rằng: Với yêu cầu của đặc trưng chất lượng *lớn hơn thì tốt hơn* thì mức phù hợp của các yếu tố để nhằm đạt độ bền liên kết lớn nhất khi dòng hàn ở mức I_h 7,5(kA); còn lực ép điện cực và tốc độ hàn ở mức F_1 1,7(kN); V_{h1} 1,5(cm/s). Khi kết hợp các yếu tố ở mức (I_{h2} , F_1 , V_{h1}) trong quá trình làm thí nghiệm theo công thức 3.9 và 3.10 cho được giá trị dự đoán của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền như sau:

$$Y_{opt} = T + (I_{h2} - T) + (F_1 - T) + (V_{h1} - T) = 471,22 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Từ đồ thị phân bố ảnh hưởng của các thông số công nghệ I_h , F , V_h đến độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền (hình 4.14) chỉ ra mức độ ảnh hưởng của dòng điện hàn là lớn nhất 49,7%; tiếp đến là lực ép điện cực con lăn 32,6% và tốc độ hàn 17,7%. Sự phân bố mức độ ảnh hưởng này cho thấy khi cần mỗi hàn có độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền cao nên ưu tiên điều chỉnh dòng điện hàn và lực ép điện cực nhiều hơn.

4.4.1.2. Xây dựng quan hệ toán học giữa các thông số I_h , F , V_h , tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

Sử dụng phần mềm thống kê ứng dụng Minitab hồi quy bộ số liệu thực nghiệm giữa độ bền liên kết hàn đắp với nền cơ bản với các tham số I_h , F , V_h dưới dạng tuyến tính và lũy thừa như sau:

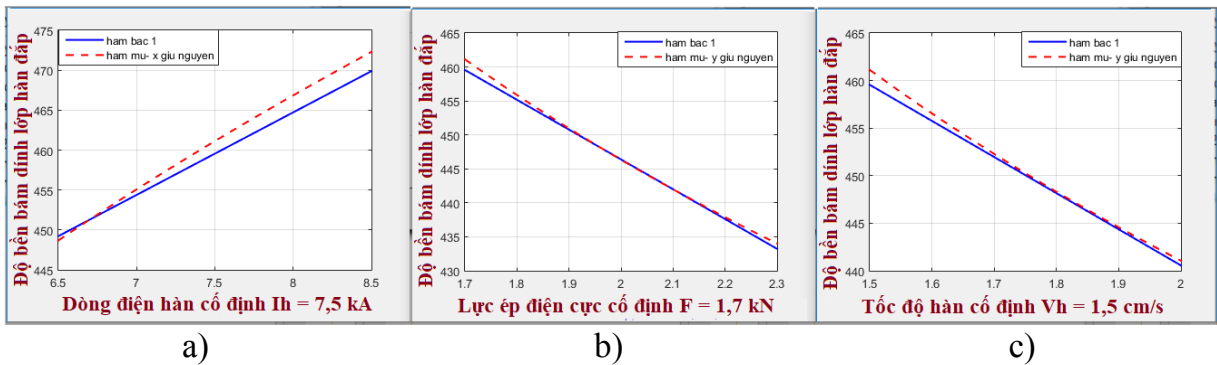
+ Dạng hàm tuyến tính:

$$\bar{\sigma}_b = 513,7 + 10,33I_h - 43,9F - 38,0V_h \quad (4.1)$$

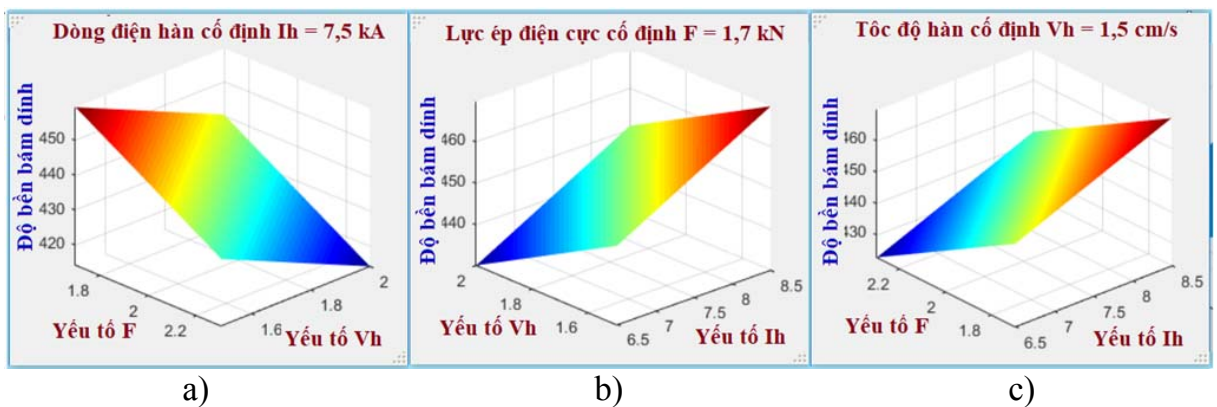
+ Dạng hàm lũy thừa:

$$\bar{\sigma}_b = 375,316I_h^{0,183495} F^{-0,196231} V_h^{-0,14984} \quad (4.2)$$

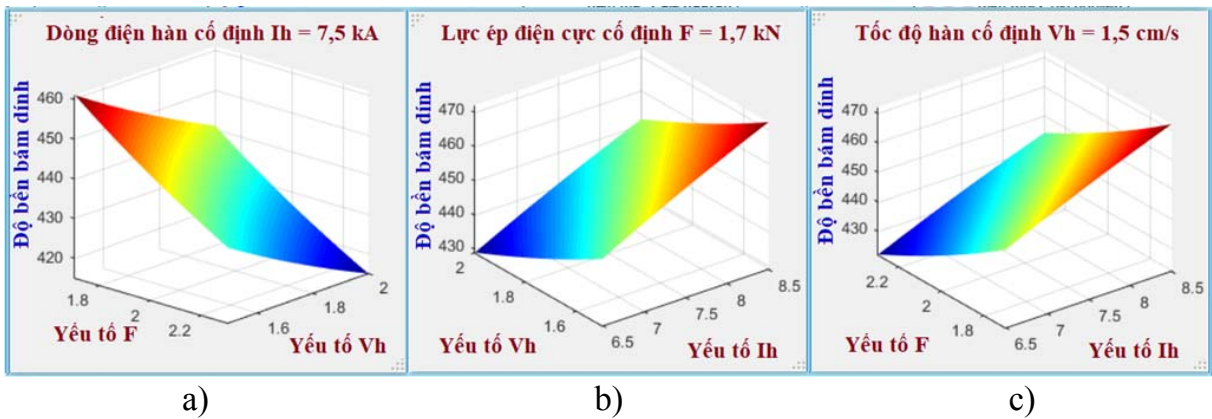
Trên cơ sở hàm hồi quy tuyến tính (4.1) và hàm lũy thừa (4.2) đã lập, tiến hành vẽ đồ thị thể hiện mối quan hệ của độ bền liên kết kim loại lớp hàn đắp với các thông số công nghệ I_h , F , V_h , như hình 4.15; 4.16; 4.17:



Hình 4.15. Sự phụ thuộc của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp dưới dạng 2D



Hình 4.16. Sự phụ thuộc của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàm tuyến tính dưới dạng 3D



Hình 4.17. Sự phụ thuộc của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàm lũy thừa dưới dạng 3D

Từ đồ thị hình 4.15 chỉ ra rằng độ bền liên kết của lớp hàn đắp với nền trực tỷ lệ thuận với dòng điện hàn còn tỉ lệ nghịch với lực ép điện cực và tốc độ hàn. Điều này tương đương với việc tăng cường độ dòng, giảm lực ép và tốc độ hàn thì độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền sẽ tăng. Giải thích này phù hợp khi tăng tốc độ hàn sẽ làm giảm tác động nhiệt và giảm độ bền liên kết lớp hàn đắp. Mặt khác khi tăng lực ép có thể xảy ra biến dạng nhiệt quá mức gây bắn tóe, chảy tràn kim loại làm cản trở quá trình hàn và làm giảm độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền.

Trên đồ thị hình 4.16 và 4.17 cho thấy:

+ Khi giữ nguyên cường độ dòng điện hàn ở mức phù hợp $I_h = 7,5\text{kA}$ thì độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền sẽ tăng lên khi giảm tốc độ hàn và giảm lực ép con lăn điện cực (hình 4.16-a, 4.17-a).

+ Khi giữ nguyên lực ép con lăn điện cực ở mức phù hợp $F = 1,7\text{kN}$ thì độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền sẽ tăng lên nếu tăng cường độ dòng điện và giảm tốc độ hàn (hình 4.16-b, 4.17-b).

+ Khi giữ nguyên tốc độ hàn ở mức phù hợp $V_h = 1,5\text{cm/s}$ thì độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền sẽ tăng lên nếu tăng cường độ dòng điện và giảm lực ép từ phía con lăn điện cực (hình 4.16-c, 4.17-c).

Trên đồ thị 2D và cả 3D cho thấy mô hình nội suy hàm tuyến tính và hàm lũy thừa là khá tương đồng. Đồ thị 2D hình 4.15 cho thấy hai hàm tuyến tính và lũy thừa rất sát nhau và có độ sai khác so với đường trung bình trong phạm vi khá nhỏ, thậm chí đồ thị giữ mức F và V_h phù hợp thì hai đường đồ thị gần như chồng sát nhau. Điều này đánh giá cho độ tin cậy của phương pháp quy hoạch thực nghiệm cũng như độ tin cậy của các kết quả tính toán mà phương pháp tính được.

➤ Theo đồ thị hình 4.13 có mức tối ưu là I_{h2} , F_1 , V_{h1} , trong đó có hai tham số là lực ép và tốc độ hàn ở mức 1. Giá trị này nằm ở biên vùng khảo sát, vì vậy để xem xét mức độ phù hợp của các giá trị tối ở vùng biên ta tiến hành tìm kiếm giá trị lân cận của các mức này ta dựa trên thuật toán tìm kiếm theo phương pháp chia đôi theo tài liệu [77]:

Mức tìm kiếm mở rộng của các yếu tố tối ưu cho trong Bảng 4.10:

Bảng 4.10. Các tham số ảnh hưởng đến độ bền liên kết hàn ở mức mới

Mức	Các tham số ảnh hưởng		
	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)
1	7.0	1.55	1.375
2	7.5	1.7	1.5
3	8.0	1.85	1.625

Sau 18 lần lặp lại của quy luật tìm kiếm như trên ta được bộ tham số tối ưu ở vùng lân cận với giá trị tối ưu mong muốn của độ bền liên kết hàn đắp $\sigma_b = 471,22$ (N/mm²) là: $I_h = 7,76$ (kA), $F = 1,60$ (kN), $V_h = 1,45$ (cm/s).

Giá trị tối ưu tìm được theo thuật toán chia đôi để độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền ở giá trị $\sigma_b = 471,22$ (N/mm²), cho thấy giá trị các mức mới có độ lệch không nhiều so với các giá trị tối ưu ban đầu. Trong đó mức $I_h = 7,76$ (kA) nằm trong vùng khảo sát và lân cận với mức I_{h2} ban đầu. Còn lực ép điện cực F và tốc độ hàn V_h lệch ra ngoài vùng khảo sát nhưng độ lệch không lớn. Mặt khác khi thực hiện các thí nghiệm thăm dò với mức giá trị lực ép điện cực thấp hơn giá trị $F = 1.5$ (kN) thì hiện tượng kim loại hàn bắn tóe nhiều do tiếp xúc vật lý không đảm bảo. Tốc độ hàn ở mức thấp hơn $V_h = 1.4$ (cm/s) kim loại bề mặt mối hàn có hiện tượng quá nhiệt, bề mặt mối hàn có hiện tượng sần sùi dạng vỏ sò. Từ các kết quả tìm kiếm ở vùng lân cận mức tối ưu, kết hợp với kết quả của thí nghiệm thăm dò cho thấy mức tối ưu tìm được ở trên là phù hợp và có thể tin cậy.

➤ Sau khi xác định được mức phù hợp của các thông số công nghệ đáp ứng được chỉ tiêu về độ bền liên kết mối hàn, tiến hành hàn mẫu kiểm chứng với bộ thông số ở mức phù hợp và cho kết quả độ bền liên kết hàn như bảng 4.11.

Bảng 4.11. Kết quả kiểm tra giới hạn bền kéo mẫu hàn kiểm chứng

STT	Tên mẫu	Chế độ hàn			Giới hạn bền kéo			
		I_{h2} (kA)	F_1 (kN)	V_{h1} (cm/s)	Lần đo (N/mm ²)			Trung Bình (N/mm ²)
					1	2	3	
1	Mẫu KC1	7,5	1,7	1,5	477	462	470	470

Kết quả giới hạn bền kéo của mẫu kiểm chứng với các thông số công nghệ đã xác định có giá trị độ bền tương đương giá trị dự đoán của lý thuyết đưa ra, điều này chứng tỏ các mức thông số I_h , F , V_h đã xác định là phù hợp và cho độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trục cao nhất trong phạm vi nghiên cứu.

4.4.2. Ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ cứng kim loại mối hàn

4.4.2.1. Xác định tỷ lệ ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ cứng kim loại mối hàn

Khi yếu tố độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền được đảm bảo thì độ cứng bề mặt chi tiết trục hàn đắp phục hồi là một yếu tố quan trọng cần phải nghiên cứu đánh giá. Để xác định mức ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ I_h , F , V_h tới mục tiêu độ cứng lớp hàn đắp lớn hơn thì tốt hơn ta tính toán tương tự như đã thực hiện với tiêu chí độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trục cơ bản cho ra các kết quả sau:

Bảng 4.12. Kết quả đo độ cứng kim loại bề mặt mối hàn và tỷ số S/N

1	2	3	4	5	6	7	8	9
STT	Tên mẫu	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)	R_w (HRC)	y_i^2	MSD (10^{-5})	S/N
1	1	6,5	1,7	1,5	53	2809	35.5999	34.4855
2	2	6,5	2,0	1,75	49	2401	41.6493	33.8039
3	3	6,5	2,3	2	47	2209	45.2694	33.4420
4	4	7,5	1,7	1,75	51	2601	38.4468	34.1514
5	5	7,5	2,0	2	50	2500	40.0000	33.9794
6	6	7,5	2,3	1,5	52	2704	36.9822	34.3201
7	7	8,5	1,7	2	54	2916	34.2936	34.6479
8	8	8,5	2,0	1,5	55	3025	33.0579	34.8073
9	9	8,5	2,3	1,75	51	2601	38.4468	34.1514

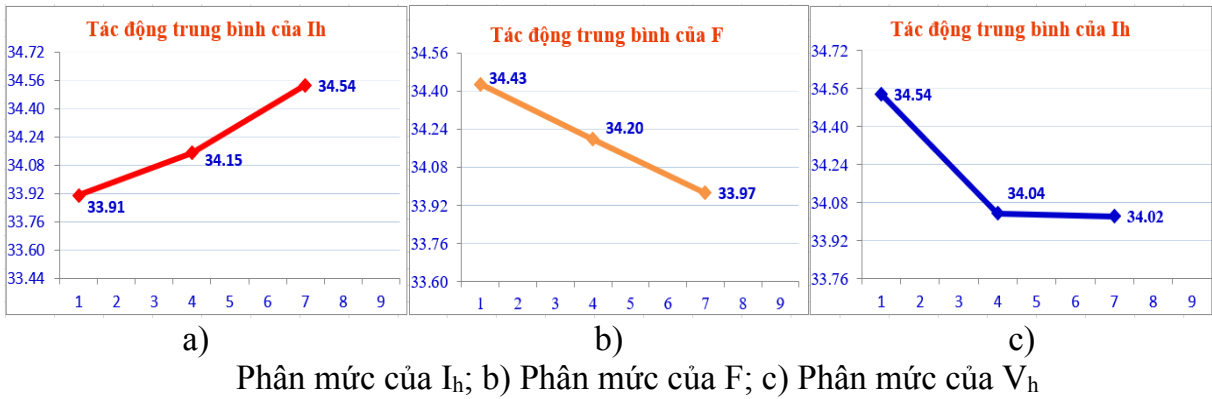
Dựa trên kết quả thực nghiệm và tỷ lệ S/N tính theo đặc trưng chất lượng lớn hơn thì tốt hơn ở bảng 4.12, tiến hành tính phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các thông số I_h , F , V_h , tới độ cứng bề mặt mối hàn cho kết quả ở bảng 4.13.

Bảng 4.13. Phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các yếu tố tới độ cứng kim loại mối hàn

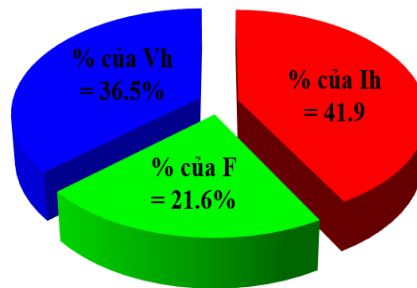
Thí nghiệm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kết quả R_w (HRC)	53	49	47	51	50	52	54	55	51
Trung bình các kết quả thực nghiệm m (HRC)	51,33								

Tổng các kết quả thực nghiệm (T)		462,00
Hệ số điều chỉnh các yếu tố (CF)		23716
Bậc tự do của thực nghiệm (f_T)		8
Phân mức cho các thông số (m_{ji})	m_{Ih1}	33,91
	m_{Ih2}	34,15
	m_{Ih3}	34,54
	m_{F1}	34,43
	m_{F2}	34,20
	m_{F3}	33,97
	m_{Vh1}	34,54
	m_{Vh2}	34,04
	m_{Vh3}	34,02
Tổng bình phương các yếu tố (S_j)	S_{Ih}	20,67
	S_F	10,67
	S_{Vh}	18,00
Tổng bình phương thí nghiệm (S_T)		49,33
Bậc tự do của các yếu tố (f_j)	f_{Ih}	2
	f_F	2
	f_{Vh}	2
Bình phương trung bình các yếu tố (V_j)	V_{Ih}	10,33
	V_F	5,333
	V_{Vh}	9,000
Tỷ lệ phần trăm ảnh hưởng của các yếu tố (P_j)	$P_{Ih}(\%)$	41,9
	$P_F(\%)$	21,3
	$P_{Vh}(\%)$	36,5

Dựa trên giá trị phân mức, giá trị phần trăm ảnh hưởng các yếu tố I_h , F , V_h đến độ cứng lớp hàn đắp ở bảng 4.13 vẽ được biểu đồ thể hiện như phân mức như hình 4.18 và biểu đồ phần trăm ảnh hưởng như hình 4.19.



Hình 4.18. Biểu đồ phân mức của các yếu tố cho độ cứng kim loại mỗi hàn



Hình 4.19. Biểu đồ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố I_h , F, V_h tới độ cứng kim loại lớp đắp

Trên kết quả của biểu đồ phân mức các yếu tố hình 4.18 cho thấy khi yêu cầu của độ cứng lớp đắp với đặc trưng chất lượng lớn hơn thì tốt hơn thì mức phù hợp của các yếu tố để có độ cứng tốt nhất I_{h3} , F_1 , V_{h1} .

Giá trị độ cứng dự đoán khi sự kết hợp các yếu tố ở mức tối ưu cho độ cứng lớp hàn đắp đã tìm được kết hợp với công thức (3- 9), (3-10) cho giá trị độ cứng dự đoán sau:

$$Y_{opt} = T + (I_{h3} - T) + (F_1 - T) + (V_{h1} - T) = 56,67 \text{ (HRC)}$$

Trên biểu đồ ảnh hưởng của các yếu tố hình 4.19 tới độ cứng lớp hàn đắp chỉ ra yếu tố dòng điện hàn có ảnh hưởng mạnh nhất 41,9%, tiếp đến là tốc độ hàn 36,5%, nhỏ nhất là yếu tố lực ép điện cực 21,6%. Điều này có nghĩa là khi cần điều chỉnh độ cứng kim loại lớp hàn đắp nên ưu tiên điều chỉnh cường độ dòng hàn và tốc độ hàn.

4.4.2.2. Xây dựng quan hệ toán học giữa các thông số I_h , F, V_h tới độ cứng kim loại lớp hàn đắp.

Cường độ dòng điện hàn và tốc độ hàn ảnh hưởng mạnh đến độ cứng kim loại lớp hàn đắp, tuy nhiên để đánh giá xu thế ảnh hưởng của chúng tiến hành xây dựng hàm

quan hệ toán học thể hiện mối quan hệ của thông số công nghệ I_h , F , V_h tới độ cứng lớp hàn đắp. Thực hiện tương tự như với chỉ tiêu độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trực cơ bản, cho được hàm hồi quy dưới dạng hàm tuyến tính và hàm lũy thừa như sau:

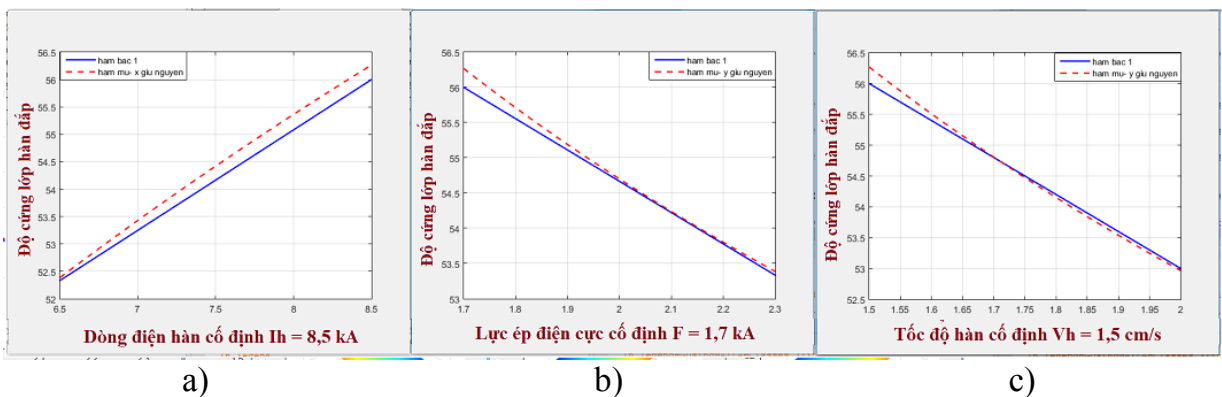
+ Dạng hàm hồi quy tuyến tính

$$R_w = 56,97 + 1,833I_h - 4,44F - 6,00V_h \quad (4.3)$$

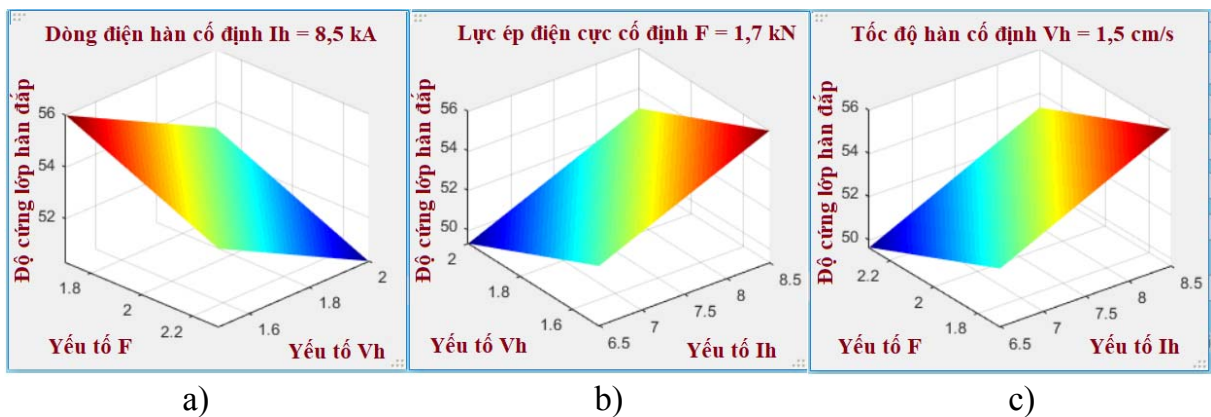
+ Dạng hàm hồi quy lũy thừa

$$R_w = 37,9002I_h^{0,268638} F^{-0,175556} V_h^{-0,211501} \quad (4.4)$$

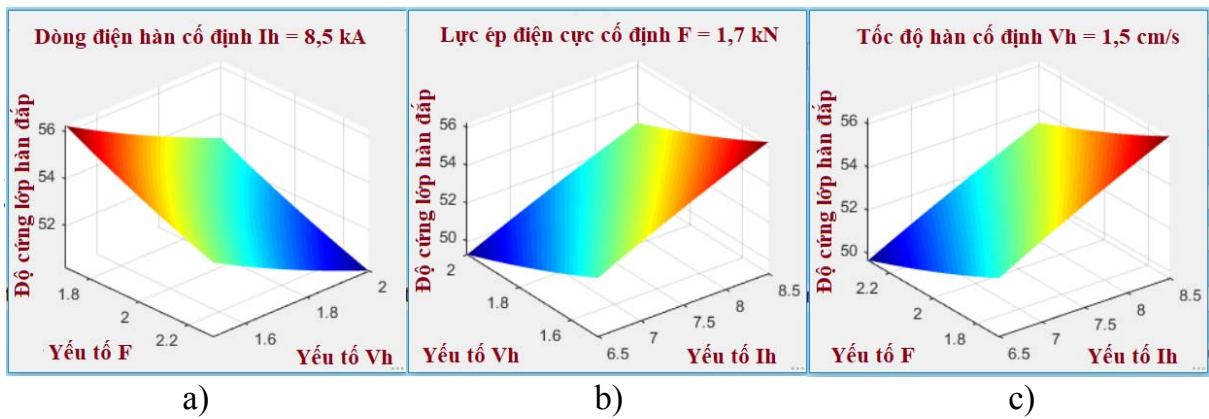
Từ các biểu thức hồi quy 4.3 và 4.4 thiết lập các biểu đồ 2D và 3D thể hiện quan hệ giữa các thông số đầu vào I_h , F , V_h , tới độ cứng kim loại mối hàn đắp mỗi hàn của hai dạng hàm nội suy như các hình dưới đây:



Hình 4.20. Sự phụ thuộc của độ cứng lớp hàn đắp vào các thông số I_h , F , V_h ở mức phù hợp dưới dạng 2D



Hình 4.21. Sự phụ thuộc của độ cứng lớp hàn đắp vào các thông số I_h , F , V_h ở mức phù hợp hàm tuyến tính dưới dạng 3D



Hình 4.22. Sự phụ thuộc của độ cứng lớp hàn đắp vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàn lũy thừa dưới dạng 3D

Từ đồ thị hình 4.20 cho thấy độ cứng lớp hàn đắp tỷ lệ thuận với dòng điện hàn còn tỉ lệ nghịch với lực ép điện cực và tốc độ hàn. Mặt khác hai yếu tố I_h và V_h có mức ảnh hưởng lớn, điều này tương ứng với việc tăng dòng điện và giảm tốc độ hàn dẫn đến kim loại bị nung đến nhiệt độ cao và làm nguội nhanh hơn, xảy ra hiện tượng tôi thép và làm cho kim loại mối hàn gia tăng độ cứng. Khi mật độ tác động nhiệt lớn mà tăng lực ép ngoài ảnh hưởng xấu đến độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền thì còn gây hòa trộn kim loại cơ bản vào kim loại hàn đắp nhiều hơn, tức làm giảm độ tinh khiết của kim loại đắp mối hàn và làm giảm độ cứng lớp đắp.

Trên đồ thị hình 4.21 và 4.22 cho thấy:

+ Khi giữ nguyên cường độ dòng điện hàn ở mức phù hợp $I_h = 8,5$ kA thì độ cứng lớp hàn đắp sẽ giảm xuống khi tăng tốc độ hàn và tăng lực ép con lăn điện cực (hình 4.21-a, 4.22-a).

+ Khi giữ nguyên lực ép con lăn điện cực ở mức phù hợp $F = 1,7$ kN thì độ cứng lớp hàn đắp sẽ giảm xuống nếu giảm cường độ dòng điện và tăng tốc độ hàn (hình 4.21-b, 4.22-b).

+ Khi giữ nguyên tốc độ hàn ở mức phù hợp $V_h = 1,5$ cm/s thì độ cứng lớp hàn đắp sẽ giảm xuống nếu giảm cường độ dòng điện và tăng lực ép từ phía con lăn điện cực (hình 4.21-c, 4.22-c).

Trên đồ thị 2D và cả 3D cho thấy mô hình nội suy hàm tuyến tính và hàm lũy thừa là khá tương đồng. Giá trị sai lệch các kết quả của cả hai hàm nội suy tuyến tính và lũy thừa so với các kết quả đo trong quá trình thực nghiệm rất nhỏ, trong khoảng 0,5 đến 3,3%, cho thấy kết quả tính toán của cả hai dạng hàm khá hội tụ và có độ chính xác tương tự nhau.

➤ Theo đồ thị hình 4.18 có mức tối ưu là I_{h3} , F_1 , V_{h1} . Áp dụng thuật toán chia đôi như trường hợp của độ bền liên kết lớp hàn với nền trực cơ bản ta có các mức mới của các yếu tố được cho trong Bảng 4.14.

Bảng 4.14. Các tham số ảnh hưởng đến độ cứng mối hàn ở mức mới

Mức	Các tham số ảnh hưởng		
	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)
1	8.0	1.55	1.375
2	8.5	1.7	1.5
3	9.0	1.85	1.625

Sau 22 lần lặp ta được bộ tham số tối ưu ở vùng lân cận với giá trị tối ưu mong muốn của độ cứng hàn đắp $R_w = 56,67$ (HRC) là: $I_h = 8,6206$ (kA), $F = 1,9759$ (kN), $V_h = 1,3083$ (cm/s) có độ sai lệch không lớn so với mức tối ưu ban đầu.

Giá trị độ cứng tối ưu có thể tăng lên khi tăng cường độ dòng điện hàn và giảm tốc độ hàn tuy nhiên việc này gây cho mối hàn quá nhiệt, quá trình hàn xảy ra bắn tóe, bề mặt mối hàn bị sần sùi dạng vỏ xò. Điều này đã được chỉ ra bởi nghiên cứu [86], đồng thời các hiện tượng trên cũng xuất hiện khi thực hiện thí nghiệm thăm dò ở mức $I_h = 9$ (kA), $F = 1.5$ (kN) và $V_h = 1.4$. Mặt khác theo bảng 4.2 cho thấy các mẫu hàn có dòng điện lớn và tốc độ chậm thì độ bền liên kết hàn đắp với nền có xu hướng giảm xuống.. Vì vậy để đảm bảo chất lượng chung cho liên kết hàn thì mức tối ưu đã chọn ban đầu là phù hợp và có thể tin cậy.

➤ Tiến hành hàn mẫu kiểm chứng với bộ thông số ở mức phù hợp và cho kết quả độ bền liên kết hàn như bảng 4.15.

Bảng 4.15. Kết quả kiểm tra độ cứng mẫu hàn kiểm chứng

Đo độ cứng Rockwell (HRC)										
STT	Tên Mẫu	I_{h3} (kA)	F_1 (kN)	V_{h1} (cm/s)	Vị trí đo					Trung bình
					1	2	3	4	5	
1	Mẫu KC1	8,5	1,7	1,5	56	55	55	57	56	56

Kết quả đo độ cứng của mẫu kiểm chứng với các thông số công nghệ đã xác định có giá trị độ cứng tương đương giá trị tính toán, chứng tỏ các mức thông số I_{h3} , F_1 , V_{h1} đã xác định là phù hợp và cho độ cứng cao nhất trong phạm vi nghiên cứu.

4.4.3. Ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ mài mòn kim loại mỗi hàn

4.4.3.1. Xác định tỷ lệ ảnh hưởng và mức phù hợp của các thông số công nghệ (I_h , F , V_h) tới độ mài mòn kim loại mỗi hàn

Mối quan hệ của độ bền mòn kim loại mỗi hàn với các thông số công nghệ thể hiện thông qua lượng mòn ΔP được xây dựng dựa trên phân tích phương sai của tỷ số tín hiệu/ nhiễu (S/N) với chỉ tiêu chất lượng “nhỏ hơn thì tốt hơn” theo công thức 3.5 và làm các bước tính toán tương tự như độ liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mỗi hàn, cho được các kết quả ở bảng 4.16 và 4.17:

Bảng 4.16. Kết quả đo độ mài mòn kim loại đắp mỗi hàn và tỷ lệ S/N

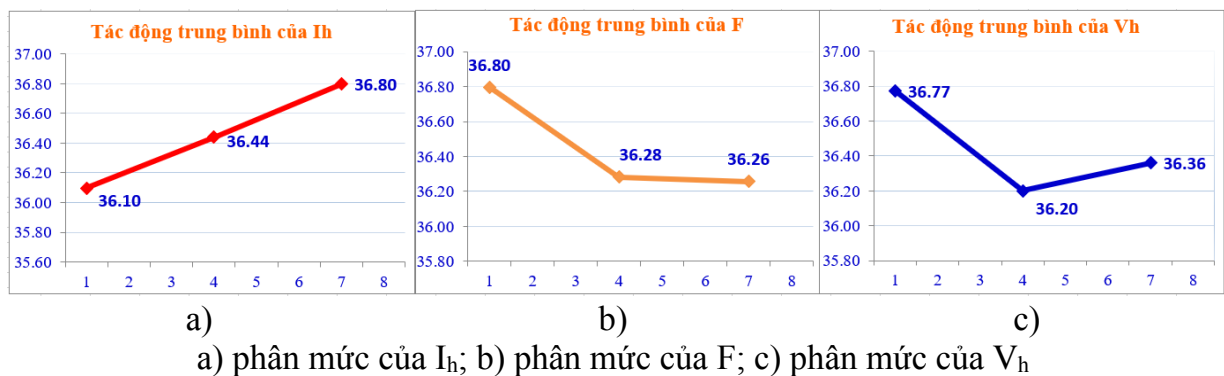
1	2	3	4	5	6	7	8	9
STT	Tên mẫu	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)	ΔP (g)	y_i^2	MSD (10 ⁻⁵)	S/N
1	1	6,5	1,7	1,5	0.0144	0.00020736	20.736	36.8328
2	2	6,5	2,0	1,75	0.0164	0.00026896	26.896	35.7031
3	3	6,5	2,3	2	0.0163	0.00026569	26.569	35.7562
4	4	7,5	1,7	1,75	0.0150	0.00022500	22.500	36.4782
5	5	7,5	2,0	2	0.0154	0.00023716	23.716	36.2496
6	6	7,5	2,3	1,5	0.0148	0.00021904	21.904	36.5948
7	7	8,5	1,7	2	0.0140	0.00019600	19.600	37.0774
8	8	8,5	2,0	1,5	0.0143	0.00020449	20.449	36.8933
9	9	8,5	2,3	1,75	0.0151	0.00022801	22.801	36.4205

Bảng 4.17. Phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các yếu tố tới độ mài mòn lớp hàn

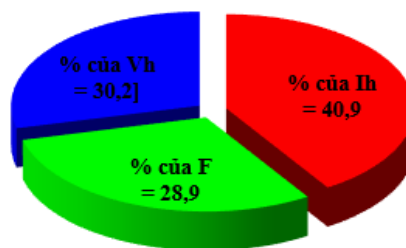
Thí nghiệm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kết quả ΔP (g)	0,0144	0.0164	0,0163	0,0150	0,0154	0,0148	0,0140	0,0143	0,0151
Trung bình các kết quả thực nghiệm m (g)	0,0151								
Tổng các kết quả thực nghiệm (T)	0,1357								
Hệ số điều chỉnh các yếu tố (CF)	2046 x10 ³								
Bậc tự do của thực nghiệm (f_T)	8								
Phân mức cho các thông số (m_{ji})	m_{Ih1}	36,10							
	m_{Ih2}	36,44							
	m_{Ih3}	36,80							
	m_{F1}	36,80							
	m_{F2}	36,28							
	m_{F3}	36,26							
	m_{Vh1}	36,77							
	m_{Vh2}	36,20							
	m_{Vh3}	36,36							

Tiếp bảng 4.17		
Tổng bình phương các yếu tố (S_j)	S_{I_h}	0.2282×10^5
	S_F	0.1682×10^5
	S_{V_h}	0.1609×10^5
Tổng bình phương thí nghiệm (S_T)	0.5573	
Bậc tự do của các yếu tố (f_j)	f_{I_h}	2
	f_F	2
	f_{V_h}	2
Bình phương trung bình các yếu tố (V_j)	V_{I_h}	0.11410×10^5
	V_F	0.08410×10^5
	V_{V_h}	0.08045×10^5
Phần trăm ảnh hưởng của các yếu tố (P_j)	$P_{I_h}(\%)$	40,9
	$P_F(\%)$	30,2
	$P_{V_h}(\%)$	28,9

Dựa vào bảng phân mức và tỷ lệ ảnh hưởng của các yếu tố tới độ mài mòn của lớp hàn đắp vẽ được biểu đồ phân mức và mức độ ảnh hưởng của các yếu tố như hình 4.23 và 4.24:



Hình 4.23. Biểu đồ phân mức của các yếu tố cho độ mài mòn của mỗi hàn vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp dưới dạng 2D



Hình 4.24. Biểu đồ tỷ lệ phần trăm ảnh hưởng của các yếu tố I_h, F, V_h tới độ mài mòn của mỗi hàn

Biểu đồ phân mức hình 4.23 cho thấy đặc trưng chất lượng nhỏ hơn thì tốt hơn cho các mức phù hợp của các yếu tố để có lượng mòn nhỏ nhất, tức là độ bền mòn lớn nhất với các mức I_{h3}, F_1, V_{h1} . Độ mòn của mẫu thử có giá trị nhỏ nhất được dự đoán dựa

theo các mức I_{h3} , F_1 , V_{h1} và công thức áp dụng công thức (3-9) và (3.10) cho giá trị dự đoán sau:

$$Y_{opt} = T + (I_{h3} - T) + (F_1 - T) + (V_{h1} - T) = 0,01328(g)$$

Biểu đồ phân bố ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ tới độ mòn mẫu thử cho thấy thông số dòng điện hàn vẫn là yếu tố mạnh hơn cả, hai thông số còn lại có trọng số ảnh hưởng tương đương nhau. Với yếu tố chất lượng cho độ mài mòn cho thấy sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ có sự thay đổi khác biệt so với độ cứng mỗi hàn. Cụ thể ở yếu tố chất lượng độ cứng thì lực ép điện cực F có sự ảnh hưởng thấp nhất, còn ở yếu tố chất lượng mài mòn này lại có sự ảnh hưởng lớn hơn V_h , điều này được giải thích bởi quá trình hàn lực ép điện cực có tác dụng lặn ép kim loại chảy dẻo nhiều hơn (hiện tượng rên mỗi hàn) làm cho tổ chức hạt kim loại nhỏ hơn, mật độ hạt xít chặt hơn, do đó sẽ tạo sự ảnh hưởng cho độ bền mòn của kim loại hàn được tốt hơn.

4.4.3.2. Xây dựng quan hệ toán học giữa các thông số I_h , F , V_h tới độ mài mòn kim loại mỗi hàn

Để xây dựng hàm hồi quy biểu diễn mối quan hệ của các thông số công nghệ tới độ mài mòn của mỗi hàn, được tính toán tương tự như với độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng bề mặt mỗi hàn có dạng hồi quy sau:

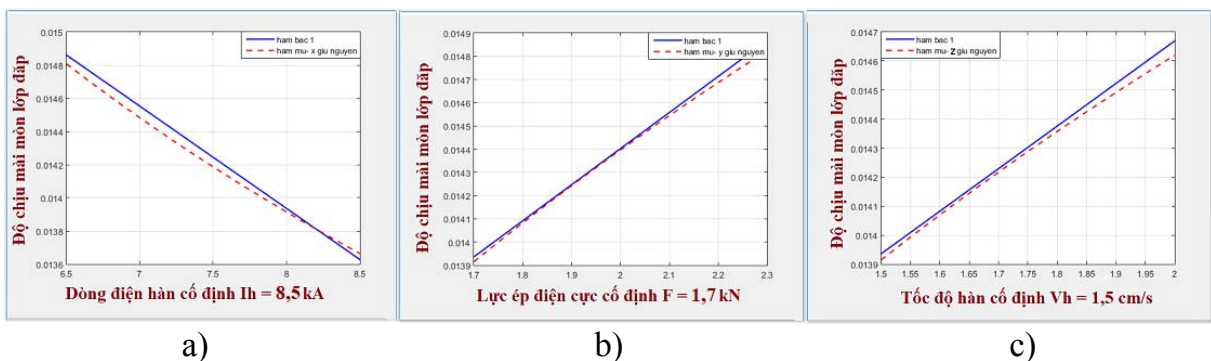
Dạng hàm hồi quy tuyến tính:

$$\Delta P = 0,01403 - 0,000617 I_h + 0,001556 F + 0,001467 V_h \quad (4.5)$$

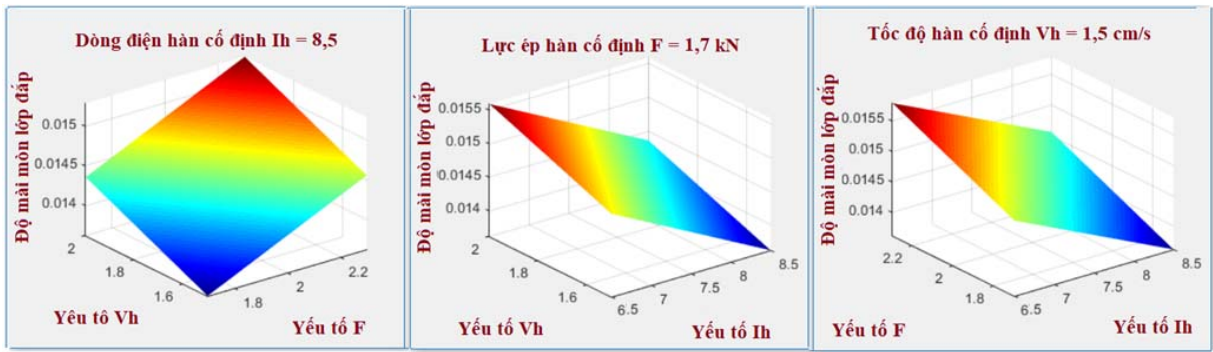
Dạng hồi quy phi tuyến:

$$\Delta P = 0,021857 I_h^{-0,301792} F^{0,203271} V_h^{0,171057} \quad (4.6)$$

Trên cơ sở hàm hồi quy toán học tiến hành vẽ đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ tới độ mài mòn lớp hàn đắp như dưới đây:

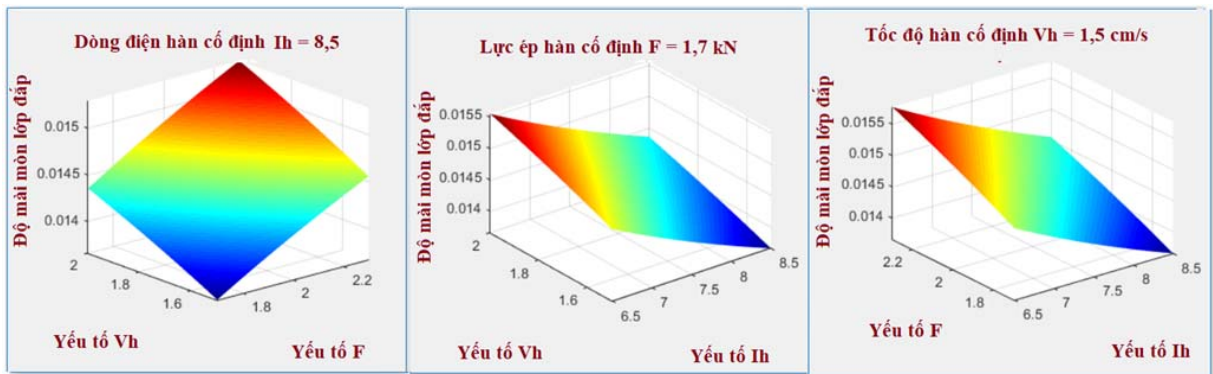


Hình 4.25. Sự phụ thuộc của độ mài mòn mỗi hàn vào từng thông số hàn ở mức phù hợp dưới dạng tuyến tính và lũy thừa 2D



a) b) c)

Hình 4.26. Sự phụ thuộc của độ mài mòn lớp hàn đắp vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàm tuyến tính dưới dạng 3D



a) b) c)

Hình 4.27. Sự phụ thuộc của độ mài mòn lớp hàn đắp vào các thông số I_h, F, V_h ở mức phù hợp hàm lũy thừa dưới dạng 3D

Từ đồ thị hình 4.25 cho thấy độ mòn kim loại lớp hàn đắp tỉ lệ nghịch với cường độ dòng điện hàn, tức độ mòn lớn khi dòng điện giảm xuống, nói ngược lại là độ bền mòn của kim loại lớp hàn đắp tỷ lệ thuận với dòng điện hàn, tỷ lệ nghịch với lực ép và tốc độ hàn, điều này được giải thích bởi các mẫu có độ cứng cao, được lăn ép ở nhiệt độ chảy dẻo phù hợp tương ứng cho độ bền mòn tương đối sẽ cao.

Trên đồ thị hình 4.26 và 4.27 cho thấy:

+ Khi giữ nguyên cường độ dòng điện hàn ở phù hợp ưu $I_h = 8,5\text{kA}$ thì độ mòn tăng lên khi tăng lực ép và tăng tốc độ hàn, tức độ bền mòn tăng lên khi giảm lực ép và tốc độ hàn (hình 4.26-a, 4.27-a).

+ Khi giữ nguyên lực ép con lăn điện cực ở mức phù hợp $F = 1,7\text{kN}$ thì độ bền mòn lớp hàn đắp sẽ tăng lên nếu tăng cường độ dòng điện hàn và giảm tốc độ hàn (hình 4.26-b, 4.27-b).

+ Khi giữ nguyên tốc độ hàn ở mức phù hợp $V_h = 1,5\text{cm/s}$ thì độ bền mòn lớp hàn đắp sẽ tăng lên nếu tăng dòng điện hàn và giảm lực ép điện cực từ phía con lăn điện cực (hình 4.26-c, 4.27-c).

Trên đồ thị 2D và cả 3D cho thấy mô hình nội suy hàm tuyến tính và hàm lũy thừa là khá tương đồng. Giá trị sai lệch các kết quả của hai hàm nội suy tuyến tính và lũy thừa gần như trùng vào nhau, điều này cho thấy sự hội tụ của các kết quả thí nghiệm. Đồng thời phản ánh xu thế ảnh hưởng của các thông số tới độ mòn của lớp hàn đắp của hai dạng hàm là như nhau.

➤ Tương tự như làm với độ cứng lớp hàn đắp ta tiến hành khảo sát các giá trị tối ưu ở biên có các giá trị lặp như trong bảng 4.18.

Bảng 4.18. Các tham số ảnh hưởng đến độ mài mòn lớp hàn đắp ở mức mới

Mức	Các tham số ảnh hưởng		
	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)
1	8.0	1.55	1.375
2	8.5	1.7	1.5
3	9.0	1.85	1.625

Sau 17 lần lặp ta được bộ tham số tối ưu ở vùng lân cận với giá trị tối ưu mong muốn của độ mòn lớp hàn đắp $\Delta P = 0,01328$ (g) là: $I_h = 8,7$ (kA), $F = 1,6$ (kN), $V_h = 1,41$ (cm/s) có độ sai lệch không lớn so với mức tối ưu ban đầu và kết hợp với thí nghiệm thăm dò thì mức tối ưu đã chọn ban đầu là chấp nhận được.

➤ Tiến hành hàn mẫu kiểm chứng với bộ thông số ở mức phù hợp và cho kết quả độ bền liên kết hàn như bảng 4.19.

Bảng 4.19. Kết quả kiểm tra mài mòn mẫu hàn kiểm chứng

TT	Tên mẫu	I_{h3} (kA)	F_1 (kN)	V_{h1} (cm/s)	ΔP (g)	R (mm)	S (mm)	N (N)	I_m (g/N.mm)
1	KC3	8,5	1,7	1,5	0.0134	15	580272	20	$1.15463E^{-09}$

Kết quả đo độ mòn của mẫu kiểm chứng với các thông số công nghệ đã xác định có độ mòn tương đương giá trị tính toán lý thuyết, chứng tỏ các mức thông số I_{h3} , F_1 , V_{h1} đã xác định là phù hợp và cho độ mòn nhỏ nhất trong phạm vi nghiên cứu.

4.5. Đánh giá ảnh hưởng của thông số công nghệ I_h , F, V_h theo bài toán tối ưu đa mục tiêu

Quá trình phân tích các kết quả độ cứng và độ bền mòn của lớp hàn đắp cho thấy độ bền mòn lớp hàn đắp có đặc trưng chất lượng tương đương với độ cứng lớp đắp bởi các mẫu có độ cứng cao tương đối cho độ bền mòn tốt. Kết quả cho bộ thông số công nghệ phù hợp với chỉ tiêu chất lượng là độ cứng, độ bền mòn cao hơn thì tốt hơn có sự phân mức giống nhau (I_{h3} , F_1 , V_{h1}). Trên phân tích ý nghĩa này nghiên cứu lựa chọn

đánh giá ảnh hưởng của thông số công nghệ I_h , F , V_h theo bài toán tối ưu đa mục tiêu cho hai mục tiêu cụ thể là độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng lớp hàn.

a) Tổng hợp thiết kế thực nghiệm

Từ bảng phân mức các thông số công nghệ (bảng 3.11), bảng thông số đo độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền (bảng 4.2), tỷ số S/N của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền (bảng 4.8). Bảng thông số đo độ cứng (bảng 4.3), tỷ số S/N của độ cứng lớp hàn đắp (bảng 4.12) được tổng hợp dưới bảng 4.20.

Bảng 4.20. Kết quả đo và phân mức S/N của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mỗi hàn

TT	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)	Độ bền liên kết hàn đắp		Độ cứng	
				σ_b (N/mm ²)	S/N (σ_b)	R_w (HRC)	S/N (R_w)
1	6,5	1,7	1,5	440	52.8691	53	34.4855
2	6,5	2,0	1,75	424	52.5473	49	33.8039
3	6,5	2,3	2,0	393	51.8879	47	33.4420
4	7,5	1,7	1,75	467	53.3863	51	34.1514
5	7,5	2,0	2,0	446	52.9867	50	33.9794
6	7,5	2,3	1,5	443	52.9281	52	34.3201
7	8,5	1,7	2,0	438	52.8295	54	34.6479
8	8,5	2,0	1,5	451	53.0835	55	34.8073
9	8,5	2,3	1,75	430	52.6694	51	34.1514

Tổng hợp kết quả phân mức và phần trăm ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trên bảng 4.9 được rút gọn dưới bảng 4.21.

Bảng 4.21. Bảng tổng hợp phân tích ảnh hưởng và phần trăm ảnh hưởng của các thông số đến độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền

TT	Yếu tố	Ý nghĩa S/N từng cấp			Tổng bình phương	% phân bố
1	I_h	52.435	53.028	52.960	1668.222	49.7
2	F	53.100	52.873	52.868	1093.556	32.6
3	V_h	52.861	52.495	52.568	594.8890	17.7

Tổng hợp kết quả phân mức và phần trăm ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới độ cứng lớp hàn đắp trên bảng 4.13 được rút gọn dưới bảng 4.22.

Bảng 4.22. Bảng tổng hợp phân tích ảnh hưởng và phần trăm ảnh hưởng của các thông số đến độ cứng lớp hàn đắp

TT	Yếu tố	Ý nghĩa S/N từng cấp			Tổng bình phương	% phân bố
1	I_h	33.91	34.15	34.54	20.667	41.9
2	F	34.43	34.20	33.97	10.667	21.6
3	V_h	34.54	34.04	34.02	18.000	36.5

b) Phân tích quan hệ Grey

Bước 1: Chuẩn hóa số liệu thí nghiệm

Các số liệu đo độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền (σ_b) và độ cứng lớp hàn (R_w) là các tiêu chí tối ưu hóa có thứ nguyên, miền giới hạn và chiều biến thiên khác nhau. Bước này gọi là tiền xử lý số liệu nhằm đưa ra các dãy số liệu đo ban đầu về cùng một chuẩn, có thể so sánh với nhau được. Sau khi được chuẩn hóa, số liệu đo không còn thứ nguyên, giới hạn trong khoảng $[0,1]$. Các chỉ tiêu chất lượng đều ở dạng “lớn hơn thì tốt hơn” nên 1 được xem là giá trị lý tưởng và giá trị chuẩn hóa càng gần 1 càng tốt.

Với tiêu chí chất lượng lớn hơn thì tốt hơn được áp dụng theo công thức 3.17:

$$y_i^*(k) = \frac{y_i(k) - \min y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (3.17)$$

Lần lượt thay các giá trị đo của σ_b và R_w vào công thức 3.17 có được số liệu chuẩn hóa cho ở cột 1 và 2 bảng 4.23.

Bảng 4.23. Kết quả phân tích quan hệ Grey

TT	1	2	3	4	5	6	7	8
	Dữ liệu chuẩn hóa số liệu đo		Độ lệch chuẩn Δ_{oi} (k)		Hệ số Grey $\xi_i(k)$		Mức độ Grey γ_i	Tỷ số S/N
	σ_b	R_w	σ_b	R_w	σ_b	R_w		
1	0.6351	0.7500	0.3649	0.2500	0.5781	0.6667	0.604688	-4.3694
2	0.4189	0.2500	0.5811	0.7500	0.4625	0.4000	0.443750	-7.0572
3	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.3333	0.333333	-9.5424
4	1.0000	0.5000	0.0000	0.5000	1.0000	0.5000	0.850000	-1.4116
5	0.7162	0.3750	0.2838	0.6250	0.6379	0.4444	0.579885	-4.7332
6	0.6757	0.6250	0.3243	0.3750	0.6066	0.5714	0.596019	-4.4948
7	0.6081	0.8750	0.3919	0.1250	0.5606	0.8000	0.632424	-3.9798
8	0.7838	1.0000	0.2162	0.0000	0.6981	1.0000	0.788679	-2.0620
9	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.500000	-6.0206
	max(Δ)		1.0000	1.0000				
	min(Δ)		0.0000	0.0000				

Bước 2: Tính hệ số Grey

Quan hệ Grey thể hiện khoảng cách giữa giá trị chuẩn và giá trị lý tưởng theo công thức 3.19, có giá trị ở cột 5 và 6 bảng 4.23.

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \psi \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \psi \Delta_{\max}} \quad (3.19)$$

Giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa giá trị chuẩn hoá thực và giá trị lý tưởng:

$$\Delta_{oi} = y_{oi}^*(k) - y_i^*(k) \quad (3.20)$$

được đưa ra ở cột 3 và cột 4 bảng 4.23.

Bước 3: Tính mức độ quan hệ Grey

Dữ liệu đầu vào đã được đưa về hệ số quan hệ Grey, so sánh được. Tuy nhiên, chúng vẫn đại diện cho 2 tiêu chí khác nhau. Với mong muốn chuyển thành một hàm mục tiêu duy nhất, cần tính tổng theo trọng số của chúng. Tổng theo trọng số của các hệ số Grey được gọi là mức độ Grey. Hệ số này thể hiện tầm quan trọng của các mục tiêu chất lượng. Thông thường các liên kết hàn đắp thì mục tiêu chất lượng của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền được coi là yếu tố hàng đầu để đảm bảo điều kiện làm việc ổn định của lớp hàn đắp. Tuy nhiên khi hàn lăn tiếp xúc phục hồi bằng dây thép C70 là loại vật liệu có độ cứng và độ bền mòn tương đối tốt, xong tính hàn của nó lại kém. Mặt khác liên kết hàn được hình thành trên bề mặt của hai loại vật liệu có thành phần hóa học và cơ tính khác nhau. Do đó độ bền liên kết hàn đắp là yếu tố cần được chú trọng. Vì vậy nghiên cứu lựa chọn hệ số phân biệt cho độ bền liên kết hàn với nền trục cơ bản là $\psi = 0,7$, độ cứng lớp hàn là $\psi = 0,3$ và thay vào công thức 3.21 ta được các giá trị tính mức độ quan hệ Grey cho ra các kết quả ở cho trong cột 7 trong bảng 4.18:

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m \xi_i(k) \quad (3.21)$$

Việc đánh giá độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mối hàn đắp được căn cứ vào mức độ Grey γ_i . Mỗi quan hệ Grey có thể được coi là đánh giá tổng thể của dữ liệu thực nghiệm cho độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền σ_b và độ cứng R_w . Hệ số phân cấp mối quan hệ tương quan Grey được thể hiện trên hình 4.28.



Hình 4.28. Mối quan hệ tương quan Grey

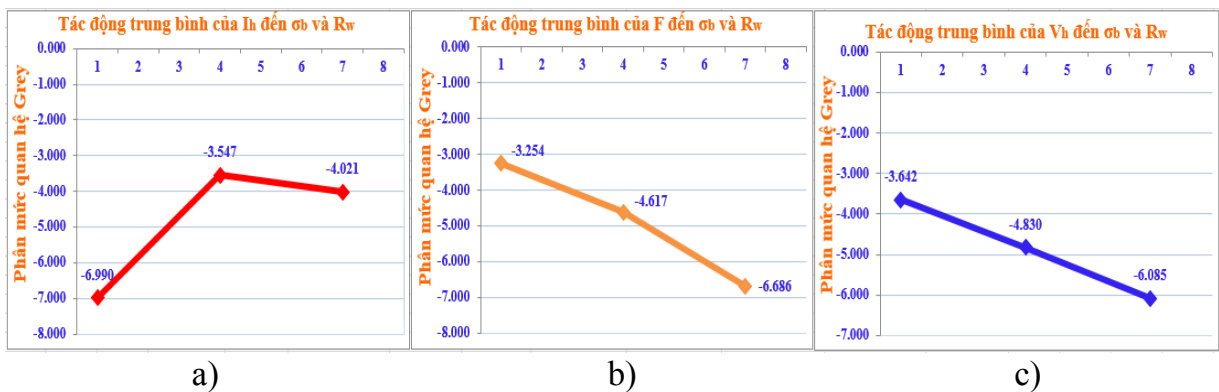
Yếu tố chất lượng tốt hơn khi hệ số tương quan Grey lớn hơn, theo đồ thị hình 4.28 thì trong 9 thí nghiệm có 4 thí nghiệm cho kết quả tốt hơn là thí nghiệm M4; M8; M7; và M1. Trong đó trị số phân hạng quan hệ Grey lớn nhất ở thí nghiệm số 4 là 0,85. Cấp độ cao nhất của mức độ quan hệ Grey được coi là tối ưu hóa cho các thông số công nghệ cho trong bảng 4.24.

Bảng 4.24. Bảng đặc trưng phân mức mỗi quan hệ Grey

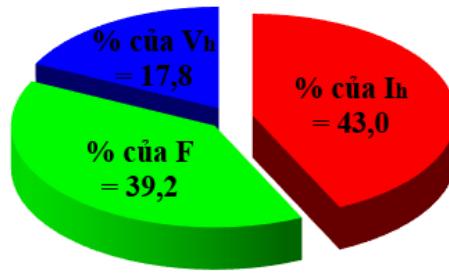
TT	Yếu tố	Phân mức mỗi quan hệ Grey			Max-min	Mức	Tổng bình phương	Phần trăm phân bố (%)
		1	2	3				
1	I_h	0,461	0,675	0,640	0.215	2	0.0265	43,0
2	F	0,696	0,604	0,476	0.219	1	0.0243	39,2
3	V_h	0,663	0,598	0,515	0.148	1	0.0110	17,8
Tổng giá trị trung bình của mức độ quan hệ Grey							0.592	

Qua đặc trưng phân mức mỗi quan hệ Grey bảng 4.24 cho thấy thứ tự phân mức của các thông số công nghệ đến các thông số đầu ra là độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mỗi hàn I_{h2} ; F_1 ; V_{h1} , và ảnh hưởng lớn nhất là cường độ dòng điện hàn với phần trăm ảnh hưởng là 43,0%, tiếp đến là lực ép điện cực 39,2% cuối cùng là tốc độ hàn 17,8%.

Từ giá trị phân mức và phần trăm ảnh hưởng trên bảng 4.24 vẽ được đồ thị thể hiện sự phụ thuộc đồng thời của độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền trực và độ cứng mỗi hàn vào các thông số công nghệ I_h ; F; V_h như hình 4.29 và 4.30.



Hình 4.29. Đồ thị phân mức ảnh hưởng của I_h , F, V_h đến đồng thời chỉ tiêu độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mỗi hàn



Hình 4.30. Đồ thị phân trăm ảnh hưởng của I_h , F , V_h đến đồng thời chỉ tiêu độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mỗi hàn

Theo phân tích trên, bộ thông số công nghệ phù hợp đồng thời cho chỉ tiêu chất lượng độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng lớp hàn đắp là cường độ dòng điện hàn $I_{h2} = 7,5\text{kA}$, lực ép con lăn điện cực $F_1 = 1,7\text{kN}$; tốc độ hàn $V_{h1} = 1,5\text{cm/s}$. Và giá trị ảnh hưởng của chúng lần lượt là: cường độ dòng điện hàn I_{h2} 43,0%; lực ép con lăn điện cực F_1 39,2%; và tốc độ hàn V_{h1} 17,8%.

+ Từ kết quả tính mức độ Grey trên bảng 4.23 sử dụng phần mềm thống kê ứng dụng Minitab xây dựng được hàm hồi quy thể hiện mối quan hệ toán học của các tham số công nghệ với đồng thời hai yếu tố là độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng lớp hàn thông qua mức độ Grey như sau:

$$Y_{dmt} = 0,194076.I_h^{1,25048} . F^{-1,27631} . V_h^{-0,992392}$$

Giá trị tối ưu đa mục tiêu dựa trên mức độ Grey khi thay vào hàm của Y_{dmt} ta được:

$$\gamma_{i(opt)} = 0,819112$$

Mức tìm kiếm mở rộng của các yếu tố tối ưu vùng lân cận cho trong bảng 4.25

Bảng 4.25. Các tham số ảnh hưởng đến đồng thời độ bền liên kết và độ cứng mỗi hàn ở mức mới

Mức	Các tham số ảnh hưởng		
	I_h (kA)	F (kN)	V_h (cm/s)
1	7.0	1.55	1.375
2	7.5	1.7	1.5
3	8.0	1.85	1.625

Sau 17 lần lặp lại của quy luật tìm kiếm theo thuật toán chia đôi được bộ tham số tối ưu ở vùng lân cận với giá trị tối ưu mong muốn của mức độ Grey $\gamma_{i(opt)} = 0,819112$ là: $I_h = 7,81$ (kA), $F = 1,79$ (kN), $V_h = 1,47$ (cm/s). Kết quả mức tối ưu khi tìm kiếm vùng lân cận có sự sai lệch khá nhỏ so với giá trị tối ưu ban đầu. Giá trị của I_h và F

nằm trong vùng khảo sát, chỉ có tham số V_h vượt ra ngoài vùng khảo sát nhưng có giá trị sai khác khoảng 3% so với mức tối ưu ban đầu.

Kết quả dự đoán cho độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền, độ cứng lớp hàn, độ mòn lớp hàn khi xét ảnh hưởng của đồng thời của ba tham số công nghệ là: $\sigma_b = 460,8$ (N/mm²); $R_w = 54,7$ (HRC); $\Delta P = 0,0144$.

Để đánh giá độ tin cậy của các mức tối ưu khi xét ảnh hưởng đồng thời của ba tham số đến các mục tiêu chất lượng được đánh giá thông qua kết quả kiểm chứng cho trong bảng 4.26.

Bảng 4.26. Kết quả kiểm chứng cho ảnh hưởng đồng thời của các thông số công nghệ

Tên mẫu	Chi tiêu đơn lẻ	Tham số công nghệ	Kết quả dự đoán theo Grey	Kết quả kiểm tra	% sai lệch
KC4	Giới hạn bền kéo lớp hàn đắp với nền.	$I_h = 7,8$ (kA)	460,7 (N/mm ²)	459 (N/mm ²)	0,37%
	Độ cứng lớp hàn	$F = 1,8$ (kN)	54,7 (HRC)	54 (HRC)	1.28%
	Độ mài mòn	$V_h = 1,5$ (cm/s)	0,0144 (g)	0,0140 (g)	2.8%

Từ kết quả kiểm tra mẫu thí nghiệm kiểm chứng cho các giá trị độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền; độ cứng; độ mài mòn lớp hàn tương đương với giá trị đã tìm được thông qua quan hệ Grey-Taguchi và thuật toán chia đôi. Đồng thời cho thấy các kết quả kiểm tra cơ tính mỗi hàn đắp đều đạt ở mức khá cao.

Kết luận chương 4

1. Thông qua nghiên cứu tổ chức thô đại mỗi hàn, tổ chức tế vi vùng tiếp giáp kim loại mỗi hàn với kim loại nền có sự liên kết tốt, luôn đảm bảo độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền cao của chi tiết hàn đắp phục hồi (có thể đạt 81÷95% độ bền của kim loại cơ bản). Vùng ảnh hưởng nhiệt rất hẹp. Mỗi hàn có độ cứng bề mặt đắp tương đối cao khoảng (47÷55HRC), đáp ứng được yêu cầu bề mặt làm việc trong phần lớn các trục máy. Các mẫu hàn phục hồi được đánh giá độ bền mòn thông qua việc so sánh mẫu thử mòn của trục bằng hàn lăn tiếp xúc phục hồi dây thép C70 với mẫu thử mòn của chi tiết trục thép C45 tôi cao tần cùng độ cứng cho thấy các mẫu thử mòn của mẫu hàn có độ bền mòn gấp khoảng 1.44 lần so với mẫu thử mòn của trục mới nhiệt luyện.

2. Chi tiết phục hồi sau hàn chỉ cần gia công cơ khí đạt kích thước mà không cần nhiệt luyện hay xử lý gì thêm nên chi tiết không bị biến dạng hay bong tróc lớp đắp. Chi tiết trục có độ cứng và độ bền mòn cao và luôn đảm bảo được độ bền liên kết của lớp hàn đắp, bản thân chi tiết phục hồi vẫn giữ được tính bền dẻo bên trong do ảnh hưởng nhiệt ở mức thấp.

3. Sử dụng phương pháp thiết kế thực nghiệm của Taguchi và phân tích phương sai ANOVA đã xác định được:

- Các mức phù hợp của các thông số công nghệ cho hàm mục tiêu về độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền cao nhất ở mức: $I_{h2} = 7,5(kA)$, $F_1 = 1,7(kN)$, $V_{hl} = 1,5(cm/s)$, độ cứng bề mặt và độ bền mòn trung bình của kim loại đắp mỗi hàn cao nhất ở mức: $I_{h3} = 8,5(kA)$, $F_1 = 1,7(kN)$, $V_{hl} = 1,5(cm/s)$. Đồng thời tỷ lệ ảnh hưởng của các thông số trên tới từng chỉ tiêu về cơ tính mỗi hàn cũng được tính toán cụ thể.

- Xây dựng được mô hình toán học thể hiện quan hệ giữa các chỉ tiêu cơ tính với các thông số công nghệ bằng các hàm hồi quy tuyến tính và lũy thừa, từ đó đánh giá xu hướng ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến các chỉ tiêu cơ tính lớp hàn đắp thông qua các đồ thị nội suy cho hai dạng hàm kể trên.

4. Kết hợp phân tích mối quan hệ tương quan Grey với thiết kế thực nghiệm Taguchi và thuật toán chia đôi đã tìm được mức các thông số công nghệ tối ưu cho đồng thời 2 chỉ tiêu của cơ tính mỗi hàn là độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng lớp hàn ở mức: $I_h = 7,81(kA)$, $F = 1,79(kN)$, $V_h = 1,47(cm/s)$. Đồng thời xác định được phần trăm ảnh hưởng của của các thông số công nghệ hàn nhiều nhất là I_h 43,0(%), tiếp đến F 39,2(%), thấp nhất V_h 17,8(%) tới hai chỉ tiêu cơ tính trên.

KẾT LUẬN CHUNG CỦA LUẬN ÁN

Từ các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm của đề tài luận án rút ra một số kết luận chính như sau:

1. Khả năng làm việc của chi tiết máy dạng trục phục hồi được xác định bởi ba đặc tính sử dụng quan trọng: độ bền liên kết của lớp kim loại đắp với kim loại nền, độ bền mòn và độ cứng của lớp hàn đắp. Đặc tính đầu tiên trong số ba đặc tính trên rất quan trọng đối với chi tiết được phục hồi.

2. Mỗi hàn hình thành ở nhiệt độ chảy dẻo, quá trình hình thành liên kết hàn chỉ xảy ra ở bề mặt tiếp xúc, như vậy độ hòa tan của kim loại cơ bản vào kim loại đắp ở mức thấp, lớp đắp sẽ có độ tinh khiết tốt nên có độ cứng trung bình cao và đồng đều, năng suất quá trình hàn cao, chi tiết hàn ít biến dạng, dễ tự động hóa quá trình hàn. Quá trình hình thành mối hàn trong pha rắn, mối liên hệ giữa độ bền liên kết của kim loại đắp với kim loại nền phụ thuộc khả năng biến dạng của dây kim loại.

3. Lớp kim loại hàn đắp từ vật liệu C70 trên nền thép C45 đạt độ bền liên kết giữa lớp hàn đắp với nền cao có thể đạt 95% độ bền kéo của vật liệu của mẫu trục hàn phục hồi C45. Vùng ảnh hưởng nhiệt rất hẹp, mối hàn có độ cứng bề mặt đắp tương đối cao đạt 55HRC. Các mẫu hàn phục hồi được đánh giá độ bền mòn thông qua việc so sánh mẫu thử mòn của trục hàn phục hồi bằng hàn lăn tiếp xúc dây thép C70 với mẫu thử mòn của chi tiết trục thép C45 tôi cao tần cùng độ cứng cho thấy các mẫu thử mòn của mẫu hàn có độ bền mòn gấp khoảng 1.44 lần so với mẫu thử mòn của trục mới tôi cao tần, kết quả này có được bởi độ bền mòn của vật liệu đắp cũng như mối hàn đắp được rèn dập trong quá trình hàn làm mật độ hạt xít chặt hơn và chịu mài mòn tốt hơn.

4. Xác định được các mức phù hợp, phần trăm ảnh hưởng, dạng hàm hồi quy của các thông số công nghệ cho hàm mục tiêu về độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền, độ cứng bề mặt và độ bền mòn của kim loại đắp mỗi hàn cao nhất lần lượt là: I_{h2}, F_1, V_{h1} ; I_{h3}, F_1, V_{h1} ; I_{h3}, F_1, V_{h1} , thông qua thiết kế thực nghiệm Taguchi, phân tích phương sai ANOVA, phần mềm thống kê ứng dụng Minitab, phần mềm tính toán số và lập trình Matlab.

5. Phân tích mối quan hệ tương quan Grey-Thiết kế thực nghiệm Taguchi kết hợp với thuật toán chia đôi tìm nghiệm vùng lân cận, đã tìm được các mức thông số công nghệ tối ưu cho đồng thời 2 chỉ tiêu của cơ tính mỗi hàn là độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng lớp hàn ở mức: $I_h = 7,8(kA)$, $F = 1,8(kN)$, $V_h = 1,5(cm/s)$. Đồng thời xác định được mức độ ảnh hưởng của từng thông số công nghệ hàn tới hai chỉ tiêu độ bền liên kết lớp hàn đắp với nền và độ cứng mỗi hàn đắp nhiều nhất là cường độ dòng điện hàn I_h 43,0(%), tiếp đến là lực ép điện cực F 39,2(%), thấp nhất là tốc độ hàn V_h 17,8(%).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng Việt

- [1] Đoàn Văn Bảy (1976), “*Công nghệ hồi phục các chi tiết máy bằng phương pháp hàn và đắp*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Nguyễn Bình, Nguyễn Mạnh Hồng, Nguyễn Văn Hoá, Nguyễn Văn Bào (1996), “*Kỹ thuật sửa chữa máy kéo ô tô*”, Nhà xuất bản Nông thôn, Hà Nội.
- [3] Hoàng Văn Châu, “*Nghiên cứu ảnh hưởng cấu chế độ công nghệ hàn đến chất lượng lớp đắp khi hàn tự động plasma với bột hợp kim để phục hồi bề mặt làm việc của xupap máy thủy*”, Tạp chí khoa học công nghệ Việt Nam số 10 năm 2013.
- [4] Đinh Văn Chiến (2009), “*Ứng dụng công nghệ tiên tiến trong xử lý bề mặt kim loại để phục hồi một số chi tiết máy bị mòn có dạng trục và ống tròn xoay*, Báo cáo đề tài cấp thành phố”, Đề tài KH-CN cấp Thành phố, Mã số:01C-01/04-2009.
- [5] Đinh Minh Diệm (2007), “*Công nghệ phục hồi*”, Nhà xuất bản Đà Nẵng.
- [6] Nguyễn Tiến Dũng (2002), “*Hàn đại cương*”, Nhà xuất bản Lao động.
- [7] Trần Văn Địch (2006), *Sổ tay thép thế giới*, Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
- [8] Dương Văn Đức (2004), “*Sửa chữa máy xây dựng*”, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [9] Vũ Gia Hanh, Phan Tử Thụ, Trần Khánh Hà, Nguyễn Văn Sáu (2009), *Máy điện*, tập 1, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [10] Bùi Văn Hạnh (2015), “*Nghiên cứu phục hồi xupap máy thủy bằng công nghệ hàn plasma bột hợp kim coban*”, Kỷ yếu hội nghị khoa học và công nghệ toàn quốc về cơ khí - Lần thứ IV, Sư Phạm Kỹ thuật TP HCM, trang 463-473.
- [11] Nguyễn Văn Hào, Nguyễn Ngọc Thành, Nguyễn Đức Thắng, Nguyễn Tiến Dương (2011), *Giáo trình cơ khí đại cương*, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.
- [12] Nguyễn Trọng Hiệp (2006), *Chi tiết máy - Tập 2*, Nhà xuất bản Giáo Dục.
- [13] Nghiêm Hùng (1997), *Sách tra cứu thép, gang thông dụng*, Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [14] Nghiêm Hùng (2000), *Vật liệu học cơ sở*, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.
- [15] Nguyễn Trọng Hùng, Phùng Xuân Sơn (2016), *Giáo trình thiết kế thực nghiệm trong chế tạo máy*, Nhà xuất bản Xây Dựng.
- [16] Lê Quang Huy, Nguyễn Văn Vận (1998), *Công nghệ vật liệu cơ bản trong ngành cơ khí*, Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia Hà Nội.

- [17] Nguyễn Văn Lập (2013), “*Nghiên cứu công nghệ hàn phục hồi trục cán kích thước lớn*”, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Bách khoa, Hà Nội.
- [18] Phạm Văn Liệu (2016), “*Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến chất lượng phục hồi bề mặt trục có hình dạng phức tạp bị mòn bằng công nghệ phun phủ*”, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- [19] Nguyễn Tuấn Linh (2015), *Tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình mài thép hợp kim trên máy mài tròn ngoài*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [20] Trương Tiến Lộc (2014), “*Nghiên cứu nâng cao độ bền chịu mài mòn của xupap động cơ diesel bằng công nghệ hàn đắp plasma với bột hợp kim nền cobalt*”, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Nông nghiệp, Hà Nội.
- [21] Phạm Giang Nam (2005), “*Nghiên cứu lựa chọn công nghệ hàn đắp và công nghệ làm bền bề mặt để phục hồi các cổ trục*” Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Nông nghiệp, Hà Nội.
- [22] Nguyễn Văn Nông, Nguyễn Đại Thành, Hoàng Ngọc Vinh (1999), “*Sửa chữa ô tô máy kéo*”, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
- [23] Nguyễn Hữu Phần (2016), *Nghiên cứu nâng cao hiệu quả gia công của phương pháp tia lửa điện bằng biện pháp trộn bột Titan vào dung dịch điện môi*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thái Nguyên.
- [24] Nguyễn Ngọc Phương (2010), *Hệ thống điều khiển bằng khí nén*, Nhà xuất bản Giáo Dục.
- [25] Vương Văn Quế (2010), “*Nghiên cứu cơ tính lớp kim loại đắp của trục cam động cơ ô tô bị hỏng do mài mòn được phục hồi bằng hàn đắp*”, Luận văn Thạc sĩ khoa học, Trường Đại học Bách khoa, Hà Nội.
- [26] Nguyễn Văn Thái, Nguyễn Hữu Dũng, Phạm Quang Lộc, Bùi Chương, Nguyễn Anh Dũng (2006), *Công nghệ vật liệu*, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.
- [27] Trần Quyết Thắng (2011), *Nghiên cứu công nghệ phục hồi bề mặt chi tiết Galé của xích máy ủi bằng hàn đắp*, Luận văn Thạc sĩ khoa học, Trường Đại học Bách khoa, Hà Nội.
- [28] Nguyễn Văn Thông (1984), *Các phương pháp hàn và hàn đắp phục hồi chi tiết máy*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [29] Nguyễn Văn Thông (2000), *Vật liệu và công nghệ hàn*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

- [30] Nguyễn Tất Tiến (2004), *Lý thuyết biến dạng dẻo kim loại*, Nhà xuất bản Giáo Dục.
- [31] Đào Xuân Toàn (2016), *Nghiên cứu công nghệ hàn phục hồi chi tiết trục đã bị mòn qua quá trình sử dụng ở các thiết bị công nghiệp bằng phương pháp hàn MIG/MAG*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học kỹ thuật công nghiệp - Đại học Thái Nguyên.
- [32] Bùi Minh Trí (2005), *Xác xuất thống kê và quy hoạch thực nghiệm*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [33] Bùi Hải Triều (2006), *Giáo trình truyền động thủy lực và khí nén*, Đại học Nông Nghiệp Hà Nội.
- [34] Tống Ngọc Tuấn (2016), *Phục hồi trục máy xẻ đá bằng phương pháp hàn đắp*, Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam, tập 14, số 8: 1268-1276.
- [35] Hoàng Tùng (1999), *Nghiên cứu công nghệ phun phủ nhiệt khí bột nhằm nâng cao tuổi thọ và phục hồi chi tiết*, Đề tài khoa học cấp Nhà nước, Mã số KHCN 05-07-03.
- [36] Hoàng Tùng (2006), *Công nghệ phun phủ và ứng dụng*, NXB Khoa học & Kỹ thuật, Hà Nội.
- [37] Hoàng Tùng, Nguyễn Tiến Đào, Nguyễn Thúc Hà (2000), *Cơ khí đại cương*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [38] Bùi Huy Tường (2010), *Hàn đắp phục hồi trục cam động cơ ô tô bị hỏng do mài mòn*, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Nông Nghiệp, Hà Nội.
- [39] Phạm Văn Tỳ (2004), *Công nghệ hàn kim loại*, Nhà xuất bản Hải Phòng.
- [40] Nguyễn Quốc Vũ (2009), *Nghiên cứu áp dụng công nghệ phun phủ kim loại để xử lý bề mặt ngoài của trống sấy thay thế mạ Crom, trên thiết bị chế biến tinh bột biến tính tiền hồ hóa quy mô công nghiệp*, Đề tài cấp Bộ Công thương, Mã số 256-08 RD/HĐ-KHCN.
- [41] Nguyễn Thị Yên (2015), *Giáo trình vật liệu Cơ khí*, Nhà xuất bản Hà Nội.
- [42] TCVN 1766-75, *Thép các bon kết cấu chất lượng tốt*, Tiêu chuẩn Quốc Gia Việt Nam.
- [43] TCVN 1767 – 75, *Thép đàn hồi - Mác thép và yêu cầu kỹ thuật*, Tiêu chuẩn Quốc Gia Việt Nam.
- [44] TCVN197-1:2014, *Vật liệu kim loại - Thử kéo - Phần 1: Phương pháp thử ở nhiệt độ phòng*.
- [45] TCVN257-1:2007, *Vật liệu kim loại - Thử độ cứng Rockwell - Phần 1*.
- [46] TCVN 5047:1990 *Hợp kim cứng - Phương pháp xác định độ cứng Vicke*.

Tài liệu tiếng Anh

- [47] ASTM G99 - 05 (2016), Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.
- [48] ASTM E340-13, Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys.
- [49] ASTM E407 - 7 (2015), Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.
- [50] ASTM E415:2015, Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry.
- [51] Afrox Product Reference Manual, *Welding Consumables Hardfacing*, Section 12.
- [52] Amada (2013), *Fundamentals of Small Parts Resistance Welding*, Amada Miyachi America, Inc.
- [53] ARO (2003), *User's Manua Mos Machines Sing-Phase seam whel* , ARO 1, avenue de Tours - 72500 Chateau-Du-Loir – France.
- [54] A.Yu. Konnov, *Recovery shafts by multilayer contact welding of metal grids*, All-Russian Scientific and Practical Conference, February 25-26, 2016, Bashkir State University, city of Ufa, Pages 120-125.
- [55] A.Yu. Konnov, *On restore of food and processing industry machinery parts/ The IV All-Russian Scientific and Practical Conference*, March 3-5, 2015, Bashkir State University, city of Ufa, Pages 125-130.
- [56] Bastien Gerard, *Fundamentals of Hardfacing by arc welding*, Welding Engineer, Welding Alloys France.
- [57] Chakradhar, D.; Venu Gopal, A. *Multi-objective optimization of electrochemical machining of EN31 steel by grey relational analysis*. // International Journal of Modeling and Optimization. 1, 2(2011), pp. 113-117. DOI: 10.7763/IJMO.2011.V1.20.
- [58] Chuan Huat Ng and Mohd Khairulamzari Hamjah (2014), *Welding Parameter Optimization of Surface Quality by Taguchi Method*, Applied Mechanics and Materials, Vol 660 pp 109-113.
- [59] Datta, S.; Bandyopadhyay, A.; Pal, P. K. *Grey-based Taguchi method for optimization of bead geometry in submerged arc bead-on-plate welding*. // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 39, 1112(2008), pp. 1136-1143. DOI: 10.1007/s00170-007-1283-6.
- [60] Deng, J. *Introduction to Grey system theory*. // Journal of Grey System. 1, 1(1989), pp. 1-24.

- [61] D.M. Nurtdinov, *Double-type scheme of steel wire resistance welding in rebuilding modes of tractor shafts*, All-Russian Scientific and Practical Conference, February 25-26, 2016, Bashkir State University, city of Ufa, pages 196-202.
- [62] D.M. Nurtdinov, I.I. Zagirov, M.Z. Nafikov, *The double-type scheme of steel wire electric resistance welding*, The IV All-Russian Scientific and Practical Conference, March 3-5, 2015, Bashkir State University, city of Ufa, pages 178-183.
- [63] Dubrovsky V.A. *Developing electric contact surfacing technologies and equipment with wire welding*. Abstract of Doct. diss. Kaluga, 2006.
- [64] EAA (2015), *Electric resistance welding Aluminium Automotive Manual - Joining*, Published in by European Aluminium Association.
- [65] ENTRON (2014), *Resistance Welding Basics - Welding Sequence - Definitions Machine set-up* - ENTRON Controls, LLC.
- [66] ENTRON (2014), *Resistance Welding Controls and Applications*, ENTRON Controls, LLC.
- [67] ENTRON (2014), *Rules For Making Good Welds*, ENTRON Controls, LLC.
- [68] Esab AB, *Repair and Maintenance Welding Handbook*, Second Edition.
- [69] E.S. Karakozov (1976), *Solid phase bonding of metals*, Moscow: Metallurgiya.
- [70] Franko Puh, Zoran Jurkovic, Mladen Perinic, Miran Brezocnik, Stipo Buljan (2006), *Optimization of Machining Parameters for Turning Operation with Multiple Quality Characteristics Using grey Relational Analysis*, Tehnički vjesnik Vol.23, No.2, ISSN 1330-3651, P 377-382.
- [71] Gang Yu (2006), *Research on laser welding of cast Ni-based superalloy K418 turbo disk and alloy steel 42CrMo shaft*, Journal of Alloys and Compounds 453 (Chinese).
- [72] Hongyan Zhang - Jacek Senkara (2006), *Resistance Welding Fundamentals and Applications*, Published in by CRC Press Taylor & Francis Group, LLC.
- [73] I.R. Shakirov, *Restoration shafts by electric resistance welding of two steel wires*, The IV All-Russian Scientific and Practical Conference, March 3-5, 2015, Bashkir State University, city of Ufa, Pages 289-293.
- [74] I.R. Shakirov, *Improving the efficiency of shafts restoration by electric resistance welding of two steel wires*, February 25-26, 2016, Bashkir State University, city of Ufa, pages 314-319.

- [75] IWE (2015), *International Welding Engineer*, Copyright by GSI SLV Duisburg.
- [76] J. Hermsdorf (2011), *Laser-guided GMA Deposition Welding: Hardfacing and Shaft Cladding*, Laser Zentrum, Hannover (in Germany)
- [77] Nguyen Van Khang, Vu Duc Phuc, Do The Duong, Nguyen Thi Van Huong (2018), *A procedure for optimal design of a dynamic vibration absorber installed in the damped primary system based on Taguchi's method*, Vietnam Journal of Science and Technology 56 (5) 649-661.
- [78] King, W.Y. (1967) *Diffusion welding of commercially pure titanium*/ W.Y. King, W.A. Owzarsky, The welding journal, Vol.46. - №7. - P.289-298.
- [79] King, W.Y. *Diffusion welding of the nickel-base superalloys*/ W.Y. King, W.A. Owzarsky // The welding journal.- 1969.-Vol.47.-№10.- P.444-450.
- [80] L.I. Khalilova, I.R. Gaskarov, *Features processing, control and restoration of conic surfaces details*, All-Russian Scientific and Practical Conference February 25-26, 2016, Bashkir State University, city of Ufa, pages 64-69.
- [81] L.N. Sokolov et al (1997), *The calculation of the geometrical dimensions of the contact between the filler wire and the electrode in electric resistance surfacing*. Svar Proiz. 1997;(10):43–44.
- [82] L. Pawlowski, 2008, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, JohnWiley&Sons, Ltd. ISBN: 978-0-471-49049-4.
- [83] M.N. Farshatov, K.V. Juferov, *Features of technology of restoration of cranked shaft of compressors of electrocontact welding of highly carbonaceous steel tapes*, All-Russian Scientific and Practical Conference, June 06-07,2013, Bashkir State University, city of Ufa, pages 308-313.
- [84] Montgomery, D (2003), *Design and Analysis of Experiments*. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.,.
- [85] M.Z. Nafikov (2009), *A method for the determination of the plastic deformation resistance of filler wires in electric resistance surfacing*, Welding International, Vol. 23, No. 11, 861–864.
- [86] M.Z. Nafikov (2010), *Process validation and development of technical means to restore tractor parts with electric contact surfacing*, Abstract of Doct. diss. Saransk, 36 page.
- [87] M.Z.Nafikov, *Structure study metal coating formed contact welding of wires*, All-Russian Scientific and Practical Conference, June 06-07, 2013, Bashkir State University, city of Ufa, Pages 217-223.

- [88] M.Z. Nafikov (2015), *Formalized description of the process of formation of the welded joint in resistance welding of wires*, *Welding International*, Vol. 29, No. 6, 466–470.
- [89] M.Z. Nafikov (2016), *Reconditioning of shafts by electric resistance welding of two steel wires*, *Welding International*, Vol. 30, No. 3, 236–243.
- [90] M.Z. Nafikov (2018), *Deposition of coatings of non-ferrous metals and alloys on a carbon steel substrate*, *Welding international*, Vol. 32, no. 1, 82–84.
- [91] M.Z. Nafikov (2013), *Physical and technical and operational properties of metal coating formed with steel wire contact welding*, Publishing house: The Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education, Bashkir State Agrarian University.
- [92] M.Z. Nafikov, I.I. Zagirov (2012), *Coniditions of electro-contact brazing by wire I.8 IIK-2*, *Scientific journal - Baskir State Agrarian University*, No 2 (22).
- [93] M.Z. Nafikov, R.N. Sajfullin, A.P. Pavlov, *Application of the method of electric and thermal similarity at definition of modes of electrocontact welding of steel grids*, All-Russian Scientific and Practical Conference, June 06-07, 2013, Bashkir State University, city of Ufa, Pages 224-228.
- [94] N.P. Gromov (1978). *The theory of pressure working of metals*. Moscow: Metallurgiya.
- [95] Oerlikon, *Hardfacing Manual*, Air Liquide Welding France.
- [96] Pasupathy. J, Ravisankar. V, Senthilkumar. C, Parametric (2014), “*Optimization of TIG welding of Galvanized Steel with AA1050 using Taguchi Method*”, *International Journal of Science and Research (IJSR)*.
- [97] Ranit K.Roy, (2001), *Design of Experiments using the Taguchi Approach - 16 step to Product and process Improvement*, AWiley - interscience publication , John Willey & sons, inc.
- [98] R.N. Saifullin, A.F. Zaripov, *Method of recovery small worn parts electrocontact welding powder*, All-Russian Scientific and Practical Conference, June 06-07, 2013, Bashkir State University, city of Ufa, Pages 276-278.
- [99] R.N.Sayfullin, Nafikov M.Z. *On the possibility of restoring outworn arbors by electro-contact welding of steel wires with powder coating*, *The monthly scientific and production journal, Mashinostroenie Publishers*, No 5 (53) May 2009.

- [100] Sandeep Jindal and Deepak Kumar (2014), “*Optimization of Process Parameters of Gas Metal ARC Welding by Taguchi’s Experimental Design Method*”, International Journal of Surface Engineering & Materials Technology, Vol. 4, No. 1, January–June 2014, ISSN: 2249-7250.
- [101] Senthilkumar, N.; Sudha, J.; Muthukumar, V. A *grey-fuzzy approach for optimizing machining parameters and the approach angle in turning AISI 1045 steel*. // Advances in Production Engineering & Management, 10, 4(2015), pp. 195-208. DOI: 10.14743/apem2015.4.202.
- [102] Siva Sitthipong (2016), *Life Extension of Propeller Shafts by Hardfacing Welding*, Materials Science Fouram (in Switzerland)
- [103] Taguchi.G, Chowdhury.S, Wu.Y (2005), *Taguchi’s Quality Engineering Handbook*, John Wiley & Sons, Inc.
- [104] V.A. Dubrovsky (1997), *Equipment UEN-01 for electric resistance surfacing and surface quenching of shaft-type components*, Svar Proiz 1997 (7) 37–38.
- [105] V.A. Du brovskii, V.V. Bulychev and A.I. Ponomarev (2003), *Preventing splashing in electrical resistance surfacing with a wire of 40Cr13 steel*, Welding International, vol. 17, No 11, 895–898.
- [106] Vineeta Kanwal, R S Jadoun (2015), “*Optimization of MIG Welding Parameters for Hardness of Aluminium Alloys Using Taguchi Method*”, SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG-IJME) - volume 2 Issue 6–June 2015.
- [107] Y.u. V Klimenko (1978), *Electric resistance surfacing*, Moscow: Metallurgiya Publ., 1978, 128 pages.
- [108] Y.u. V Klimenko (1981), *Electrical resistance surfacing of metals with melting of the boundary layer*. Svar Proiz. 1981; (8): 20–21.

Тài liệu tiếng Nga

- [109] Абдурахманов, Т.У. Исследование восстановления шеек валов неподвижных соединений тракторов и сельскохозяйственных машин контактным электроимпульсным покрытием лентой: дисс. ... канд. техн. наук / Т.У. Абдурахманов. - Новосибирск, 1975.
- [110] Аскинази, Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази. - 2-е изд., перераб. и доп. -Л.: Машиностроение, 1977. - 183 с.
- [111] Амелин, Д.В. Новые способы восстановления и упрочнения деталей машин электроконтактной наваркой / Д.В. Амелин, Е.В. Рымов. - М.: Транспорт, 1995. - 303 с.

- [112] Амелин, Д.В. Электроконтактная приварка порошковых материалов - высокоэффективный способ восстановления и упрочнения деталей / Д.В. Амелин // Сварочное производство. - 1985. - №1. - С.5-7.
- [113] Бурак, П.И. Восстановление деталей машин электроконтактной приваркой металлической ленты через промежуточный слой: автореферат дисс. ... канд. техн. наук: / П.И. Бурак. - М., 2004. - 17 с.
- [114] Восстановление деталей сельскохозяйственной техники механизированной наплавкой с применением упрочняющей технологии [Текст]/ под ред. В.М. Кряжкова - М.: ОНТИ ГОСНИТИ, 1972. - 230 с.
- [115] Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей / Е.Л. Воловик-М.: Колос, 1981.-351 с.
- [116] Ибрагимов, В.С. Современные способы восстановления деталей машин: учебное пособие / В.С. Ибрагимов - Ульяновск: Издательство Ульяновского СХИ, 1988. - 96 с.
- [117] Ибрагимов, В.С. Эффективный к.п.д. и интенсивность охлаждения при восстановлении изношенных деталей электроконтактной наплавкой / В.С. Ибрагимов, М.З. Нафиков // Сварочное производство. - 1976. - №4. - С. 14-15.
- [118] Исламгулов, А.К. Исследование восстановления изношенных деталей тракторов, автомобилей и сельхозмашин электроконтактной наплавкой: дисс.... канд. техн. наук / А.К. Исламгулов. - Уфа, 1972. - 19 с.
- [119] Исламгулов, А.К. Исследования по выбору оптимальных режимов процесса электроконтактной наплавки / А.К. Исламгулов, В.С. Ибрагимов, Ю.В. Клименко // Эксплуатация и ремонт машинно-тракторного парка. - Уфа: БСХИД972. - С.75-83.
- [120] Каракозов Э.С. / Э.С. Каракозов, М.Х. Шоршоров // Физика и химия обработки материалов. — 1971. - №4. — С.94-100.
- [121] Касаткин, Б.С. Формирование соединения при сварке без оплавления / Б.С. Касаткин, Г.Н. Кораб // Автоматическая сварка. - 1967. - №4. - С.33-38.
- [122] Клименко, Ю.В. *Электроконтактная наплавка* / Ю.В. Клименко. - М.: Металлургия, 1978. - 128 с.

- [123] Купренко, Г.И. Исследование возможности конденсаторной сварки как средства для восстановления автотракторных деталей: дисс. ... канд. техн. наук. / Г.И. Купренко. — Ростов, 1968.
- [124] Латыпов, Р.А. Влияние технологических параметров электроконтактной приварки на формирование покрытия из шлифовальных шламов / Р.А. Латыпов, Н.Д. Бухмудкадиев, Б.А. Молчанов // Сварочное производство. - 1997. - №12. - С.10-13
- [125] Латыпов, Р.А. Восстановление цилиндрических деталей электроконтактной приваркой стальной ленты через промежуточный слой порошка ПГ-СР2 / Р.А. Латыпов, П.И. Бурак // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: Сб. науч. тр. МГУ им. Н.П. Огарева. - Саранск: «Крас. Окт.», 2004. - С.86-90.
- [126] Молодык, Н.В. Восстановление деталей машин: справочник / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин. - М.: Машиностроение, 1989. - 480 с.
- [127] Нафиков, М.З. Разборные образцы для исследования электроконтактной наплавки / М.З. Нафиков, И.И. Загиров, Р.Н. Сайфуллин // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2008. — №5. — С.41
- [128] Hofmann, W. Zur Trade der platzwechsel bei der Kalt-pressung der Metalle / W. Hofmann, I. Kirch // Zeitschrift fur Metallkunde. - 1966. - №4.
- [129] Оханов, Е.Л. Исследование эксплуатационных свойств чугунных коленчатых валов, восстанавливаемых электроконтактной приваркой порошковых твердых сплавов: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / Е.Л. Оханов.-М., 1981.-17 с.
- [130] Поляченко, А.В. Увеличение долговечности восстанавливаемых деталей контактной приваркой износостойких покрытий в условиях - сельскохозяйственных ремонтных предприятий: дисс. ... д-ра техн. наук / А.В. Поляченко. - М., 1984.
- [131] Рафиков И.А, Сайфуллин Р.Н, *Особенности плазменной наплавки в управляемом магнитном поле*/ материалы всероссийской научно-практической конференции. 13-15 декабря 2011 г. Башкирский ГАУ - Уфа.
- [132] Рекомендации по восстановлению деталей типа «вал» контактной приваркой металлической ленты. - М. ГОСНИТИ, 1977. - 28 с.

- [133] Рогинский, Л.Б. Восстановление с помощью пайки чугунных коленчатых валов [Текст] / Л.Б. Рогинский [и др.] // Сварочное производство. - 1993. - №6. - С. 14,15.
- [134] Сайфуллин, Р.Н. Восстановление деталей электроконтактной приваркой композиционных материалов с антифрикционными присадками: дисс. ... канд. техн. наук / Р.Н. Сайфуллин. - Уфа, 2001.
- [135] Сонин, В.И. Газотермическое напыление материалов в машиностроении / В.И. Сонин - М.: Машиностроение, 1973. - 150.
- [136] Технология и оборудование контактной сварки: учебник / под ред. Б.Д. Орлова. - М. : Машиностроение, 1986. - 352 с.
- [137] Ульман, И.Е. Ремонтно-восстановительные проблемы и их решение научным коллективом ремонтников Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства / И.Е. Ульман, Г.А. Тонн//Тр. ГОСНИТИ.-М.: ГОСНИТИ, 1973. - Т . 3 8 . - С 3 . . . 8.
- [138] Черноиванов, В.И. Организация и технология восстановления деталей машин / В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин. - М.: ГОСНИТИ, 2003. - 448 с.
- [139] Черноиванов, В.И. Формирование покрытий на рабочих поверхностях деталей электроконтактной наплавкой / В.И. Черноиванов [и др.] // Сварочное производство. - 1986. - №4. - С. 16-18.
- [140] Щубин, Д.П. Технология восстановления внутренних цилиндрических поверхностей стальных деталей электроконтактным напеканием: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / Д.П. Щубин. - Челябинск, 1989-19с.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Nguyễn Minh Tân, Lê Văn Thoài, Hoàng Văn Châu, Đào Quang Kế, Lê Thu Quý (2015), *Nghiên cứu công nghệ hàn đắp phục hồi chi tiết tròn xoay bằng hàn lăn tự động với băng thép hợp kim*. Hội nghị KH&CN toàn quốc về cơ khí lần thứ IV, Phân ban 1 - Cơ khí Chế tạo Máy, tr 36-43, TP.HCM, 06/11/2015.
2. Lê Văn Thoài, Nguyễn Minh Tân, Hoàng Văn Châu, Đào Quang Kế (2015), *Nâng cao năng suất chất lượng kết cấu hàn bằng công nghệ hàn tự động với bột kim loại bổ sung*, Hội nghị KH&CN toàn quốc về cơ khí lần thứ IV, Phân ban 1 - Cơ khí Chế tạo Máy, tr 118-195, TP.HCM, 06/11/2015.
3. Nguyễn Minh Tân, Lê Văn Thoài, Hoàng Văn Châu, Đào Quang Kế (2016), *Nghiên cứu công nghệ hàn đắp phục hồi bề mặt trục thép C45 bằng hàn lăn tự động với dây thép hợp kim 65G*. Hội nghị KH&CN toàn quốc về Cơ khí - Động lực. Đại học Bách khoa Hà Nội, Tập 1, tr.363-368, 13/10/2016.
4. Lê Văn Thoài, Nguyễn Minh Tân, Hoàng Văn Châu (2016), *Độ dai va đập kim loại mối hàn trong công nghệ hàn tự động với bột kim loại bổ sung*. Hội nghị KH&CN toàn quốc về Cơ khí - Động lực. Đại học Bách khoa Hà Nội, Tập 1, tr.327-331, 13/10/2016.
5. Ngo Thi Thao, Le Van Thoai, Nguyen Minh Tan, Bui Van Khoan (2016), *Using inverse method for predicting heat generated in friction welding*, Hội nghị KH&CN toàn quốc về Cơ khí - Động lực. Đại học Bách khoa Hà Nội, Tập 1, tr.288-293, 13/10/2016.
6. Nguyễn Minh Tân, Lê Văn Thoài, Ngô Thị Thảo, Hoàng Văn Châu, Đào Quang Kế (2016), *Công nghệ hàn đắp phục hồi kích thước trục thép C45 bằng hàn lăn tự động với dây thép hợp kim*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Mã số 33 - 44 Tập 54 - số 5A.
7. Nguyễn Minh Tân, Lê Văn Thoài, Hoàng Văn Châu, Đào Quang Kế (2018), *Tối ưu hóa thông số công nghệ hàn điện tiếp xúc cho độ bền bám dính lớp đắp chi tiết trục*, Tạp chí Cơ Khí Việt Nam, số 10, trang 31-39, ISSN 0866-7056.
8. Nguyễn Minh Tân, Lê Văn Thoài, Ngô Thị Thảo (2018), *“Nghiên cứu tổ chức và cơ tính lớp kim loại đắp trong hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết trục”*, Tạp chí khoa học và công nghệ - Trường Đại học SPKT Hưng Yên, Số 20, Tháng 12 năm 2018: ISSN 2354-0575.
9. Minh Tan Nguyen, Van Nhat Nguyen, Van Chau Hoang, Shyh-Chour Huang (2019), *"Optimizing resistance welding parameters on Ashesion strength of c45 steel shaft by using taguchi method"*, Journal of Physics: Conference Series, IOP publishing, MEIE28142.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1: Các kết quả kiểm tra

- + Bảng kết quả kiểm tra thành phần hóa học mẫu trực hàn thực nghiệm thép C45.
- + Bảng kết quả kiểm tra thành phần hóa học dây hàn phụ thép C70.
- + Bảng kết quả kiểm tra thành phần hóa học mẫu làm chốt kéo kiểm tra độ bền liên kết (thép C45).
- + Ảnh chụp tổ chức thô đại liên kết hàn đắp - mẫu hàn thăm dò.
- + Bảng kết quả kiểm tra giới hạn bền kéo của vật liệu làm chốt kéo
- + Bảng kết quả kiểm tra giới hạn bền kéo lớp hàn đắp với nền - mẫu hàn thăm dò.
- + Bảng kết quả kiểm tra độ cứng thô đại lớp hàn đắp - mẫu hàn thăm dò.
- + Ảnh chụp tổ chức thô đại các mẫu hàn thực nghiệm.
- + Ảnh chụp tổ chức thô đại các mẫu hàn thực nghiệm.
- + Ảnh chụp tổ chức tế vi vùng tiếp giáp kim loại giữa kim loại hàn với kim loại cơ bản các mẫu hàn thực nghiệm.
- + Ảnh chụp tổ chức tế vi vùng kim loại mối hàn các mẫu thực nghiệm.
- + Ảnh chụp tổ chức tế vi vùng ảnh hưởng nhiệt các mẫu thực nghiệm.
- + Ảnh chụp tế vi vùng kim loại cơ bản.
- + Bảng kết quả kiểm tra thành phần hóa học lớp hàn đắp các mẫu thực nghiệm.
- + Bảng kết quả kiểm tra giới hạn bền kéo lớp hàn đắp với nền - các mẫu thực nghiệm.
- + Bảng kết quả kiểm tra độ cứng thô đại lớp hàn đắp - các mẫu thực nghiệm.
- + Bảng kết quả kiểm tra độ cứng tế vi mặt cắt ngang liên kết hàn - các mẫu thực nghiệm.
- + Bảng kết quả kiểm tra mài mòn - các mẫu hàn thực nghiệm.
- + Bảng kết quả kiểm tra mài mòn – mẫu thép C45 tôi cao tần.
- + Ảnh chụp SEM bề mặt mẫu thử mòn của mẫu hàn và mẫu thép C45 nhiệt luyện.
- + Bảng kết quả kiểm tra cơ tính lớp hàn đắp - các mẫu hàn kiểm chứng.