

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ CÔNG THƯƠNG**

**VIỆN NGHIÊN CỨU CƠ KHÍ**

**NCS. HOÀNG ĐỨC LONG**

**NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CHẾ ĐỘ HÀN ĐIỆN XỈ - ÁP LỰC  
TỐI ƯU ỨNG DỤNG ĐỂ HÀN NỐI CỐT THÉP**

**CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ  
MÃ SỐ: 9520103**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT CƠ KHÍ**

**HÀ NỘI - 2019**

Công trình được hoàn thành tại Viện Nghiên cứu Cơ khí - Bộ Công Thương

**Người hướng dẫn khoa học:**

**1. PGS. TS Bùi Văn Hạnh**

**2. PGS. TS Nguyễn Chỉ Sáng**

**Phản biện 1:**

**Phản biện 2:**

**Phản biện 3:**

**Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện**

Họp tại: Viện Nghiên cứu Cơ khí - Bộ Công thương

Tòa nhà trụ sở chính, số 4 Đường Phạm Văn Đồng,

Quận Cầu Giấy, Thành phố Hà Nội

Vào hồi ... giờ ... , ngày tháng năm

**Có thể tìm hiểu Luận án tại các thư viện:**

**Thư viện Quốc gia**

**Thư viện Viện Nghiên cứu Cơ khí**

**Thư viện Trường Đại học Bách khoa Hà Nội**

# MỞ ĐẦU

## 1. Tính cấp thiết

Ở Việt Nam hiện nay, ngành xây dựng nhà cao tầng, cầu cống, thủy điện... đang phát triển rất mạnh. Trong đó, việc nối cốt thép tại công trường là một công đoạn rất quan trọng, có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng cũng như hiệu quả kinh tế của công trình.

Hiện nay, một phương pháp hàn mới: công nghệ hàn điện xi - áp lực đã bước đầu được triển khai để hàn nối cốt thép, bước đầu có kết quả khả quan và có tiềm năng ứng dụng rất rộng rãi. Phương pháp này có nhiều ưu điểm nổi trội khắc phục được những nhược điểm của các phương pháp nối trước đây. Tuy nhiên, do phạm vi nghiên cứu và kinh phí còn hạn hẹp, nên những vấn đề khoa học chuyên sâu của công nghệ này còn chưa được nghiên cứu một cách thấu đáo và có hệ thống. Quá trình tạo hồ quang để hình thành bề xi, quá trình truyền nhiệt, quá trình nóng chảy và hình thành mối hàn là rất phức tạp, phụ thuộc rất nhiều vào chế độ hàn như: cường độ dòng điện hàn, điệp áp hàn, thời gian hàn và áp lực hàn. Các thông số công nghệ hàn điện xi - áp lực này hiện chưa được nghiên cứu chuyên sâu, đặc biệt là thông số áp lực hàn ( $P_h$ ) và thời gian hàn ( $T_h$ ) chưa được chọn phù hợp đối với mỗi loại đường kính danh nghĩa cốt thép hàn ( $d_{d,n}$ ). Ngoài ra, chưa làm chủ được công nghệ và thiết bị chuyên dụng, đặc biệt là chưa có tiêu chuẩn quốc gia về lĩnh vực này, chất lượng mối hàn thử nghiệm đối với các loại đường kính cốt thép khác nhau còn chưa được ổn định.

Chính vì những lý do trên mà việc nghiên cứu tìm ra miền giá trị tối ưu của các thông số hàn điện xi - áp lực để nâng cao được chất lượng và hiệu quả kinh tế của mối hàn nối cốt thép là vấn đề rất cấp thiết và có ý nghĩa khoa học, thực tiễn cao.

## 2. Mục đích nghiên cứu của đề tài luận án

Xác định được bộ thông số công nghệ hàn tối ưu, phù hợp nhất với từng loại đường kính thép hàn, làm chủ được quy trình công nghệ hàn nối đối đầu cốt thép với trang thiết bị, đồ gá hàn điện xi - áp lực tự chế tạo tại Việt Nam và đưa vào ứng dụng tại thực tế công trường xây dựng.

## 3. Phạm vi nghiên cứu và nội dung của luận án

- Nghiên cứu tổng quan về các phương pháp nối đầu cốt thép xây dựng trong và ngoài nước, từ đó lựa chọn phương án hàn điện xi - áp lực là một hướng công nghệ hàn tiên tiến hiện nay có nhiều ưu điểm nổi bật và có nhu cầu ứng dụng ngày càng lớn trong nước và quốc tế. Đồng thời phân tích sâu các vấn đề chưa hoàn thiện cần giải quyết để làm cơ sở khoa học cho nghiên cứu tiếp theo của luận án.

- Nghiên cứu về cơ sở lý thuyết của Hàn điện xi và Hàn điện xi áp lực, xác định được các thông số chế độ hàn chính ảnh hưởng đến hình dáng và chất lượng của mối hàn. Từ đó lựa chọn các hàm mục tiêu và các yếu tố đầu vào cần nghiên cứu.

- Nghiên cứu về thiết bị, đồ gá và vật liệu hàn điện xi - áp lực hàn nối cốt thép. Thiết kế, chế tạo bộ đồ gá được điều khiển tự động, có khả năng cài đặt và thực hiện chính xác các chế độ công nghệ hàn. Thực nghiệm hàn điện xi - áp lực nối đối đầu cốt thép xây dựng (mác CB400-V) có đường kính danh nghĩa phổ biến  $d_{d,n} = 25$  mm bằng phương pháp quy hoạch thực giao kiểu 3 mức 3 yếu tố đầu vào chính có ảnh hưởng lớn nhất đến chất lượng và hình dáng mối hàn.

- Xây dựng mô hình toán học thực nghiệm biểu diễn sự phụ thuộc của hàm mục tiêu đầu ra (hình dáng và chất lượng mối hàn) vào các yếu tố công nghệ chính làm cơ sở khoa học cho việc lựa chọn chế độ hàn điện xi - áp lực tối ưu sao cho đảm bảo chất lượng mối hàn tốt và đạt mục tiêu về kinh tế của các công trình xây dựng.

- Sử dụng chế độ công nghệ hàn điện xi - áp lực tối ưu trong miền khảo sát của luận án để hàn nối đối đầu cốt thép và áp dụng vào một vài công trình xây dựng ở Việt Nam. Tiến hành kiểm tra chất lượng mối hàn, đánh giá hiệu quả kinh tế và kỹ thuật của công nghệ Hàn điện xi - áp lực ứng dụng hàn nối cốt thép xây dựng.

## 4. Phương pháp nghiên cứu

Kết hợp nghiên cứu lý thuyết với quy hoạch thực nghiệm.

## 5. Ý nghĩa khoa học của kết quả luận án

- Thông qua việc nghiên cứu chuyên sâu về bản chất quá trình hàn điện xi - áp lực đã xác định được các thông số chế độ hàn chính có ảnh hưởng mạnh đến hình dáng và chất lượng mối hàn nổi cốt thép.

- Ứng dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm trực giao kiểu  $N = 3^3 = 27$  (N27) để tính toán xây dựng các mô hình toán học mô tả quan hệ giữa các hàm mục tiêu đầu vào thông qua tiêu chí hình dáng hình học, độ bền kéo mối hàn với một số thông số công nghệ hàn chính lựa chọn gồm: cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ , A), thời gian hàn ( $T_h$ , s), áp lực hàn ( $P_h$ , MPa) làm cơ sở khoa học cho việc lựa chọn chế độ hàn tối ưu và hoàn thiện thiết bị hàn điện xi - áp lực trong điều kiện thực tiễn tại Việt Nam.

- Bằng cách sử dụng bộ đồ gá hàn chuyên dụng, các thông số chế độ hàn điện xi - áp lực tối ưu ( $I_h$ ;  $T_h$ ;  $P_h$ ) đã được điều khiển tự động với độ chính xác cao góp phần đạt được mối hàn có chất lượng tốt và hình dáng mong muốn.

## 6. Ý nghĩa thực tiễn của kết quả luận án

- Kết quả luận án đã hoàn thiện được công nghệ và thiết bị hàn điện xi - áp lực, góp phần triển khai ứng dụng một công nghệ mới với nhiều ưu điểm nổi trội vào sản xuất. Công nghệ hàn điện xi - áp lực đã được đưa vào áp dụng kiểm chứng tại một số công trình xây dựng nhà cao tầng với kết quả rất khả quan, nâng cao được chất lượng mối hàn và năng suất lao động, góp phần giảm giá thành công trình rất đáng kể.

## 7. Tính mới của kết quả luận án

- Trên cơ sở phân tích đánh giá quy trình công nghệ và các kết quả thử nghiệm của phương pháp hàn điện xi - áp lực, đã thiết kế, chế tạo bộ đồ gá hàn chuyên dụng có điều khiển tự động (PLC) để cài đặt chính xác chu trình hàn, thời gian hàn ( $T_h$ ), áp lực hàn ( $P_h$ ) với độ tin cậy cao.

- Bằng phương pháp thực nghiệm đơn yếu tố để thăm dò và định hướng công nghệ, đã xác định được quy luật ảnh hưởng của thông số công nghệ hàn mới: áp lực hàn ( $P_h$ ) đến hàm mục tiêu chất lượng mối hàn thông qua tiêu chí độ bền kéo mối hàn ( $\sigma_K$ , MPa) bằng các đồ thị trực quan 2D. Từ đó đã xác định được miền điều chỉnh lựa chọn của áp lực hàn một cách có cơ sở khoa học và thực tiễn rất tin cậy.

- Ứng dụng phương pháp quy hoạch trực giao kiểu 3 mức 3 yếu tố đầu vào  $N = 3^3 = 27$  (N27) với các yếu tố đầu vào là cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ , A), thời gian hàn ( $T_h$ , s), áp lực hàn ( $P_h$ , MPa) áp dụng cho đường kính danh nghĩa cốt thép  $d_{dn} = 25$  mm, đã xác định được mô hình toán học lượng hóa quy luật ảnh hưởng của chúng đến các hàm mục tiêu đầu ra như sau:

+ Độ bền kéo dọc trục cốt thép hàn  $Y_1 = \sigma_K$ , MPa.

+ Độ nở phình trung bình theo hướng kính mối hàn  $Y_3 = \Delta d_h$ , mm.

- Nhờ trợ giúp của phần mềm tin học chuyên dụng đã đưa ra các đồ thị trực quan 3D biểu diễn sự ảnh hưởng của các chế độ hàn điện xi - áp lực đến chất lượng và hình dáng mối hàn. Kết hợp với việc đánh giá các kết quả thí nghiệm và đồ thị 2D, đã lựa chọn được các thông số chế độ hàn tối ưu cho đường kính cốt thép đã chọn.

- Bằng phân tích và đánh giá tổ chức thô đại mối hàn, tổ chức tế vi vật liệu tại tâm mối hàn và các vùng ảnh hưởng nhiệt trên một số mẫu thí nghiệm điển hình nhận được theo quy hoạch thực nghiệm N27, đã làm rõ đặc tính tổ chức vật liệu mối hàn cốt thép xây dựng bằng phương pháp hàn điện xi - áp lực, làm cơ sở khoa học cho việc đánh giá tổng hợp về chất lượng kết cấu hàn và cơ chế hình thành mối hàn.

- Đã áp dụng thử thành công kết quả của luận án trên một số công trình xây dựng ở Việt Nam. Kết quả kiểm định mối hàn cho thấy chất lượng mối hàn tốt và ổn định, mối hàn có hình dáng hình học đạt yêu cầu mong muốn. Điều đó củng cố niềm tin của các doanh nghiệp xây dựng trong nước vào tiềm năng phát triển lớn của công nghệ này vào nhiều công trình xây dựng mới ở nước ta.

## **8. Cấu trúc của luận án**

Ngoài Mục lục, phụ lục, danh mục tài liệu tham khảo, danh mục các công trình đã công bố có liên quan đến luận án, luận án được trình bày trong 132 trang chế bản điện tử khổ A4, với 5 chương như sau:

Mở đầu

- Chương 1: Tổng quan về công nghệ nối cốt thép;
- Chương 2: Cơ sở lý thuyết hàn điện xi và hàn điện xi - áp lực.
- Chương 3: Vật liệu, trang thiết bị thí nghiệm và phương pháp nghiên cứu;
- Chương 4: Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ hàn đến đặc tính mối hàn điện xi - áp

lực;

- Chương 5: Ứng dụng hàn thực nghiệm tại công trường, đánh giá chất lượng, hiệu quả kinh tế và kỹ thuật của công nghệ hàn điện xi - áp lực;

Kết luận chung luận án;

# CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NỐI CỐT THÉP

## 1.1. Khái quát về các phương pháp nối cốt thép trong xây dựng

*1.1.1. Nối cốt thép bằng phương pháp buộc chồng*

*1.1.2. Nối cốt thép bằng ống nối dập ép*

*1.1.3. Nối cốt thép bằng ống ren*

*1.1.4 Nối cốt thép bằng kẹp cóc*

*1.1.5 Một số phương pháp hàn nối cốt thép*

*1.1.5.1. Nối cốt thép bằng hàn hồ quang tay*

*1.1.5.2. Nối cốt thép bằng hàn điện trở đối đầu*

## 1.2. Nối cốt thép bằng hàn điện xỉ - áp lực, hiện trạng nghiên cứu và ứng dụng trong nước và quốc tế

*1.2.1. Nối cốt thép bằng phương pháp hàn điện xỉ - áp lực*

Việc hàn nối cốt thép được thực hiện nhờ áp dụng công nghệ hàn điện xỉ kết hợp với tạo áp lực để hình thành mối hàn.

Mô hình chính hãng đối đầu cốt thép bằng công nghệ hàn điện xỉ áp lực được minh họa như trên Hình 1.1.



Hình 1.1. Hàn điện xỉ - áp lực

### *1.2.2. Hiện trạng nghiên cứu và ứng dụng công nghệ hàn điện xỉ- áp lực trong nước và quốc tế.*

#### a. Trong nước

Viện Nghiên cứu Cơ khí (Bộ Công Thương) đã chủ trì thực hiện một đề tài nghiên cứu khoa học cấp Sở Khoa học và Công nghệ Hà Nội (Mã số TC-CN/01-08-2) về vấn đề ứng dụng phương pháp hàn đối đầu cây thép bằng công nghệ hàn điện xỉ - áp lực có kết quả khả quan. Nhưng do phạm vi nghiên cứu và kinh phí còn hạn hẹp, nên những vấn đề khoa học chuyên sâu của công nghệ này còn chưa được thực hiện một cách thấu đáo và có hệ thống.

#### b. Quốc tế

Trung Quốc đã sản xuất các thiết bị và đồ gá điều khiển bằng tay để ứng dụng công nghệ hàn điện xỉ - áp lực tại hiện trường. Đã đưa ra được quy trình hàn và dải chế độ hàn tùy thuộc vào từng loại đường kính cốt thép từ 16-32mm. Việc ứng dụng phương pháp hàn này đã được nhà nước Trung Quốc cho phép và được quy định trong tiêu chuẩn ngành xây dựng JGJ18-2003, JGJ107-2003.

Tuy nhiên, trong thực tế sản xuất, việc quản lý chất lượng mối hàn là rất khó khăn. Chất lượng mối hàn không đồng đều và có nhiều khuyết tật như không ngấu, ngậm xỉ, nứt rìa mối hàn... Đặc biệt, Mối hàn có hình dáng không cân đối, hay bị chày xệ về một bên, kích thước không đều, mối hàn không khống chế được kích thước nên thường to hơn rất nhiều so với yêu cầu, ảnh hưởng lớn đến hiệu quả kinh tế của công trình.

### **1.2.3. Các vấn đề hạn chế, tồn tại và định hướng nghiên cứu**

- Hình dáng mối hàn chưa đồng đều, nhiều trường hợp bị lệch tâm hoặc chày xệ. Kích thước mối hàn thường quá to so với tiêu chuẩn ( $\Delta d_h > 4\text{mm}$ ) [8]. Việc này dẫn đến lãng phí về vật liệu, năng lượng, thời gian hàn.
- Mối hàn bị nứt
- Mối hàn không ngấu, bị ngậm xỉ, rỗ khí
- Vận hành đồ gá hàn bằng tay nên việc thiết lập các chế độ hàn không chính xác, phụ thuộc nhiều vào tay nghề công nhân.
- Khoảng điều chỉnh trong bảng chế độ hàn quá rộng, chưa xác định được miền tối ưu của các thông số hàn :  $I_h$ ,  $T_h$ ...
- Chưa nghiên cứu đến sự ảnh hưởng của áp lực hàn  $P_h$  đến chất lượng và hình dáng mối hàn, áp lực hàn không được khống chế mà phụ thuộc hoàn toàn vào người công nhân.

Như vậy, từ các nghiên cứu tổng hợp tình hình thực tiễn về các công nghệ nối cốt thép trình bày ở phần trên, vấn đề tìm ra các giải pháp công nghệ đảm bảo khắc phục những hạn chế đó là rất cần thiết. Điều đó dẫn đến việc lựa chọn một số thông số công nghệ hàn điện xỉ - áp lực có ảnh hưởng mạnh đến quá trình hình thành và chất lượng mối hàn thông qua các thí nghiệm chuyên sâu. Đặc biệt là thông số công nghệ áp lực hàn cần phải được nghiên cứu khảo sát định lượng để đánh giá ảnh hưởng của nó đến hàm mục tiêu đầu ra trong công trình luận án này.

## **KẾT LUẬN CHƯƠNG 1**

Qua nghiên cứu tài liệu tham khảo và đánh giá khái quát về tình hình nghiên cứu, ứng dụng các phương pháp nối cốt thép trên đây ta có kết luận sau:

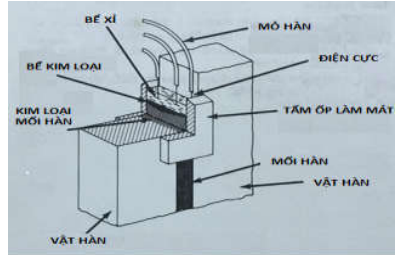
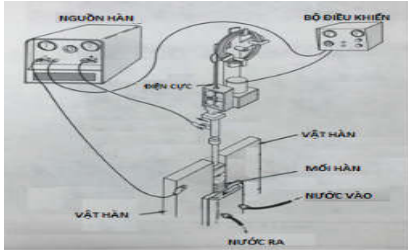
1. Công nghệ hàn điện xỉ - áp lực là phương pháp hàn nối cốt thép tiên tiến có nhiều ưu điểm nổi trội so với các phương pháp nối truyền thống, đảm bảo được chất lượng mối hàn nối cốt thép tốt, khả năng chịu tải của kết cấu công trình cao, giá thành thi công kết cấu hợp lý và đặc biệt là đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật ngày càng nâng cao của các công trình xây dựng quan trọng ở trong và ngoài nước.

2. Ở Việt Nam và Trung Quốc gần đây đã có nghiên cứu và ứng dụng công nghệ hàn điện xỉ - áp lực vào các công trình xây dựng bước đầu có kết quả khả quan. Tuy nhiên vẫn còn rất nhiều vấn đề hạn chế, tồn tại cần giải quyết đặc biệt là chất lượng mối hàn chưa ổn định, chế độ hàn chưa được lựa chọn phù hợp nhất, thiết bị hàn chưa được tự động hóa... Vì vậy, vấn đề này cần được tiếp tục nghiên cứu chuyên sâu để có cơ sở khoa học minh chứng cho việc làm chủ và đưa vào ứng dụng trên thực tiễn tại các công trình xây dựng trọng điểm, góp phần nâng cao chất lượng và hiệu quả kinh tế của công trình xây dựng.

## CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA HÀN ĐIỆN XỈ VÀ HÀN ĐIỆN XỈ - ÁP LỰC

### 2.1. Cơ sở lý thuyết Công nghệ hàn điện xỉ

#### 2.1.1. Nguyên lý cơ bản của Công nghệ hàn điện xỉ



Hình 2.1. Sơ đồ quá trình hàn điện xỉ ở vị trí đứng [26]

#### 2.1.2. Các bước công nghệ cơ bản của Công nghệ hàn điện xỉ

##### 2.1.2.1. Chuẩn bị mối nối.

##### 2.1.2.2. Định vị mối nối.

##### 2.1.2.3. Nối các điện cực với thép hàn

##### 2.1.2.4. Bắt đầu và kết thúc quá trình hàn

##### 2.1.2.5. Kiểm tra mối hàn

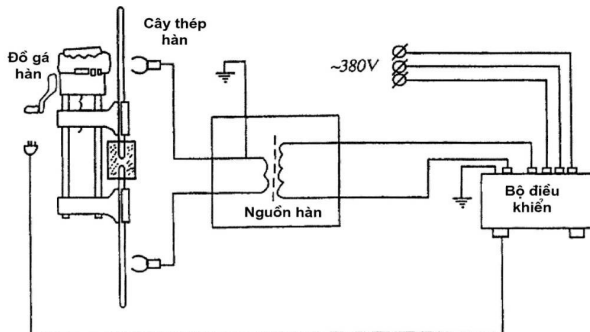
#### 2.1.3. Phạm vi ứng dụng, ưu điểm và hạn chế của hàn điện xỉ.

### 2.2. Cơ sở lý thuyết công nghệ hàn điện xỉ - áp lực

#### 2.2.1. Nguyên lý cơ bản của công nghệ hàn điện xỉ - áp lực

Hàn điện xỉ - áp lực cũng dựa trên nguyên lý cơ bản của phương pháp hàn điện xỉ thông thường. Quá trình hàn cũng sử dụng hồ quang giữa hai đầu cốt thép để nung chảy thuốc hàn tạo bể xỉ. Bể xỉ nóng có nhiệt độ cao vào khoảng  $1925^{\circ}\text{C}$  [26], cao hơn nhiệt độ nóng chảy của thép xây dựng ở  $1147^{\circ}\text{C}$ , sẽ làm chảy hai đầu của cây thép hàn. Tuy nhiên lúc này việc cấp thêm kim loại bù vào bể xỉ là rất khó khăn và không thuận tiện cho việc thao tác tại công trường. Do vậy, để hình thành mối hàn cần di chuyển và ép chặt hai đầu cây thép đã nóng chảy lại với nhau.

Mô hình chính để hàn cốt thép bằng công nghệ hàn điện xỉ áp lực được minh họa như sau (hình 2.2):



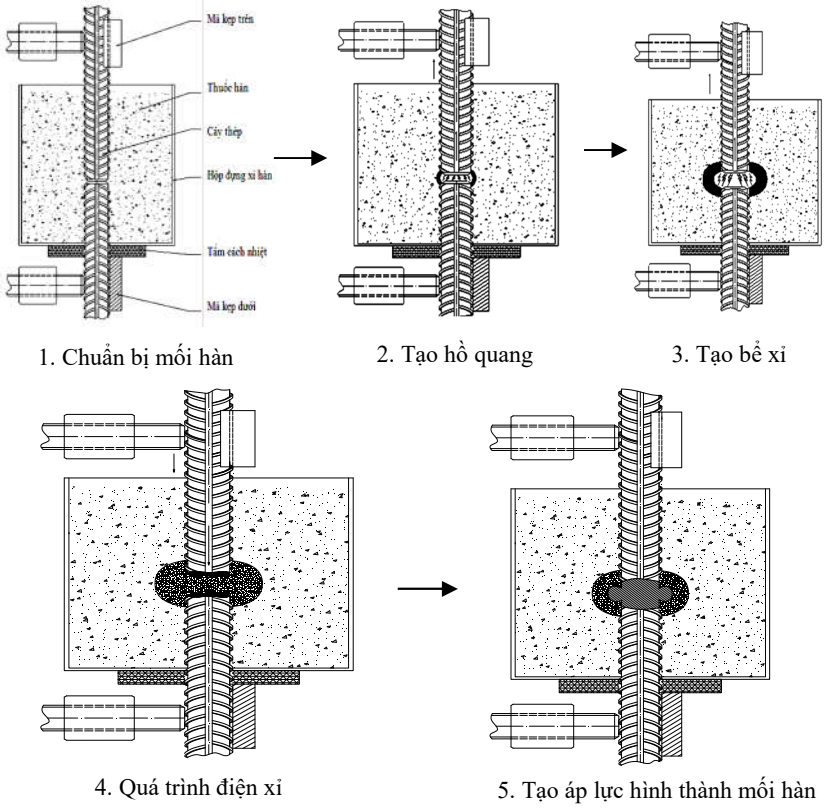
Hình 2.2. Mô hình hàn điện xỉ - áp lực [7]

Hai đoạn cốt thép cần nối được định vị thẳng tâm và đối đầu nhau thông qua má kẹp trên và dưới của một bộ đồ gá hàn.



Đồ gá hàn được thiết kế đặc biệt để có thể điều chỉnh được khoảng cách giữa 2 cây thép đồng thời tạo ra lực ép khi kết thúc quá trình hàn. Các cây thép phía dưới được nối với máy hàn thông qua các kim hàn. Xung quanh mỗi nối được bao bọc bằng thuốc hàn.

**2.2.2 Các bước công nghệ cơ bản của Công nghệ hàn điện xỉ - áp lực**



Hình 2.3. Các bước công nghệ cơ bản của Công nghệ hàn điện xỉ - áp lực

**2.2.3. Phạm vi ứng dụng, ưu điểm và hạn chế của Hàn điện xỉ - áp lực**

**2.2.3.1. Phạm vi ứng dụng**

Hàn điện xỉ - áp lực thường dùng để hàn các loại cốt thép ở vị trí thẳng đứng hoặc gần thẳng đứng trong khoảng nghiêng từ 10-15°.

Cũng có thể hàn ở độ nghiêng lớn hơn đến 45°, tuy nhiên cần có chế độ hàn và đồ gá hàn đặc biệt.

Thường dùng để hàn thép xây dựng hoặc thép hợp kim thấp có dải đường kính từ 14 - 36mm.

**2.2.3.2. Ưu điểm của phương pháp hàn điện xỉ - áp lực hàn nối cốt thép**

- Trang thiết bị hàn gọn nhẹ, thuận lợi cho việc thao tác tại công trường, trong không gian chật hẹp.

- Có thể hàn nối các loại cốt thép có hình dạng tiết diện ngang khác nhau: tròn, ô van, vuông, chữ nhật... hoặc nối các cốt thép có kích thước khác nhau;
  - Thời gian chuẩn bị và thao tác trong quá trình hàn ngắn nên năng suất lao động tăng, có thể sử dụng kết hợp nhiều đồ gá hàn với cùng 1 máy hàn;
  - Lực ép hai đầu cốt thép không cần quá lớn so với hàn đối đầu tiếp xúc, do vậy đồ gá hàn gọn nhẹ, rẻ tiền;
  - Dòng điện hàn thấp nên biến thể hàn nhỏ, dễ chế tạo và rẻ hơn nhiều so với hàn điện tiếp xúc;
  - Chất lượng mối hàn cao (do được bảo vệ trong lớp thuốc hàn nóng chảy và mối hàn được hình thành dưới áp lực hàn), không rỗ, không ngậm xỉ, kim loại mối hàn đồng đều với kim loại cơ bản do không cần kim loại bù.
  - Vì cốt thép được hàn đồng tâm nên khả năng chịu lực kéo, chịu nén, chịu uốn của cây thép tăng.
  - Không ô nhiễm môi trường: không khói, không hồ quang, không tiếng ồn;
  - Tiết kiệm được cốt thép so với các phương pháp nối cốt thép khác.
- 2.2.3.3. Những hạn chế của Hàn điện xỉ - áp lực**
- Yêu cầu cán bộ kỹ thuật và công nhân có trình độ chuyên môn và kỹ năng vận hành máy cao hơn so với các phương pháp hàn nối thông thường khác;
  - Chỉ hàn được cây thép ở vị trí thẳng đứng hoặc có độ nghiêng nhỏ.
  - Không hàn được thép hợp kim cao.
  - Chất lượng và kích thước mối hàn phụ thuộc nhiều vào tay nghề người thao tác.

## **2.3. Các thông số đặc trưng có ảnh hưởng quyết định đến hình dáng và chất lượng mối hàn điện xỉ - áp lực.**

### **2.3.1 Thông số đặc trưng chất lượng mối hàn**

Khi sử dụng cốt thép, một yêu cầu bắt buộc là phải kiểm tra cơ tính cốt thép. Trong đó độ bền kéo là một thông số cơ bản để đánh giá cơ tính, chất lượng của cốt thép.

Đối với hàn điện xỉ áp lực, sau mỗi loạt hàn cần lấy 3 mẫu hàn nối để kiểm tra độ bền kéo. Nếu có mẫu thử mà giá trị bền kéo thấp hơn giới hạn bền cho phép của cốt thép hàn thì phải lấy số lượng mẫu gấp đôi để tiến hành kiểm tra lại.

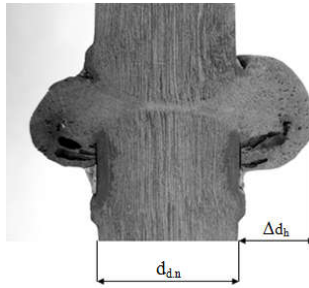
Như vậy, với yêu cầu bắt buộc phải kiểm tra độ bền kéo và mức độ quan trọng của chúng khi hàn, ta lựa chọn hàm mục tiêu đánh giá chất lượng mối hàn  $Y_1$  là độ bền kéo của liên kết hàn  $\sigma_K$ .

### **2.3.2. Thông số đặc trưng hình dáng mối hàn**

Nhìn vào mặt cắt ngang mối hàn điện xỉ áp lực, ta nhận thấy rằng độ nở phình của mối hàn là một thông số quan trọng vì các lý do sau :

- Đây là một thông số được quy định trong tiêu chuẩn xây dựng  $\Delta d_h > 4m$  [8];
- Tăng khả năng liên kết giữa cốt thép và bê tông;
- Tăng tiết diện ngang tại mối hàn nên tăng khả năng chịu tải của mối hàn;
- Toàn bộ các khuyết tật bên ngoài, bảo đảm phần tiết diện dọc theo trục cây thép không có khuyết tật.

Như vậy, độ nở phình hướng kính mối hàn  $\Delta d_h$  là một thông số rất quan trọng không những chỉ đối với hình dáng mà cả chất lượng mối hàn. Do vậy chúng ta lựa chọn hàm mục tiêu  $Y_3$  là độ nở phình  $\Delta d_h$ .



Hình 2.4. Mặt cắt ngang mối hàn điện xỉ - áp lực

## 2.4. Các thông số chính ảnh hưởng tới hình dáng và chất lượng mối hàn điện xỉ - áp lực và lựa chọn thông số nghiên cứu đầu vào

### 2.4.1. Điện áp hàn $U_h$

Ta nhận thấy, sự thay đổi của điện áp hàn trong quá trình hàn đối với các mối hàn khác nhau và với các đường kính cốt thép khác nhau là rất nhỏ. Điện áp hàn đã được được mặc định và không nên điều chỉnh trong suốt quá trình hàn để bảo đảm sự ổn định của quá trình hàn. Do vậy, đối với hàn điện xỉ thường dùng loại thiết bị tự điều chỉnh cân bằng điện áp hàn “Constant-Vontage”.

Như vậy, điện áp hàn là một yếu tố rất quan trọng đối với quá trình hàn, tuy nhiên cần giữ ổn định trong cả quá trình hàn. Do vậy, không lựa chọn điện áp hàn là thông số đầu vào khi nghiên cứu thực nghiệm quá trình hàn điện xỉ - áp lực.

### 2.4.2. Dòng điện hàn $I_h$

Phương pháp tính toán các thông số hàn điện xỉ dựa trên cơ sở phương trình cân bằng nhiệt của bể xỉ dưới dạng [1]:

$$q_x = q_h + q_t + q_m$$

ở đây:  $q_x$  - công suất nhiệt phát của bể xỉ, cal/gy;

$q_h$  - công suất nhiệt làm nóng chảy kim loại cơ bản, cal/gy;

$q_t$  - công suất nhiệt làm nóng chảy thuốc, cal/gy;

$q_m$  - công suất nhiệt thoát từ mặt bể xỉ, cal/gy.

Lượng nhiệt tổng của quá trình hàn điện xỉ được xác định theo biểu thức sau:

$$q_x = 0,24 \sum_{i=1}^n U_i I_i$$

Với hàn điện xỉ áp lực chỉ có 1 điện cực nên  $n=1$ .

Nhìn vào biểu thức tính toán lượng nhiệt của quá trình hàn điện xỉ, ta thấy cùng với điện áp hàn thì dòng điện hàn cũng có vai trò rất quan trọng để tạo ra nguồn nhiệt làm nóng chảy thuốc hàn, nóng chảy kim loại cơ bản.

Khi hàn điện xỉ nói chung và hàn điện xỉ - áp lực nói riêng, mối hàn được tạo thành bởi lượng kim loại chảy lỏng ở bề kim loại. Vì vậy, sự tăng cường độ dòng điện luôn dẫn đến tăng chiều sâu phần kim loại chảy dần đến tăng độ phình của mối hàn điện xỉ - áp lực. Tuy nhiên sự thay đổi độ phình mối hàn với dòng điện hàn có tính chất phức tạp, sự tăng dòng điện lúc đầu làm tăng kích thước, sau đó làm giảm vì chiều sâu vùng kim loại chảy quá lớn sẽ làm chảy xệ mối hàn. Ảnh hưởng chính của việc tăng dòng hàn sẽ làm giảm các thông số hình dáng và giảm khả năng chống nứt của mối hàn, tuy nhiên nếu dòng hàn quá thấp sẽ khó tạo bề xỉ, không đủ lượng kim loại chảy để hình thành mối hàn. Như vậy, dòng điện là yếu tố quan trọng của chế độ hàn mà nhờ nó có thể thay đổi chiều sâu phần kim loại chảy cũng như hình dáng mối hàn theo ý muốn.

Dòng hàn cũng có ảnh hưởng nhiều tới kích thước hạt cũng như kích thước vùng ảnh hưởng nhiệt, trực tiếp ảnh hưởng tới cơ tính của mối hàn.

Như vậy, dòng điện hàn là thông số có ảnh hưởng trực tiếp đến hình dáng và chất lượng mối hàn, đây là thông số có thể thay đổi để tạo ra mối hàn đạt yêu cầu mong muốn. Do vậy, dòng điện hàn là yếu tố có ảnh hưởng rất lớn đến mối hàn và cần được nghiên cứu kỹ trong quá trình nghiên cứu thực nghiệm.

#### **2.4.3. Thời gian hàn $T_h$**

Thời gian hàn  $T_h$  là tổng của thời gian tạo hồ quang hình thành bể xỉ  $T_{bx}$ , thời gian điện xỉ  $T_{dx}$  hình thành mối hàn.

$$T_h = T_{bx} + T_{dx} \text{ (s)}$$

Thời gian tạo bể xỉ  $T_{bx}$  sẽ quyết định chiều sâu của bể xỉ. Cần phải giới hạn chiều sâu tối thiểu của bể xỉ để cây thép có thể tiến ngập hoàn toàn vào trong bể xỉ và chảy lỏng bề mặt dưới của cây thép. Nếu chiều sâu bể xỉ quá nông sẽ dẫn đến xỉ bị phun ra và đánh hồ quang trên bề mặt bể xỉ, chiều sâu vùng kim loại chảy cũng sẽ giảm. Nếu bể xỉ quá sâu sẽ tăng vùng nhiệt truyền vào cây thép, làm giảm nhiệt độ tổng thể của bể xỉ, làm giảm sự lưu thông của bể xỉ, xỉ có thể bị đóng rắn trên bề mặt cây thép và là nguyên nhân gây ra ngậm xỉ trong mối hàn. Do vậy cần phải khống chế thời gian tạo bể xỉ để có thể hình thành bể xỉ có độ sâu từ 25mm - 50mm [26].

Thời gian điện xỉ  $T_{dx}$  là yếu tố quyết định đến chiều sâu vùng kim loại chảy cũng như kích thước và hình dáng mối hàn. Thời gian điện xỉ phải phù hợp để lượng kim loại chảy đủ hình thành mối hàn và đẩy các khuyết tật như rỗ khí ra khỏi mối hàn. Thông thường thời gian điện xỉ phụ thuộc vào kích thước đường kính cây thép hàn và trong khoảng từ 16s - 50s [7].

Qua quá trình phân tích, ta nhận thấy thời gian hàn cần thay đổi cho phù hợp với từng loại đường kính cốt thép, là thông số ảnh hưởng rõ rệt đến hình dáng, kích thước và chất lượng mối hàn điện xỉ. Do vậy, chúng cũng là thông số cần được nghiên cứu định lượng khi nghiên cứu quy hoạch thực nghiệm.

#### **2.4.4. Áp lực hàn $P_h$**

Trong quá trình hàn điện xỉ - áp lực để nối cốt thép, không sử dụng kim loại bù nên để hình thành mối hàn bắt buộc cần có sự dịch chuyển và ép chặt hai đầu cây thép hàn với nhau.

Lực ép giữa 2 cây thép sẽ phụ thuộc vào đường kính cốt thép hàn và được tính toán như sau:

$$F = P_h \times S$$

Trong đó:

F: Lực ép giữa 2 cây thép (N)

$P_h$ : Áp lực hàn (MPa)

S: Diện tích tiết diện ngang cây thép hàn ( $\text{mm}^2$ )

Áp lực hàn là thông số quyết định đến sự hình thành mối hàn, nó không những có tác dụng đẩy toàn bộ các khuyết tật và kim loại thừa ra khỏi tiết diện ngang mối hàn mà còn tạo ra vùng biến dạng dẻo giữa hai đầu cây thép hàn nhằm tăng khả năng liên kết và tăng cơ tính của mối hàn.

Nếu áp lực hàn không đủ sẽ dẫn đến mối hàn không ngấu hết tiết diện ngang, còn khuyết tật bên trong mối hàn như rỗ khí, ngậm xỉ dẫn đến không bảo đảm cơ tính mối hàn.

Hiện nay, trong nước và quốc tế chưa có các công trình nghiên cứu tới sự ảnh hưởng của áp lực hàn đến kích thước và chất lượng mối hàn điện xỉ - áp lực. Do vậy, đây là thông số quan trọng cần nghiên cứu chuyên sâu khi làm quy hoạch thực nghiệm.

#### **2.4.5. Các thông số khác**

#### **2.4.6. Lựa chọn các thông số công nghệ nghiên cứu đầu vào**

Như đã phân tích ở các phần trên, ta nhận thấy có 4 thông số công nghệ có ảnh hưởng lớn nhất đến hình dáng và chất lượng mối hàn. Tuy nhiên, điện áp hàn là thông số không thay đổi

trong từng bước công nghệ nhằm giữ ổn định cho cả quá trình hàn. Do vậy, 3 thông số mà sự thay đổi của chúng có ảnh hưởng rất lớn đến hình dáng và chất lượng mối hàn đó là:

- Dòng điện hàn  $I_h$
- Thời gian hàn  $T_h$
- Áp lực hàn  $P_h$

Đây là 3 thông số đầu vào được lựa chọn để nghiên cứu quy hoạch thực nghiệm nhằm tìm ra mối liên hệ giữa chúng và hàm mục tiêu đầu ra là độ bền kéo mối hàn  $Y_1 = \sigma_K$  và độ nở phình hướng kính mối hàn  $Y_3 = \Delta d_h$ .

## KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

1. Phương pháp hàn điện xi - áp lực trong nối cốt thép xây dựng là một bước phát triển mới của công nghệ hàn điện xi với việc sử dụng áp lực giữa hai đầu cây thép để thay thế quá trình cấp kim loại bù điền đầy mối hàn. Việc tạo áp lực lên mối hàn nóng chảy ở giai đoạn kết thúc quá trình hàn điện xi - áp lực tạo ra vùng biến dạng dẻo ở hai đầu tiếp xúc của cây thép hàn càng góp phần nâng cao chất lượng và độ tin cậy của mối hàn.

2. Hàn điện xi nối chung và Hàn điện xi - áp lực nói riêng là các phương pháp hàn phù hợp để hàn thép xây dựng và thép hợp kim thấp. Phương pháp hàn này có chất lượng mối hàn tốt, đặc biệt là có năng suất cao và giá thành rẻ, thiết bị gọn nhẹ rất phù hợp ứng dụng ở công trường sản xuất.

3. Việc xác định được các thông số chế độ hàn chính gồm: cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ , A); thời gian hàn ( $T_h$ , s); áp lực hàn ( $P_h$ , MPa) có ảnh hưởng lớn nhất đến độ bền mối hàn ( $\sigma_K$ , MPa) và kích thước hình dáng mối hàn ( $\Delta d_h$ , mm) là cơ sở khoa học để xây dựng hàm mục tiêu và các thông số đầu vào của quá trình tiến hành quy hoạch thực nghiệm sau này.

## CHƯƠNG 3: VẬT LIỆU, TRANG THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 3.1. Vật liệu thí nghiệm

#### 3.1.1. Kim loại cơ bản

Bảng 3.1. Thành phần hóa học thép dùng cho thí nghiệm theo nhà sản xuất [2]

Mác thép	Thành phần hóa học, % khối lượng				
	C	Si	Mn	P	S
CB300-V	–	–	–	≤ 0,05	≤ 0,05
CB400-V	0,29	0,55	1,8	≤ 0,04	≤ 0,04
CB500-V	0,32	0,55	1,8	≤ 0,04	≤ 0,04

#### 3.1.2. Thuốc hàn điện xỉ - áp lực

Bảng 3.2. Thành phần hóa học thuốc hàn dùng cho thí nghiệm trong luận án

Tên thuốc hàn	Thành phần hóa học (% theo khối lượng)									
	SiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	CaO	MgO	S	P	Tạp chất
HJ431	42,78	34,26	1,49	4,0	5,04	3,12	5,88	0,012	0,018	0,1

### 3.2. Trang thiết bị thí nghiệm



Hình 3.1. Nguyên lý cấu tạo của thiết bị hàn điện xỉ - áp lực dùng cho thí nghiệm của luận án: 1. Bộ nguồn hàn; 2. Đồ gá hàn; 3. Bộ điều khiển

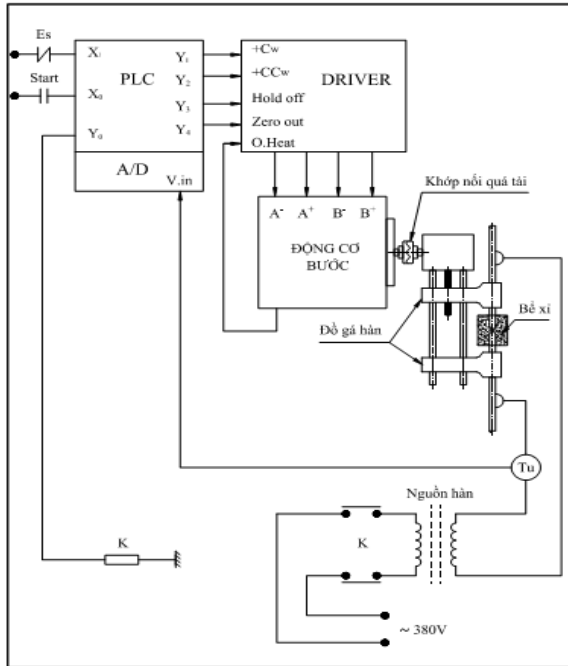
#### 3.2.1. Nguồn hàn

#### 3.2.2. Đồ gá hàn điện xỉ - áp lực

Bảng 3.3. Bảng quy đổi áp lực hàn và mô men khớp li hợp

Đường kính thép hàn (mm)	Áp lực P <sub>h</sub> (MPa)	Lực ép dọc trục F (N)	Mô men (Nmm)	Công suất tiêu hao (W)
25	2.5	1.225	245	32
25	4.5	2.205	442	58
25	6.5	3.185	638	83

### 3.2.3. Bộ điều khiển thiết bị hàn điện xỉ - áp lực



Hình 3.2. Sơ đồ nguyên lý điện điều khiển máy hàn điện xỉ - áp lực

### 3.3. Quy trình hàn điện xỉ - áp lực nối đầu mẫu cốt thép xây dựng trong phòng thí nghiệm

#### 3.3.1. Công đoạn chuẩn bị mẫu và thiết bị thí nghiệm

#### 3.3.2. Công đoạn định vị mỗi nối

#### 3.3.3. Quá trình hàn điện xỉ - áp lực

#### 3.3.4. Xử lý mẫu thí nghiệm sau khi hàn điện xỉ - áp lực



a)



b)



c)

Hình 3.3. Ảnh chụp một số mẫu thí nghiệm để đo đặc kích thước hình học, xác định độ bền kéo mỗi hàn sau khi hàn điện xỉ - áp lực

a) Mẫu thử phá hủy kéo ; b) Mặt bên; c) Mặt đầu

### 3.4. Thiết bị và phương pháp kiểm tra chất lượng mối hàn điện xỉ - áp lực

#### 3.4.1. Thiết bị kiểm tra cơ tính mối hàn

#### 3.4.2. Thiết bị đo kiểm kích thước mối hàn

#### 3.4.3. Thiết bị khảo sát tổ chức vật liệu tại mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt.

### 3.5. Điều kiện và phương pháp tiến hành quy hoạch thực nghiệm

#### 3.5.1. Điều kiện thực nghiệm theo quy hoạch trực giao

#### 3.5.2. Phương pháp thí nghiệm

Bảng 3.4. Ký hiệu mã số hóa tổ hợp bộ 3 thông số công nghệ hàn điện xỉ - áp lực (ma trận thực nghiệm) theo quy hoạch thực nghiệm kiểu N = 33 = 27

Các yếu tố khảo sát		X2 (mức 0)	X2 (mức 1)	X2 (mức 2)
X3 (mức 0)	X1 (mức 0)	000	010	020
	X1 (mức 1)	100	110	120
	X1 (mức 2)	200	210	220
X3 (mức 1)	X1 (mức 0)	001	011	021
	X1 (mức 1)	101	111	121
	X1 (mức 2)	201	211	221
X3 (mức 2)	X1 (mức 0)	002	012	022
	X1 (mức 1)	102	112	122
	X1 (mức 2)	202	212	222

#### Phương pháp xác định các hàm mục tiêu

a. Độ bền kéo liên kết hàn

Độ bền kéo kim loại mối hàn ( $\sigma_K$ , MPa) là tiêu chí quan trọng nhất của mối hàn điện xỉ - áp lực, được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_K = Y_1 = \frac{P}{S} = \frac{4P}{\pi \cdot d_{t,b}^2} \quad (3.3)$$

trong đó:  $\sigma_K$  - Độ bền kéo mối hàn, MPa;

$Y_1$  - Hàm mục tiêu thứ nhất;

P - Lực kéo tại thời điểm mẫu thử bị phá hủy, N;

S - Diện tích mặt cắt ngang của mẫu thử phá hủy tại mối hàn, mm<sup>2</sup>;

$d_{t,b}$  - Giá trị đường kính trung bình của cốt thép hàn, mm;

Vì thép vẫn có đường kính không đứt tại mối hàn. Do vậy, để xác định chính xác kích thước đường kính cũng như đo được độ bền kéo tại mối hàn, ta tiến hành tiện nhỏ đường kính cốt thép tại khu vực mối hàn nối sao cho đường kính thử nhỏ hơn đường kính danh nghĩa của cây thép hàn.

b. Độ nở phình theo phương hướng kính

Độ nở phình ra theo hướng kính cốt thép hàn của kim loại tại mối hàn ( $\Delta d_h$ ) là một tiêu chí đánh giá tính chất mối hàn rất quan trọng. Nó không chỉ thể hiện khả năng chịu tải, mà còn đánh giá tính hiệu quả kinh tế của phương pháp hàn. Như vậy, độ nở phình của mối hàn điện xỉ - áp lực là một hàm mục tiêu đầu ra cần tìm, tính theo công thức sau:



$$\Delta d_h = Y_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - d_{d,n})}{2n} \quad (3.4)$$

ở đây:

$\Delta d_h$  - Độ nở phình hướng kính trung bình của mỗi hàn điện xi - áp lực, mm;

$Y_3$  - Hàm mục tiêu thứ hai cần tìm;

$d_i$  - Giá trị đo tại các điểm quy ước theo đường kính của mỗi hàn, mm;

$d_{d,n}$  - Đường kính danh nghĩa cây thép hàn, mm;

$i$  - Số thứ tự lần đo ở các vị trí đo tương ứng,  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \dots$  ;

$n$  - Số lượng các vị trí đo.

Trong các thí nghiệm tiến hành đo mỗi mẫu ở 6 vị trí cách nhau  $30^\circ$ , sau đó lấy giá trị trung bình của chúng để tính toán.

### KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

1. Vật liệu, trang thiết bị thí nghiệm được sử dụng đã được kiểm chuẩn có độ chính xác và tin cậy cao. Thép hàn được chọn CB400-V với đường kính  $D = 25\text{mm}$  là loại thép được sử dụng rộng rãi trong xây dựng nhà cao tầng hiện tại ở Việt Nam. Thuốc hàn HJ431 cũng được lựa chọn là loại thuốc phổ biến trên thị trường và có giá thành hợp lý.

2. Đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo đồ gá hàn tự động sử dụng động cơ bước cùng khớp ly hợp chuyên dụng, được tích hợp với mô đun điều khiển PLC. Đồ gá đảm bảo đảo chiều chuyển động một cách nhanh chóng, chính xác giúp không chế hành trình và tốc độ di chuyển lên – xuống của cốt thép hàn, cài đặt chính xác thời gian hàn và áp lực hàn trong phạm vi miền khảo sát dự kiến theo quy hoạch thực nghiệm với độ tin cậy cao.

3. Đã lựa chọn các thông số chính cần khảo sát gồm :  $I_h$ ,  $T_h$  và  $P_h$  với  $d_{d,n}=25\text{mm}$ . Hàm mục tiêu đầu ra để đánh giá chất lượng và hình dáng mỗi hàn điện xi - áp lực được chọn trong công trình này là độ bền kéo mỗi hàn ( $\sigma_K$ , MPa) và độ nở phình hướng kính mỗi hàn ( $\Delta d_h$ , mm). Việc tiến hành lập ma trận thực nghiệm theo quy hoạch thực nghiệm kiểu 3 mức 3 yếu tố đầu vào N27 (tổng số thí nghiệm là  $N = 3^3 = 27$ ) với giới hạn miền khảo sát của chúng dựa trên kết quả nghiên cứu lý thuyết và một số thí nghiệm định hướng công nghệ tại Việt Nam là có cơ sở khoa học.

**CHƯƠNG 4**  
**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ HÀN ĐẾN ĐẶC TÍNH MỐI HÀN ĐIỆN XỈ - ÁP LỰC**

**4.1. Lựa chọn miền điều chỉnh các thông số hàn theo quy hoạch thực nghiệm N27.**

**4.1.1. Lựa chọn miền điều chỉnh dòng hàn  $I_h$  ( $X_1$ )**

Mức khảo sát lựa chọn  $X_1$ : Mức 0: 300A, Mức 1: 450A, Mức 2: 600A.

Bước điều chỉnh  $\lambda_1 = 150A$ .

**4.1.2. Lựa chọn miền điều chỉnh thời gian hàn  $T_h$  ( $X_2$ )**

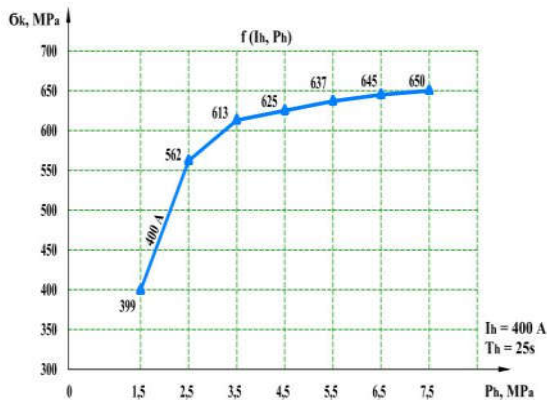
Mức khảo sát lựa chọn  $X_2$ : Mức 0: 25s, Mức 1: 30s, Mức 2: 35s.

Bước điều chỉnh  $\lambda_2 = 5s$ .

**4.1.3. Khảo sát lựa chọn miền điều chỉnh của áp lực hàn  $P_h$  ( $X_3$ )**

Bảng 4.1. Kết quả thực nghiệm khảo sát ảnh hưởng của áp lực hàn ( $P_h$ ) đến độ bền kéo mối hàn

Đặc tính mối hàn	Thông số công nghệ áp lực hàn $P_h$ (MPa)						
	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
Độ bền kéo, $\sigma_K$ , MPa	399	562	613	625	637	645	650



Hình 4.1. Đồ thị ảnh hưởng của áp lực hàn đến độ bền kéo mối hàn điện xỉ - áp lực ở chế độ hàn  $I_h = 400 \pm 5,0 A$ ;  $T_h = 25 \pm 0,05 s$  và  $d_{d.n} = 25 mm$

Mức khảo sát lựa chọn  $X_3$ : Mức 0: 2,5MPa, Mức 1: 4,5MPa, Mức 2: 6,5 MPa.

Bước điều chỉnh  $\lambda_3 = 2,0 MPa$ .

Bảng 4.2. Điều kiện thí nghiệm hiệu chỉnh công nghệ theo quy hoạch N27

Thông số chế độ hàn chính	Ký hiệu	Mức 0	Mức 1	Mức 2	Bước điều chỉnh, $\lambda_i$
Cường độ dòng điện hàn, $I_h$ , (A)	$X_1$	300	450	600	150,0
Thời gian hàn, $T_h$ , (s)	$X_2$	25,0	30,0	35,0	5,0
Áp lực hàn, $P_h$ , (MPa)	$X_3$	2,5	4,5	6,5	2,0

## 4.2. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm hàn điện xỉ - áp lực và bàn luận khoa học

### 4.2.1. Ảnh hưởng của chế độ hàn đến độ bền kéo mỗi hàn điện xỉ - áp lực

Tiến hành hàn thí nghiệm các mẫu thép hàn có đường kính danh nghĩa D25mm theo chế độ hàn như trong Bảng 4.2.

Hình ảnh các mẫu thí nghiệm được thể hiện ở trên hình 4.2



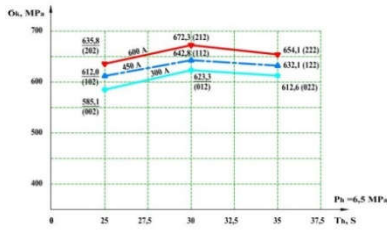
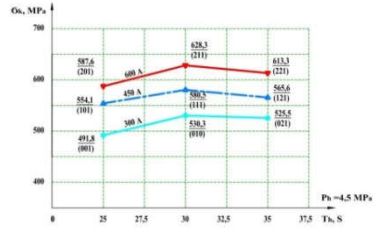
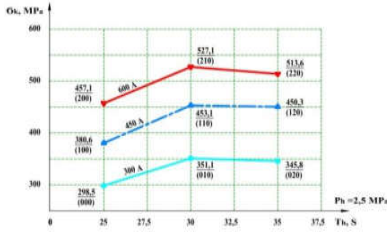
Hình 4.2. Mẫu thí nghiệm thử độ bền kéo mỗi hàn

Bảng 4.3. Kết quả đo và tính toán độ bền kéo của mỗi hàn điện xỉ - áp lực trên mẫu quy hoạch thực nghiệm N27

Số TN	Mã số QH TN	Chế độ hàn			Kích thước (mm)	Lực bền (N)	Ứng suất bền (N/mm <sup>2</sup> )
		I <sub>h</sub> (A)	T <sub>h</sub> (s)	P <sub>h</sub> (MPa)			
1	2	3	4	5	6	7	8
Lô thí nghiệm số 1							
01	000	300	25	2,5	Φ 15,0	52745	298
02	010	300	30	2,5	Φ 15,0	63818	361
03	020	300	35	2,5	Φ 14,8	59483	346
04	100	450	25	2,5	Φ 14,9	66388	381
05	110	450	30	2,5	Φ 14,9	79061	453
06	120	450	35	2,5	Φ 15,0	76541	433
07	200	600	25	2,5	Φ 14,9	79730	457
08	210	600	30	2,5	Φ 14,9	91938	527
09	220	600	35	2,5	Φ 15,0	90765	514
Lô thí nghiệm số 2							
10	001	300	25	4,5	Φ 15,0	86907	492
11	010	300	30	4,5	Φ 15,0	93710	530
12	021	300	35	4,5	Φ 14,8	90386	525
13	101	450	25	4,5	Φ 14,9	96647	554
14	111	450	30	4,5	Φ 14,9	101239	581
15	121	450	35	4,5	Φ 15,0	99953	566
16	201	600	25	4,5	Φ 14,9	102489	588
17	211	600	30	4,5	Φ 14,9	109581	628
18	221	600	35	4,5	Φ 15,0	108376	613
Lô thí nghiệm số 3							

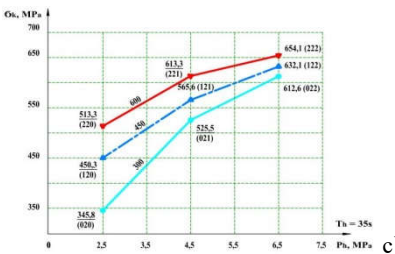
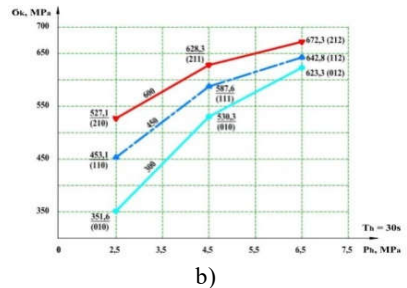
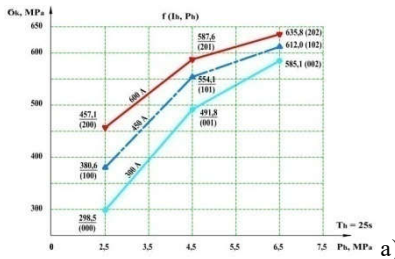
19	002	300	25	6,5	Φ	15,0	103399	585
20	012	300	30	6,5	Φ	15,0	110143	623
21	022	300	35	6,5	Φ	14,8	105379	613
22	102	450	25	6,5	Φ	14,9	106744	612
23	112	450	30	6,5	Φ	14,9	112110	643
24	122	450	35	6,5	Φ	15,0	111704	632
25	202	600	25	6,5	Φ	14,9	110889	636
26	212	600	30	6,5	Φ	14,9	117255	672
27	222	600	35	6,5	Φ	15,0	115591	654

4.2.1.1. Độ bền kéo mỗi hàn  $\sigma_K = f(T_h, I_h)$  ở 3 mức  $P_h$  khác nhau



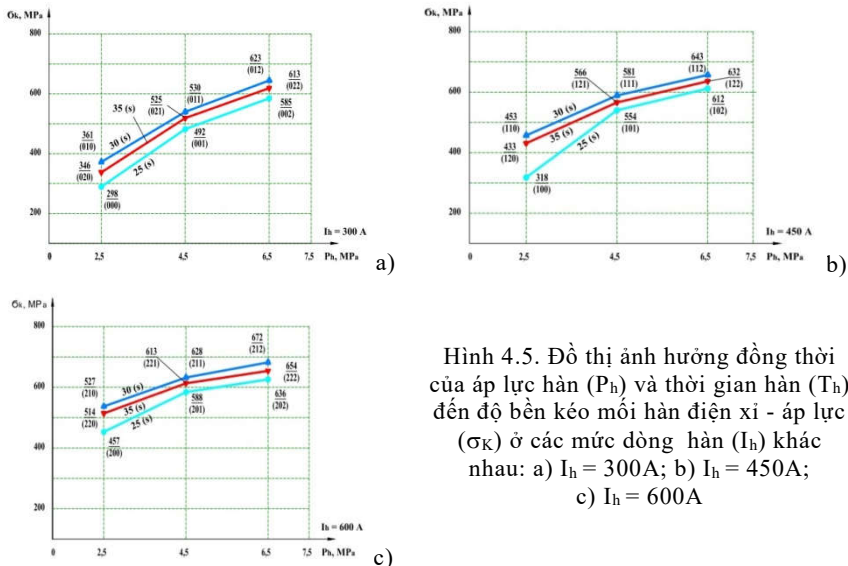
Hình 4.3. Đồ thị ảnh hưởng đồng thời của thời gian hàn ( $T_h$ ) và cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ ) đến độ bền kéo mỗi hàn điện xi - áp lực ( $\sigma_K$ ) ở các mức áp lực hàn khác nhau:  
a)  $P_h = 2,5 \text{ MPa}$ ; b)  $P_h = 4,5 \text{ MPa}$ ;  
c)  $P_h = 6,5 \text{ MPa}$ .

4.2.1.2. Độ bền kéo mỗi hàn  $\sigma_K = f(P_h, I_h)$  ở 3 mức  $T_h$  khác nhau



Hình 4.4. Đồ thị ảnh hưởng đồng thời của áp lực hàn ( $P_h$ ) và cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ ) đến độ bền kéo mỗi hàn điện xi - áp lực ( $\sigma_K$ ) ở các mức thời gian hàn khác nhau: a)  $T_h = 25 \text{ s}$ ;  
b)  $T_h = 30 \text{ s}$ ; c)  $T_h = 35 \text{ s}$

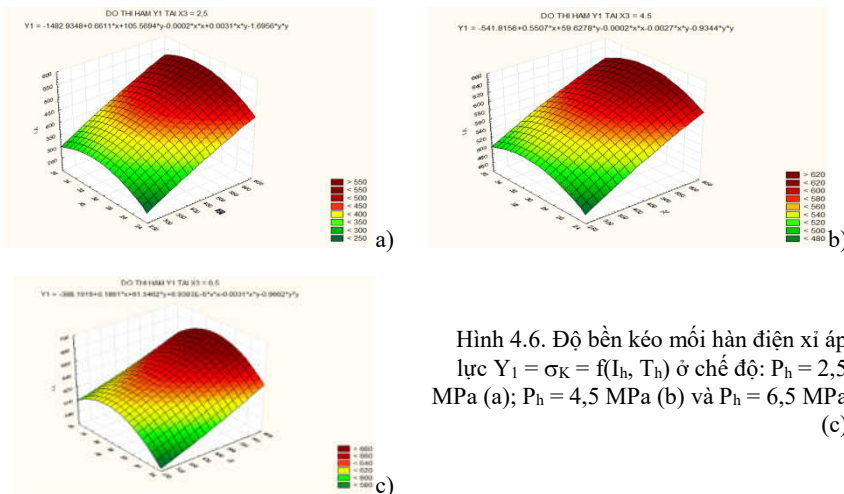
4.2.1.3. Độ bền kéo mỗi hàn  $\sigma_K = f(P_h, T_h)$  ở 3 mức  $I_h$  khác nhau



Hình 4.5. Đồ thị ảnh hưởng đồng thời của áp lực hàn ( $P_h$ ) và thời gian hàn ( $T_h$ ) đến độ bền kéo mỗi hàn điện xỉ - áp lực ( $\sigma_K$ ) ở các mức dòng hàn ( $I_h$ ) khác nhau: a)  $I_h = 300\text{ A}$ ; b)  $I_h = 450\text{ A}$ ; c)  $I_h = 600\text{ A}$

4.2.1.4. Mô hình hóa toán học ảnh hưởng của chế độ hàn đến độ bền kéo mỗi hàn  $\sigma_K = f(I_h, T_h, P_h)$ .

Để có góc nhìn tổng quát về quy luật ảnh hưởng của 3 thông số công nghệ hàn điện xỉ - áp lực chính đã xét theo quy hoạch thực nghiệm trực giao kiểu N27 đến hàm mục tiêu đầu ra cần tìm, sử dụng phần mềm xử lý số liệu thống kê toán học thực nghiệm STATISTICA và đưa ra các đồ thị trong không gian 3 chiều (3D) và biểu thức toán học. Qua đó có thể thấy rõ mức độ ảnh hưởng đồng thời của hai thông số chính gồm cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ ) và thời gian hàn ( $T_h$ ) ở 3 mức có định thông số áp lực hàn ( $P_h$ ).



Hình 4.6. Độ bền kéo mỗi hàn điện xỉ áp lực  $Y_1 = \sigma_K = f(I_h, T_h)$  ở chế độ:  $P_h = 2,5\text{ MPa}$  (a);  $P_h = 4,5\text{ MPa}$  (b) và  $P_h = 6,5\text{ MPa}$  (c)

Mô hình toán học nhận được tương ứng với đồ thị 3D ở hình 4.6 là các hàm phi tuyến bậc 2:

Khi  $P_h = 2,5$  MPa:

$$Y_1 = -1482,93481 + 0,6611I_h + 105,5694T_h - 0,0002I_h^2 + 0,0031I_hT_h - 1,6956T_h^2 \quad (4.1)$$

Khi  $P_h = 4,5$  MPa:

$$Y_1 = -541,8156 + 0,5507I_h + 59,6278T_h + 0,0002I_h^2 - 0,0027I_hT_h - 0,9344T_h^2 \quad (4.2)$$

Khi  $P_h = 6,5$  MPa:

$$Y_1 = -388,1919 + 0,1861I_h + 61,5462T_h + 6,9383I_h^2 - 0,0031I_hT_h - 0,9622T_h^2 \quad (4.3)$$

Để bảo đảm điều kiện bền của cốt thép thì hàm  $Y_1$  phải thỏa mãn:

$$Y_1 \geq 570 \text{MPa} \quad [3]$$

4.2.1.5. *Lựa chọn chế độ hàn điện xi tối ưu với tiêu chí ưu tiên độ bền kéo mỗi hàn*  
 $\sigma_K = f(I_h, T_h, P_h)$ .

Như vậy khi khảo sát với hàm mục tiêu đầu ra là độ bền kéo mỗi hàn, chúng ta lựa chọn được dải thông số tối ưu trong miền khảo sát của các yếu tố đầu vào là:

$P_h = 4,5 - 6,5$ MPa

$I_h = 430 - 450$  A

$T_h = 28 - 32$  s

#### 4.2.2. Ảnh hưởng của chế độ hàn đến kích thước hình học mỗi hàn điện xi - áp lực

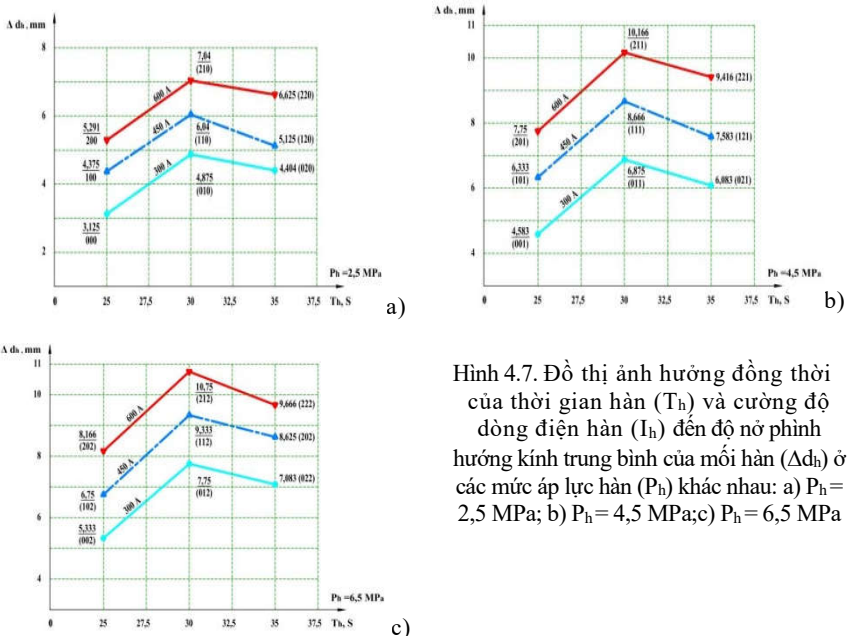
Trong bảng 4.4 trình bày kết quả đo và tính toán đường kính trung bình ( $d_{tb}$ ) và độ nở phình hướng kính ( $\Delta d_h$ ) của mỗi hàn điện xi - áp lực nhận được theo quy hoạch thực nghiệm trực giao kiểu N27 với loại cốt thép hàn  $d_{a,n} = 25$  mm, mác thép CB400-V.

Bảng 4.4. Kết quả đo và tính toán đường kính trung bình và độ nở phình hướng kính của mỗi hàn điện xi - áp lực  $\Delta d_h$  trên mẫu QHTN N27

Số TN	Mã số QH TN	Chế độ hàn			Vị trí đo đường kính mỗi hàn theo mặt cắt ngang $d_i$ (độ)						Đường kính trung bình, $d_{tb}$ , mm	Độ nở phình hướng kính mỗi hàn, $\Delta d_h$ , mm
		$I_h$ (A)	$T_h$ (s)	$P_h$ (MPa)	0	30	60	90	120	150		
<b>Lô số 1:</b>												
01	000	300	25	2,5	31,5	31,5	31,5	31,0	31,0	31,0	31,2500	3,1250
02	010	300	30	2,5	34,5	34,5	35,0	35,0	35,0	34,5	34,7500	4,8750
03	020	300	35	2,5	32,5	33,0	33,0	33,5	33,5	33,0	33,0833	4,4041
04	100	450	25	2,5	34,0	34,0	34,0	33,5	33,5	33,0	33,7500	4,3750
05	110	450	30	2,5	36,5	37,0	37,0	37,5	37,5	37,0	37,0833	6,0416
06	120	450	35	2,5	35,0	35,0	35,0	35,5	35,5	35,5	35,2500	5,1250
07	200	600	25	2,5	35,0	35,0	35,5	36,0	36,0	36,0	35,5833	5,2916
08	210	600	30	2,5	38,5	38,5	39,0	39,5	39,5	39,5	39,0833	7,0416
09	220	600	35	2,5	38,0	38,0	38,0	38,5	38,5	38,5	38,2500	6,6250
<b>Lô số 2:</b>												
10	001	300	25	4,5	33,5	34,0	34,5	34,5	34,5	34,0	34,1666	4,5833

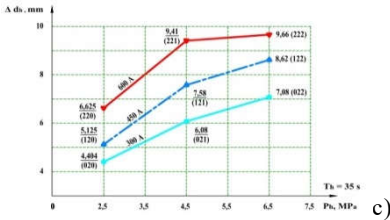
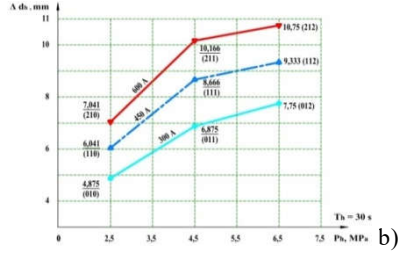
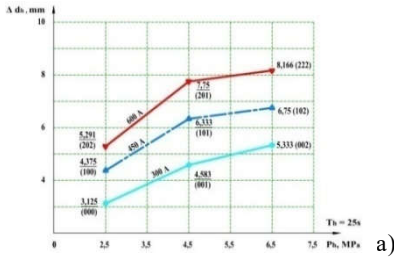
11	011	300	30	4,5	39,0	39,0	39,0	38,5	38,5	38,5	38,7500	6,8750
12	021	300	35	4,5	36,5	37,0	37,5	37,5	37,5	37,0	37,1666	6,0833
13	101	450	25	4,5	37,5	37,5	38,0	38,0	38,0	37,0	37,6666	6,3333
14	111	450	30	4,5	42,0	42,5	42,5	42,5	42,5	42,0	42,3333	8,6666
15	121	450	35	4,5	40,0	40,5	40,5	40,5	40,5	39,5	40,1666	7,5833
16	201	600	25	4,5	40,0	40,5	41,0	41,0	40,5	40,0	40,5000	7,7500
17	211	600	30	4,5	45,0	45,5	45,5	46,0	45,0	45,0	45,3333	10,1666
18	221	600	35	4,5	44,0	44,5	44,0	43,5	43,5	43,5	43,8333	9,4166
<b>Lô số 3:</b>												
19	002	300	25	6,5	35,5	35,5	36,0	36,0	36,0	35,0	35,6666	5,3333
20	012	300	30	6,5	41,0	40,5	40,0	40,0	40,5	41,0	40,5000	7,7500
21	022	300	35	6,5	39,0	39,5	39,5	39,0	39,0	39,0	39,1666	7,0833
22	102	450	25	6,5	39,0	39,0	38,5	38,5	38,0	38,0	38,5000	6,7500
23	112	450	30	6,5	43,5	43,5	43,5	44,0	44,0	43,5	43,6666	9,3333
24	122	450	35	6,5	42,5	42,0	42,0	42,0	42,5	42,5	42,2500	8,6250
25	202	600	25	6,5	41,0	41,0	41,5	41,5	41,5	41,5	41,3333	8,1666
26	212	600	30	6,5	46,0	46,5	47,0	46,5	46,5	46,5	46,5000	10,7500
27	222	600	35	6,5	44,0	44,0	44,5	44,5	44,5	44,5	44,3333	9,6666

4.2.2.1. Sự ảnh hưởng của dòng điện hàn  $I_h$  và thời gian hàn  $T_h$  đến độ nở hình học trung bình của mỗi hàn ở 3 mức  $P_h$  khác nhau



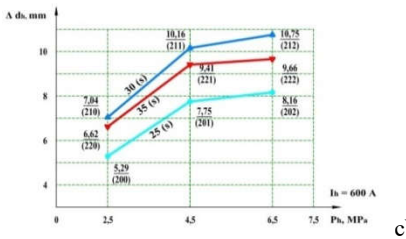
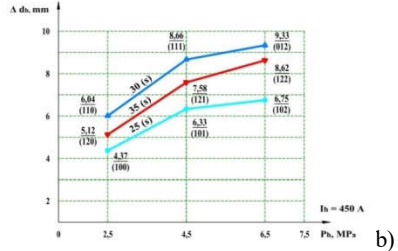
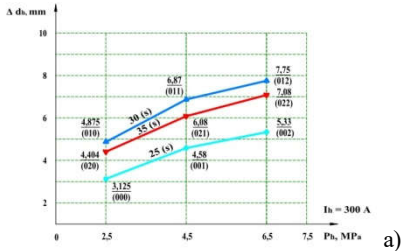
Hình 4.7. Đồ thị ảnh hưởng đồng thời của thời gian hàn ( $T_h$ ) và cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ ) đến độ nở hình học trung bình của mỗi hàn ( $\Delta d_h$ ) ở các mức áp lực hàn ( $P_h$ ) khác nhau: a)  $P_h = 2,5$  MPa; b)  $P_h = 4,5$  MPa; c)  $P_h = 6,5$  MPa

4.2.2.2. Đường kính trung bình và độ nở phình hướng kính của mỗi hàn ở 3 mức  $T_h$  khác nhau



Hình 4.8. Đồ thị ảnh hưởng đồng thời của áp lực hàn ( $P_h$ ) và cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ ) đến độ nở phình hướng kính trung bình của mỗi hàn điện xi - áp lực ( $\Delta d_h$ ) ở các mức thời gian hàn ( $T_h$ ) nhau: a)  $T_h = 25$  s; b)  $T_h = 30$  s; c)  $T_h = 35$  s

4.2.2.3. Đường kính trung bình và độ nở phình hướng kính của mỗi hàn ở 3 mức  $I_h$  khác nhau

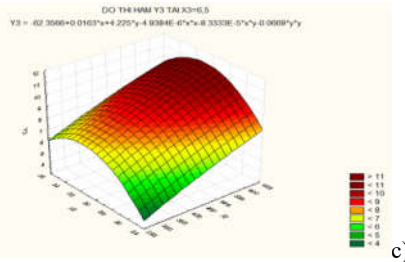
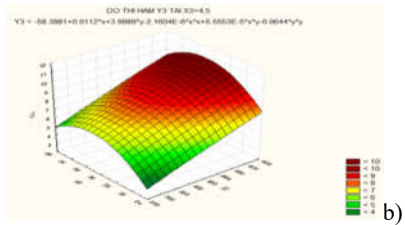
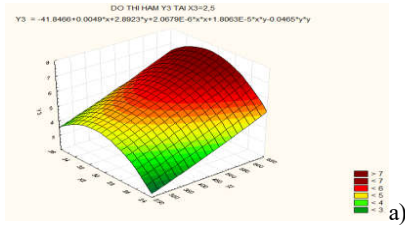


Hình 4.9. Đồ thị ảnh hưởng đồng thời của áp lực hàn ( $P_h$ ) và thời gian hàn ( $T_h$ ) đến độ nở phình hướng kính trung bình của mỗi hàn điện xi - áp lực ( $\Delta d_h$ ) ở các mức dòng hàn ( $I_h$ ) khác nhau: a)  $I_h = 300$  A; b)  $I_h = 450$  A; c)  $I_h = 600$  A

4.2.2.4. Mô hình hóa toán học ảnh hưởng của chế độ hàn đến độ nở phình hướng kính mỗi  $\Delta d_h = f(I_h, T_h, P_h)$ .

Sử dụng phần mềm xử lý số liệu thống kê STATISTICA để xử lý các số liệu trong Bảng 4.4 để đưa ra các đồ thị trong không gian 3 chiều (3D) và biểu thức toán học thể hiện mức độ ảnh hưởng đồng thời của hai thông số chính gồm cường độ dòng điện hàn ( $I_h = 300 \div 600$  A) và thời gian hàn ( $T_h = 25 \div 35$  s) ở 3 mức cố định thống số áp lực hàn ( $P_h = 2,5$  MPa,  $P_h = 4,5$  MPa và  $P_h = 6,5$  MPa) đến hàm mục tiêu đầu ra là độ nở phình hướng kính mỗi hàn  $Y_3 = \Delta d_h$  (mm)





Hình 4.10. Độ nở phình hướng kính trung bình mỗi hàn điện xi áp lực  $Y_3 = \Delta d_h = f(I_h, T_h)$  ở chế độ  $P_h = 2,5$  MPa (a);  $P_h = 4,5$  MPa (b) và  $P_h = 6,5$  MPa (c)

Mô hình toán học nhận được tương ứng với đồ thị 3D ở hình 4.10 là các hàm phi tuyến bậc 2:

Khi  $P_h = 2,5$  MPa:

$$Y_3 = -41,8466 + 0,0049I_h + 2,8923T_h + 2,0679 \cdot 10^{-6}I_h^2 + 1,8063 \cdot 10^{-5}I_hT_h - 0,0465T_h^2 \quad (4.4)$$

Khi  $P_h = 4,5$  MPa:

$$Y_3 = -58,8466 + 0,0112I_h + 3,9889T_h - 2,1604 \cdot 10^{-6}I_h^2 + 5,5553 \cdot 10^{-5}I_hT_h - 0,0644T_h^2 \quad (4.5)$$

Khi  $P_h = 6,5$  MPa:

$$Y_3 = -62,3566 + 0,0163I_h + 4,225T_h - 4,9384 \cdot 10^{-6}I_h^2 - 8,3333 \cdot 10^{-5}I_hT_h - 0,0669T_h^2 \quad (4.6)$$

Giá trị của hàm  $Y_3$  theo tiêu chuẩn quy định là  $Y_3 > 4\text{mm}$  [8]

Để bảo đảm yêu cầu về kỹ thuật cũng như hiệu quả kinh tế, ta lựa chọn miền giá trị của độ nở phình hướng kính mỗi hàn là:

$$5\text{mm} \leq Y_3 \leq 8\text{mm}$$

4.2.2.5. Lựa chọn chế độ hàn điện xi tối ưu với tiêu chí ưu tiên độ nở phình hướng kính mỗi hàn  $\Delta d_h = f(I_h, T_h, P_h)$ .

Như vậy, khi khảo sát với hàm mục tiêu đầu ra là độ nở phình hướng kính mỗi hàn, chúng ta lựa chọn được dải thông số tối ưu trong miền khảo sát của các yếu tố đầu vào là:

$$P_h = 4,5 - 6,5 \text{ MPa}$$

$$I_h = 400 - 450 \text{ A}$$

$$T_h = 25 - 30 \text{ s}$$

### 4.3. Lựa chọn thông số chế độ hàn tối ưu trong miền khảo sát bảo đảm thỏa mãn hàm mục tiêu hình dáng và chất lượng mỗi hàn.

Quy luật ảnh hưởng của các thông số công nghệ chính được khảo sát theo quy hoạch thực nghiệm trực giao kiểu N27 đến các hàm mục tiêu đầu ra cần tìm được thể hiện một cách trực quan, tổng quát và rõ nét qua các đồ thị 2D, 3D và các biểu thức toán học bậc 2.

Sau khi phân tích với từng hàm mục tiêu cụ thể, đã chọn ra được các giá trị phù hợp trong từng trường hợp. Tuy nhiên, các dải thông số là khác nhau. Do vậy cần lựa chọn một bộ thông số thống nhất nhằm thỏa mãn được cả hai mục tiêu cần đạt là yêu cầu kỹ thuật và hiệu quả kinh tế.

Như vậy, ta lựa chọn bộ thông số chế độ hàn tối ưu trong miền khảo sát áp dụng để hàn nối cốt thép xây dựng mác CB400-V có đường kính D25mm như sau:

$P_h = 6,5 \text{ MPa}$

$I_h = 430 \text{ A}$

$T_h = 28 \text{ s.}$

Việc xác định bộ thông số hàn phù hợp với các đường kính cốt thép khác được tiến hành tương tự như đã làm với trường hợp cốt thép D25mm.

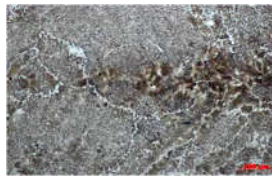
#### 4.4. Kiểm tra tổ chức tế vi vật liệu mối hàn. Phân tích, đánh giá và so sánh với các kết quả nghiên cứu thực nghiệm.

Để đánh giá một cách tổng quát chất lượng mối hàn điện xi - áp lực, ta tiến hành chụp và phân tích ảnh tổ chức tế vi của liên kết hàn của các mẫu tại các nút quy hoạch thực nghiệm khác nhau. Sau đó phân tích, so sánh để đánh giá sự tương thích với chất lượng mối hàn đã làm thí nghiệm.

+ Nhóm 1: Dòng hàn  $I_h = 300-450 \text{ A}$



a) Mẫu 1.0, vùng 1, x25



b) Mẫu 1.0, vùng 2, x100



c) Mẫu 1.0, vùng 3, x100



d) Mẫu 2.2, vùng 1, x25



e) Mẫu 2.2, vùng 2, x100



f) Mẫu 2.2, vùng 3, x100



g) Mẫu 4.6, vùng 1, x25



h) Mẫu 4.6, vùng 2, x100



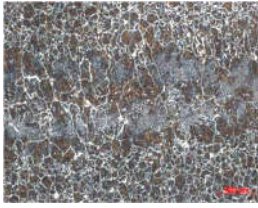
i) Mẫu 4.6, vùng 3, x100

Hình 4.11. Ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn điện xi - áp lực và vùng ảnh hưởng nhiệt thực hiện tại Trung tâm COMFA (nhóm 1 :  $I_h = 300; 450 \text{ A}$ )

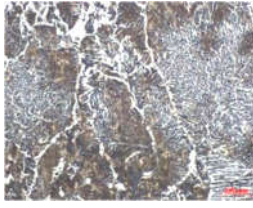
Tại vùng khảo sát biến dạng dẻo tâm mối hàn (vùng 1) hình thành liên kết kim loại giữa vật liệu dẻo của hai cây thép có một vài tiểu vùng cấu trúc cục bộ có màu xám của pha Peclit hoặc màu sáng trắng của pha ferrit (hình 4.11, a,d,g) với cấu trúc hạt mịn. Điều này được giải thích bởi do 3 mẫu khảo sát nhận được ở 3 chế độ hàn với các mức áp lực hàn  $P_h$  và thời gian hàn  $T_h$  khác nhau, dẫn đến trong mối hàn có sự biến dạng dẻo vật liệu hàn nhận được ở mức độ khác nhau. Mẫu 4.6 và 2.2 có  $P_h = 4,5 \text{ Mpa}$  lớn hơn mẫu 1.0 ( $P_h = 2,5 \text{ Mpa}$ ) nên cấu trúc vùng 1 rộng hơn, hạt có độ mịn hơn.

Ở đây, ta thấy rõ hơn cấu trúc vật liệu tại các vùng 2 và 3 đều có độ hạt lớn hơn so với tại vùng trung tâm mối hàn (vùng 1). Điều đó được giải thích bởi kim loại vùng 2 và 3 chịu ảnh hưởng lớn của nhiệt hàn và không có quá trình biến dạng dẻo nên sẽ có độ hạt lớn hơn kim loại tâm mối hàn vùng 1.

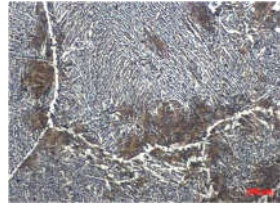
+ Nhóm 2: Dòng hàn  $I_h = 450 A$



a) Mẫu 3.0, vùng 1, x25



b) Mẫu 3.0, vùng 2, x100



c) Mẫu 3.0, vùng 3, x100



d) Mẫu 3.2, vùng 1, x25



e) Mẫu 3.2, vùng 2, x100

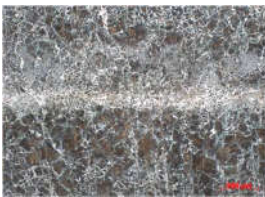


f) Mẫu 3.2, vùng 3, x100

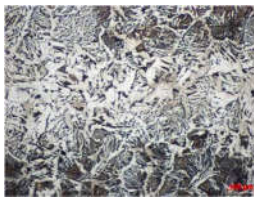
Hình 4.12. Ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn điện xi - áp lực và vùng ảnh hưởng nhiệt thực hiện tại Trung tâm COMFA (nhóm  $I_h = 450 A$ )

Qua phân tích ta nhận thấy rằng dòng điện hàn ở mức trung bình là phù hợp, khi tăng áp lực hàn sẽ tăng kích thước vùng biến dạng dẻo tâm mối hàn và chất lượng mối hàn, khi tăng thời gian hàn quá cao (trên 30s) sẽ làm tăng kích thước hạt giảm cơ tính mối hàn. Điều này cũng hoàn toàn phù hợp với nghiên cứu thực nghiệm ở các phần trên.

+ Nhóm 3: Dòng hàn  $I_h = 600 A$



a) Mẫu 1.24, vùng 1, x25



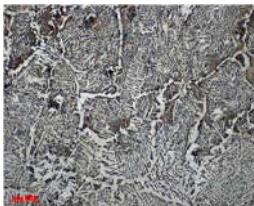
b) Mẫu 1.24, vùng 2, x100



c) Mẫu 1.24, vùng 3, x100



d) Mẫu 1.7, vùng 1, x25



e) Mẫu 1.7, vùng 2, x100



f) Mẫu 1.7, vùng 3, x100

Hình 4.13. Ảnh tổ chức tế vi vật liệu mối hàn điện xi - áp lực và vùng ảnh hưởng nhiệt thực hiện tại Trung tâm COMFA (nhóm 3:  $I_h = 600 A$ )

Ở đây ta thấy rõ hơn cấu trúc vật liệu tại các vùng khảo sát 2 và 3 đều có độ hạt lớn hơn so với tại vùng trung tâm mỗi hàn ở vùng 1 đã khảo sát (hình 4.13, a,d). Độ hạt của mẫu 1.7 thô hơn mẫu 1.24 được giải thích bởi cùng dòng hàn nhưng thời gian hàn quá lâu ( $T_h = 35s$ ) dẫn đến khu vực ảnh hưởng nhiệt lớn hơn, nên độ hạt thô hơn, cơ tính mỗi hàn sẽ giảm đi. Hiện tượng này cũng phù hợp với việc lựa chọn thời gian hàn ở mức thấp ( $T_h = 28s$ ).

Như vậy, sau khi phân tích và đánh giá tổ chức tế vi của 3 nhóm mẫu thí nghiệm điển hình, ta nhận thấy cấu trúc tế vi mỗi hàn thay đổi cùng với sự thay đổi của các thông số chế độ hàn và làm thay đổi cơ tính của mỗi hàn theo xu hướng hoàn toàn tương thích với các nghiên cứu thực nghiệm đã được thực hiện ở phần trên.

Qua đây ta nhận thấy các kết quả nghiên cứu thực nghiệm có ý nghĩa thực tiễn và độ tin cậy cao, hoàn toàn phù hợp với các kết quả kiểm tra, đánh giá thực tế.

## KẾT LUẬN CHƯƠNG 4

1. Đã xác định miền điều chỉnh các thông số công nghệ chính theo 3 mức cơ bản để thành lập ma trận thực nghiệm theo quy hoạch trực giao kiểu 3 mức 3 yếu tố đầu vào ( $N = 3^3 = 27$ ) dựa trên kinh nghiệm thực tiễn và các kết quả nghiên cứu định hướng trước đây một cách có cơ sở khoa học như sau:

$I_h = 300 \div 600$  A;  $T_h = 25 \div 35s$  và  $P_h = 2,5 \div 6,5$  MPa.

2. Tiến hành các thí nghiệm với độ gá hàn tự động đặc biệt nhằm xác định ảnh hưởng riêng biệt của thông số thời gian hàn ( $T_h$ , s), áp lực hàn ( $P_h$ , MPa), cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ , A) đến độ bền kéo mỗi hàn ( $\sigma_K$ , MPa) và độ nở phình hướng kính mỗi hàn ( $\Delta d_h$ , mm).

3. Bằng phương pháp xử lý số liệu thống kê toán học thực nghiệm theo quy hoạch trực giao kiểu N27 đã nhận được phương trình toán học của 2 hàm mục tiêu đầu ra cần tìm. Đã đưa ra đồ thị tương ứng với từng trường hợp cụ thể với chế độ hàn ở 3 mức cố định của một trong 3 thông số công nghệ chính đầu vào được khảo sát lựa chọn ở dạng 2D và 3D. Việc phân tích và thảo luận khoa học về kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã lựa chọn được bộ thông số công nghệ hàn điện xỉ - áp lực tối ưu trong miền khảo sát ứng dụng cho cốt thép có đường kính  $d_{dn} = 25mm$  như sau:

$I_h = 430$  A;  $T_h = 28s$  và  $P_h = 6,5$  MPa

## Chương 5

# ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ HÀN ĐIỆN XỈ - ÁP LỰC TẠI CÔNG TRƯỜNG. ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG, HIỆU QUẢ KINH TẾ VÀ KỸ THUẬT.

### 5.1. Ứng dụng công nghệ hàn điện xỉ - áp lực trên công trường xây dựng ở Việt Nam

Từ các kết quả thực nghiệm nêu trên của luận án, đã tiến hành ứng dụng công nghệ hàn điện xỉ - áp lực với chế độ hàn tối ưu trên một số công trình xây dựng nhà cao tầng tại khu vực Hà Nội và các tỉnh, thành phố Việt Nam. Trên hình 5.1 là ảnh chụp hàn thử nghiệm cốt thép trên một số công trường xây dựng.



a)



b)



c)



d)

Hình 5.1. Ứng dụng kết quả luận án tại công trường xây dựng nhà cao tầng ở thành phố Hà Nội (a,b) và Thành phố Vinh (c,d)

Trong thực tế, quy trình công nghệ hàn điện xỉ - áp lực và các thiết bị được sử dụng rất thuận lợi khi thi công ngay trên công trường và được nhà thầu đánh giá cao về hiệu quả ứng dụng công nghệ này. Kiểm tra hình dạng hình học của các mối hàn điện xỉ - áp lực trực tiếp trên công trường xây dựng cho thấy độ nở phình hướng kính đều nằm trong phạm vi dự báo đã nêu trong quá trình nghiên cứu. Độ bền kéo, bền uốn đều đạt yêu cầu.



Hình 5.2. Kiểm tra độ bền kéo mối hàn tại công trường xây dựng

## 5.2. Đánh giá chất lượng mối hàn điện xỉ - áp lực với chế độ hàn tối ưu

### 5.2.1. Kiểm tra độ bền kéo mối hàn

Đánh giá độ bền của mối hàn thông qua tiêu chí độ bền kéo dọc trục cốt thép hàn (mác CB400-V) phải đảm bảo đạt yêu cầu theo TCVN 1651-2: 2008 [2]

Tiến hành hàn các mẫu thử với chế độ hàn điện xỉ áp lực tối ưu đã lựa chọn:

$I_h = 430A$ ,  $T_h = 28s$ ,  $P_h = 6,5 MPa$



Hình 5.3. Kiểm tra độ bền kéo với chế độ hàn tối ưu

Kết quả thử kéo liên kết hàn cho trong bảng 5.1. Có thể nhận xét rằng tất cả các mẫu thử kéo đều có độ bền phá hủy cao hơn cường độ bền yêu cầu của mác thép CB400-V theo TCVN 1651-2:2008 [2]

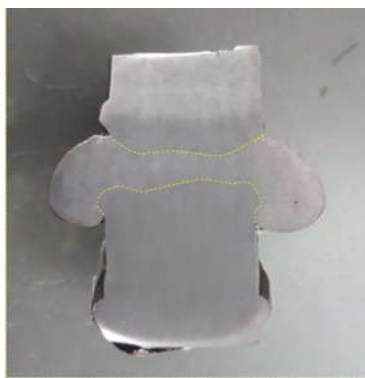
Các vị trí co thắt hoặc đứt mẫu đều nằm ngoài khu vực mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt. Như vậy, mối hàn điện xỉ - áp lực với chế độ hàn tối ưu có độ bền kéo bảo đảm các tiêu chuẩn trong xây dựng.

Bảng 5.1. Kết quả thử kéo mỗi hàn điện xi - áp lực

TT	TÊN TIÊU CHÍ	PHƯƠNG PHÁP THỬ	KẾT QUẢ
<b>1</b>	<b>Thử kéo</b>	<b>ASTM A370-15</b>	
	Kích thước mẫu thử	mm	Φ15,0
	Lực lớn nhất	kN	121,9
	Giới hạn bền	MPa	690
	Vị trí đứt		Vùng kim loại cơ bản
<b>2</b>	<b>Thử kéo</b>	<b>ASTM A370-15</b>	
	Kích thước mẫu thử	mm	Φ14,9
	Lực lớn nhất	kN	115,8
	Giới hạn bền	MPa	664
	Vị trí đứt		Vùng kim loại cơ bản
<b>3</b>	<b>Thử kéo</b>	<b>ASTM A370-15</b>	
	Kích thước mẫu thử	mm	Φ15,3
	Lực lớn nhất	kN	123,8
	Giới hạn bền	MPa	673
	Vị trí đứt		Vùng kim loại cơ bản

### 5.2.2. Kiểm tra kích thước hình học và tổ chức kim loại mỗi hàn

Việc kiểm tra kích thước và tổ chức kim loại mỗi hàn được thực hiện tại PTN kim loại học và nhiệt luyện - Viện KH và KT vật liệu - Trường Đại học bách khoa Hà Nội.



Hình 5.4. Kiểm tra kích thước và tổ chức thô đại mỗi hàn

Từ các ảnh chụp thô đại mỗi hàn cho thấy các mối hàn đều có hình dạng và độ ngấu tốt, không bị lẫn xỉ và các tạp chất khác. Không xuất hiện nứt, rỗ trong phạm vi đường kính của thanh thép (phạm vi tiết diện chịu lực). Phần phình ra của mỗi hàn xuất hiện rõ nhưng trong phạm vi cho phép và vì nằm ngoài phần tiết diện của thanh thép chịu lực nên không làm giảm khả năng chịu lực so với thanh thép ban đầu.

Độ nở phình hướng kính trung bình mỗi hàn nằm trong phạm vi khảo sát và tính toán của luận văn:

$$5\text{mm} < \Delta d_h = 6,7\text{mm} < 8\text{mm}.$$

Bảng 5.2. Bảng kết quả kiểm tra mối hàn

TT	Tiêu chí kiểm tra	Kết quả đánh giá
1	Hình dạng mối hàn	Tốt
2	Độ nở phình hướng kính trung bình của mối hàn	6,7mm
3	Mức độ ngấu	Tốt
4	Mức độ nóng chảy	Tốt
5	Khuyết tật nứt	Không có
6	Khuyết tật ngậm xỉ	Không có

Đánh giá tổ chức tế vi của kim loại mối hàn thông qua các ảnh chụp tổ chức tế vi kim loại với độ phóng đại x100 và x500 lần. Kết quả thu được như hình sau:



Hình 5.5. Ảnh chụp tổ chức tế vi liên kết hàn

Thông qua các ảnh chụp ta thấy được tổ chức kim loại có sự thay đổi rõ rệt khi đi từ vùng kim loại cơ bản tới kim loại mối hàn. Tại vùng ảnh hưởng nhiệt và kim loại mối hàn, tính chất dạng thớ dọc có được khi cán của kim loại cơ bản đã không còn. Với cùng một mức độ phóng đại (x100 và x500) cho ta thấy sự thay đổi kích thước hạt một cách rõ nét nhất khi đi từ vùng kim loại cơ bản tới vùng kim loại mối hàn. Kích thước hạt tăng dần từ kim loại cơ bản đến kim loại vùng ảnh hưởng nhiệt. Kích thước hạt kim loại mối hàn lớn hơn kim loại cơ bản, tuy nhiên lại nhỏ hơn vùng ảnh hưởng nhiệt do có sự tác động của áp lực hàn gây ra hiện tượng biến dạng dẻo ở tâm mối hàn.

Thành phần tổ chức kim loại mối hàn và vùng ảnh hưởng nhiệt hoàn toàn giống với kim loại cơ bản, chỉ khác về kích thước hạt (do phương pháp hàn không sử dụng kim loại phụ). Với hàm lượng các bon  $C = 0,29\%$ , thành phần kim loại cơ bản chỉ bao gồm hai pha Peclit và Ferit. Pha Peclit có dạng hạt màu xám, phân bố đồng đều. Pha Ferit màu trắng, tập chung ở biên giới của hạt.



Qua việc phân tích và đánh giá ảnh chụp thô đại và tổ chức tế vi mỗi hàn điện xi - áp lực tối ưu ta nhận được các kết quả tương đồng và phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đây trong luận án. Độ bền kéo và kích thước hình học của mỗi hàn đều đạt kết quả cao như tính toán.

Do vậy, ta có thể kết luận, chế độ hàn tối ưu đã lựa chọn có độ tin cậy và chính xác cao, hoàn toàn phù hợp để ứng dụng trong thực tế sản xuất đạt kết quả cao về kỹ thuật cũng như hiệu quả kinh tế.

### 5.3. Đánh giá hiệu quả kinh tế và kỹ thuật của công nghệ hàn điện xi - áp lực

#### 5.3.1. Hiệu quả về kỹ thuật.

Qua quá trình nghiên cứu cũng như đánh giá thực tế tại công trường, công nghệ hàn điện xi - áp lực có các ưu điểm nổi trội về kỹ thuật như sau:

- Trang thiết bị hàn gọn nhẹ, dễ sử dụng, thuận lợi cho việc thao tác tại nhiều vị trí: thẳng đứng, nằm xiên, trong không gian chật hẹp. Rất thuận lợi khi hàn những dầm hoặc trụ thép có nhiều cây cốt thép.

- Lực ép hai đầu cốt thép không cần quá lớn so với hàn đối đầu tiếp xúc, do vậy đồ gá hàn gọn nhẹ, rẻ tiền.

- Dòng điện hàn thấp nên biến thể hàn nhỏ, dễ chế tạo và giá thành rẻ hơn nhiều so với hàn điện tiếp xúc.

- Chất lượng mỗi hàn cao, không rỗ, không ngậm xỉ, kim loại mối hàn đồng nhất với kim loại cơ bản do không cần kim loại bù. Mỗi hàn được bảo vệ bởi lớp thuốc nên không bị hiện tượng nứt hoặc giảm cơ tính ở cùng ảnh hưởng nhiệt. Mỗi hàn tạo dáng đẹp và nhẵn bóng.

- Vì cốt thép được hàn đồng tâm nên khả năng chịu lực kéo, nén của cây thép tăng. Tiết diện mỗi hàn tại mỗi nối lớn hơn tiết diện ngang của cây thép nên cơ tính tại mỗi hàn cũng tăng, khả năng liên kết với bê tông tốt hơn.

- Thời gian chuẩn bị và thao tác trong quá trình hàn ngắn nên năng suất lao động tăng.

- Giảm ô nhiễm môi trường: Không khói, không hồ quang, không tiếng ồn.

#### 5.3.2. Hiệu quả kinh tế

Đơn giá mỗi hàn điện xi - áp lực cho các loại đường kính khác nhau được thể hiện ở bảng 5.3 và so sánh với các phương pháp khác ở bảng 5.4.

Bảng 5.3. Bảng đơn giá mỗi hàn điện xi - áp lực

Đường kính (mm)	Các chi phí (VND)						Đơn giá mỗi hàn (VND)
	Tiêu hao thép	Thuốc hàn	Điện	Khấu hao Thiết bị	Nhân công	Chi phí khác	
D14	399	931	62	2.283	4.235	791	<b>8.701</b>
D16	521	1.390	88	2.397	4.615	901	<b>9.912</b>
D18	659	1.979	117	2.517	4.800	1.007	<b>11.079</b>
D20	814	2.714	150	2.643	4.932	1.125	<b>12.378</b>
D22	985	3.613	187	2.775	5.143	1.270	<b>13.972</b>
D25	1.272	3.393	236	2.914	5.538	1.335	<b>14.688</b>
D28	1.595	5.172	321	3.060	6.000	1.615	<b>17.763</b>
D32	2.083	7.238	397	3.213	6.545	1.948	<b>21.424</b>

Bảng 5.4. Bảng so sánh đơn giá mỗi hàn điện xi áp lực với nối buộc chồng và nối ren

<b>Đường kính (mm)</b>	<b>Đơn giá Hàn điện xi áp lực (VND)</b>	<b>Đơn giá buộc chồng 30D (VND)</b>	<b>Chênh lệch giá (%)</b>	<b>Đơn giá mỗi nối ren (VND)</b>	<b>Chênh lệch giá (%)</b>
D14	8.701	9.812	11	12.682	31
D16	9.912	12.816	23	14.790	33
D18	11.079	16.684	34	16.742	34
D20	12.378	21.445	42	19.563	37
D22	13.972	28.543	51	23.380	40
D25	14.688	41.884	65	31.825	54
D28	17.763	58.845	70	43.530	59
D32	21.424	87.837	76	53.780	60

*Nhận xét:*

- Công nghệ hàn điện xi có rất nhiều ưu thế nổi trội về mặt kỹ thuật so với phương pháp nối cốt thép thông thường.
- Đơn giá mỗi hàn điện xi áp lực thấp hơn nhiều so với mỗi nối buộc chồng (11-76%) và mỗi nối bằng ren (31-60%).
- Đường kính cốt thép càng lớn thì chênh lệch giá càng cao, hiệu quả của phương pháp hàn điện xi áp lực càng cao.
- Đơn giá mỗi hàn điện xi rất thấp, hoàn toàn có thể cạnh tranh với các phương pháp khác để có thể ứng dụng vào trong thực tế sản xuất.

## KẾT LUẬN CHƯƠNG 5

1. Đã ứng dụng kết quả luận án để hàn thử nghiệm trên một vài công trình xây dựng nhà cao tầng ở Việt Nam, đạt kết quả khả quan, được nhà thầu đánh giá cao.
2. Kết quả kiểm tra độ bền kéo, kích thước mối hàn, ảnh chụp thô đại và ảnh chụp tổ chức tế vi của mối hàn điện xi - áp lực với chế độ hàn tối ưu đã chọn đạt kết quả tốt, bảo đảm yêu cầu kỹ thuật của công trình và phù hợp với các kết quả nghiên cứu. Kết quả thí nghiệm góp phần luận giải được đặc tính của vật liệu mối hàn điện xi - áp lực và là một trong bộ các tiêu chí đánh giá chất lượng của mối hàn, tương ứng với các thông số công nghệ đầu vào đã chọn.
3. Đã đánh giá được một cách toàn diện về hiệu quả kinh tế và kỹ thuật của phương pháp hàn điện xi - áp lực. Đây là phương pháp hàn nối cốt thép có nhiều ưu điểm nổi trội về kỹ thuật, dễ sử dụng tại công trường, đồng thời có giá thành rẻ hơn nhiều so với các phương pháp nối truyền thống khác, có rất nhiều lợi thế và tiềm năng để ứng dụng rộng rãi trong sản xuất.

## KẾT LUẬN CHUNG LUẬN ÁN

1. Kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm công nghệ hàn điện xỉ - áp lực đã xác định những vấn đề chuyên sâu, phạm vi và nội dung của luận án với miền giới hạn khảo sát ảnh hưởng của một số thông số công nghệ chính ( $I_h$ ,  $T_h$ ,  $P_h$ ) đến chất lượng (độ bền kéo  $\sigma_K$ ) và hình dáng (độ nở phình hướng kính  $\Delta d_h$ ) mối hàn điện xỉ - áp lực phù hợp với điều kiện trang thiết bị thí nghiệm trong nước có cơ sở khoa học và độ tin cậy cao

2. Bằng việc phân tích các bước công nghệ của quá trình hàn điện xỉ - áp lực đã nghiên cứu, thiết kế và chế tạo mô đun điều khiển PLC, đồng thời tích hợp với đồ gá hàn và nguồn hàn sử dụng động cơ bước cùng khớp ly hợp chuyên dụng, đảm bảo điều khiển đúng hành trình và tốc độ di chuyển lên xuống của cốt thép hàn, cài đặt chính xác thời gian hàn và áp lực hàn trong phạm vi miền khảo sát dự kiến theo quy hoạch thực nghiệm với độ tin cậy cao.

3. Đã ứng dụng phương pháp xử lý số liệu thống kê toán học thực nghiệm đơn yếu tố để định hướng công nghệ và quy hoạch đầy đủ kiểu 3 mức 3 yếu tố N27 để tìm miền điều khiển thích hợp tốt nhất của quá trình hàn điện xỉ - áp lực nối đầu cốt thép xây dựng. Kết quả đã xác định được quy luật ảnh hưởng của các thông số chế độ hàn đến hàm mục tiêu tổng hợp đánh giá chất lượng mối hàn thông qua bộ tiêu chí độ bền kéo dọc trục mối hàn ( $Y_1 = \sigma_K$ , MPa); độ nở phình theo hướng kính mối hàn ( $Y_3 = \Delta d_h$ , mm). Đã xây dựng được các mô hình toán học tương ứng và các đồ thị 2D biểu diễn trực quan khá rõ nét ảnh hưởng cặp đôi của hai trong 3 thông số công nghệ đã chọn để khảo sát ở 3 mức khác nhau của thông số còn lại (đa số các thí nghiệm đều có quy luật theo hàm phi tuyến bậc 2, một số thí nghiệm theo hàm gần tuyến tính).

4. Sử dụng phần mềm tin học chuyên dụng STATISTICA đã đưa ra các đồ thị trong không gian 3 chiều (3D) và biểu thức toán học thể hiện mức độ ảnh hưởng đồng thời của hai thông số chính gồm cường độ dòng điện hàn ( $I_h$ ) và thời gian hàn ( $T_h$ ) ở 3 mức cố định thông số áp lực hàn ( $P_h$ ) đến hai hàm mục tiêu đầu ra là độ bền kéo mối hàn  $Y_1 = \sigma_K$  (MPa) và độ nở phình theo phương hướng kính mối hàn  $Y_3 = \Delta d_h$ , mm. Từ đó kết hợp với kết quả nghiên cứu khảo sát đặc tính tổ chức thô đại, tổ chức tế vi mối hàn đã xác định được các thông số công nghệ hàn tối ưu ( $I_h = 430A$ ,  $T_h = 28s$ ,  $P_h = 6,5MPa$  với đường kính thép  $d_{d.n} = 25mm$ ) một cách có cơ sở khoa học và thực tiễn đáng tin cậy, đảm bảo đồng thời tiêu chí chất lượng và hiệu quả kinh tế của mối hàn điện xỉ - áp lực.

5. Đã áp dụng thử thành công kết quả của luận án khi thực hiện một số chế độ hàn điện xỉ - áp lực lựa chọn trong miền điều khiển thích hợp của các thông số công nghệ chính ( $I_h$ ,  $T_h$  và  $P_h$ ) ngay trên công trình xây dựng ở Việt Nam. Kết quả kiểm định chất lượng mối hàn cho thấy công nghệ hàn ổn định, các mối hàn có hình dáng hình học đạt yêu cầu mong muốn ( $5mm < \Delta d_h = 6,7mm < 8mm$ ), độ bền kéo liên kết hàn cao ( $\sigma_k = 690, 664, 673MPa > \sigma_b = 570MPa$ ) điều đó củng cố niềm tin của các doanh nghiệp xây dựng trong nước vào tiềm năng phát triển của công nghệ này vào nhiều công trình xây dựng trọng điểm ở nước ta.

6. Việc nghiên cứu, lựa chọn được bộ thông số chế độ hàn tối ưu với từng loại đường kính cốt thép và ứng dụng thành công vào trong thực tế sản xuất có ý nghĩa khoa học và thực tiễn rất lớn, đồng thời cũng khẳng định được nhiều đóng góp mới của luận án. Thông qua quá trình đánh giá một cách toàn diện về hiệu quả kinh tế và kỹ thuật của phương pháp hàn điện xỉ - áp lực, ta nhận thấy rằng, đây là phương pháp hàn nối cốt thép có nhiều ưu điểm nổi trội về kỹ thuật, có độ tin cậy cao về chất lượng, đồng thời có giá thành rẻ hơn nhiều so với các phương pháp nối truyền thống khác (từ 11-76%), hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu về kỹ thuật và hiệu quả kinh tế của các công trình xây dựng chất lượng cao.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Hoàng Đức Long, Nguyễn Chi Sáng, Bùi Văn Hạnh, Trịnh Quang Ngọc, *Hàn nối đối đầu cốt thép bằng công nghệ hàn điện xỉ áp lực*, Kỷ yếu Hội nghị KH & CN toàn quốc về cơ khí lần thứ IV, TP Hồ Chí Minh, Tập 1, trang 90-101, Tháng 11/2015.

2. Hoàng Đức Long, Nguyễn Chi Sáng, Lê Vinh Quang, Bùi Văn Hạnh, *Tự động hóa quá trình hàn điện xỉ áp lực*, Kỷ yếu Hội nghị KH & CN toàn quốc về Cơ khí - Động lực, Đại học Bách khoa Hà Nội, Tập 1, trang 315 - 320, Tháng 10/2016.

3. Hoàng Đức Long, Nguyễn Chi Sáng, Bùi Văn Hạnh, Trịnh Quang Ngọc, *Tính toán xác định chế độ hàn điện xỉ - áp lực tối ưu và nâng cao tính ổn định của quá trình hàn*, Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ X, Tập 1, trang 979 - 988, Hà Nội tháng 12/2017.

4. Hoàng Đức Long, Hà Minh Hùng, *Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ hàn điện xỉ - áp lực đến tính chất cơ học và tổ chức thô đại mối hàn*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 5, trang 135-143, tháng 5/2018.

5. Hoàng Đức Long, Hà Minh Hùng, Lê Đức Bảo, Nguyễn Văn Đức, *Thực nghiệm xác định ảnh hưởng của chế độ hàn điện xỉ - áp lực đến đặc tính cốt thép xây dựng*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, số 6, trang 135-143, tháng 6/2018.

6. Hoàng Đức Long, Hà Minh Hùng, Lê Đức Bảo, *Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số chế độ hàn đến độ bền kéo và kích thước hình học của mối hàn điện xỉ - áp lực ứng dụng trong kỹ thuật xây dựng*, Kỷ yếu Hội nghị KH&CN toàn quốc về Cơ khí lần thứ V, Đại học Công nghiệp Hà Nội, Toàn tập, Tháng 10/2018.

7. Hoàng Đức Long, Hà Minh Hùng, Nguyễn Văn Đức, *Nghiên cứu tổ chức tế vi của mối hàn điện xỉ - áp lực dùng để hàn nối cốt thép trong kỹ thuật xây dựng*, Kỷ yếu Hội nghị KH&CN toàn quốc về Cơ khí lần thứ V, Đại học Công nghiệp Hà Nội, Toàn tập, Tháng 10/2018.