TCVN **TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

TCVN 11244-6:2015
ISO 15614-6:2006
Xuất bản lần 1

ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT VÀ CHẤP NHẬN CÁC QUY TRÌNH HÀN VẬT LIỆU KIM LOẠI - THỬ QUY TRÌNH HÀN - PHẦN 6: HÀN HỒ QUANG VÀ HÀN KHÍ ĐỒNG VÀ CÁC HỢP KIM ĐỒNG

Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – Welding procedure test -- Part 6: Arc and gas welding of copper and its alloys

HÀ NỘI - 2015

Lời nói đầu

TCVN 11244-6:2015 hoàn toàn tương đương với ISO 15614-6:2006.

TCVN 11244-6:2015 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 44 *Quá trình hàn* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 11244 (ISO 15614) *Đặc tính kỹ thuật và chấp nhận các quy trình hàn vật liệu kim loại - Thử quy trình hàn* bao gồm các phần sau:

- TCVN 11224-1:2015 (ISO 15614-1:2004) *Phần 1: Hàn hồ quang và hàn khí thép, hàn hồ quang niken và hợp kim niken;*
- TCVN 11244-2:2015 (ISO 15614-2:2005) *Phần 2: Hàn hồ quang nhôm và hợp kim nhôm;*
- TCVN 11244-3:2015 (ISO 15614-3:2008) *Phần 3: Hàn nóng chảy gang không hợp kim và gang hợp kim thấp;*
- TCVN 11244-4:2015 (ISO 15614-4:2005) *Phần 4: Hàn hoàn thiện các vật nhôm đúc;*
- TCVN 11244-5:2015 (ISO 15614-5:2004) *Phần 5: Hàn hồ quang titan, zirconi và các hợp kim của chúng;*
- TCVN 11244-6:2015 (ISO 15614-6:2006) *Phần 6: Hàn hồ quang và hàn khí đồng và hợp kim đồng;*
- TCVN 11244-7:2015 (ISO 15614-7:2007) *Phần 7: Hàn đắp;*
- TCVN 11244-8:2015 (ISO 15614-8:2002) *Phần 8: Hàn ống trong liên kết hàn tấm-ống;*
- TCVN 11244-10:2015 (ISO 15614-10:2005) *Phần 10: Hàn khô áp suất cao;*
- TCVN 11244-11:2015 (ISO 15614-11:2002) *Phần 11: Hàn chùm tia điện tử và hàn chùm tia laze.*

Bộ ISO 15614 *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test* còn có các phần sau:

- ISO 15614-12:2014 *Part 12: Spot, seam and projection welding;*
- ISO 15614-13:2012 *Part 13: Upset (resistance butt) and flash welding;*
- ISO 15614-14:2013 *Part 14: Laser-arc hybrid welding of steels, nickel and nickel alloys.*

Đặc tính kỹ thuật và chấp nhận các quy trình hàn vật liệu kim loại - Thử quy trình hàn - Phần 6: Hàn hồ quang và hàn khí đồng và hợp kim đồng

Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 6: Arc and gas welding of copper and its alloys

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định phương pháp chấp nhận đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ bằng các phép thử quy trình hàn. Tiêu chuẩn áp dụng cho hàn hồ quang và hàn khí đối với đồng và các hợp kim đồng trong tất cả các dạng sản phẩm.

Tiêu chuẩn này quy định các điều kiện để thực hiện các phép thử quy trình hàn và phạm vi chấp nhận cho các quy trình hàn đối với tất cả các hoạt động hàn trong phạm vi các tham số được liệt kê trong Điều 9.

Tiêu chuẩn này áp dụng cho tất cả các quy trình hàn mới. Tuy nhiên, nó không vô hiệu hóa các phép thử quy trình hàn trước đây được thực hiện theo các tiêu chuẩn quốc gia hoặc các điều kiện kỹ thuật đã có. Khi phải thực hiện các thử nghiệm bổ sung để thiết lập sự tương đương về kỹ thuật của sự chấp nhận thì chỉ cần tiến hành các thử nghiệm bổ sung trên một phôi hàn được chế tạo phù hợp với tiêu chuẩn này.

Các tiêu chuẩn áp dụng có thể yêu cầu phải có các thử nghiệm bổ sung.

Các nguyên tắc của tiêu chuẩn này có thể áp dụng được cho các quá trình hàn nóng chảy khác.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn có ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi.

TCVN 5401 (ISO 5173), *Thử phá hủy mối hàn trên vật liệu kim loại - Thử uốn;*

TCVN 6115-1 (ISO 6520-1), *Hàn và các quá trình liên quan - Phân loại các khuyết tật hình học trong vật liệu kim loại - Phần 1: Hàn nóng chảy;*

TCVN 6364, *Hàn và các quá trình liên quan - Vị trí hàn;*

TCVN 6700-3 (ISO 9606-3), *Kiểm tra chấp nhận thợ hàn - Hàn nóng chảy - Phần 3: Đồng và các hợp kim đồng;*

TCVN 7507 (EN 970), Kiểm tra không phá hủy các mối hàn nóng chảy - Kiểm tra bằng mắt;

TCVN 8310 (ISO 4136), *Thử phá hủy mối hàn trên vật liệu kim loại - Thử kéo ngang;*

TCVN 8524 (ISO 4063), *Hàn và các quá trình liên quan - Danh mục các quá trình và ký hiệu số tương ứng;*

TCVN 8985:2011 (ISO 15607:2003), *Đặc tính kỹ thuật và chấp nhận các quy trình hàn vật liệu kim loại - Quy tắc chung);*

TCVN 8986-1:2011 (ISO 15609-1:2004), *Đặc tính kỹ thuật và sự chấp nhận các quy trình hàn kim loại – Đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn – Phần 1: Hàn hồ quang;*

ISO 3452, *Non-destructive testing - Penetrant testing - General principles (Thử không phá hủy - Thử thẩm thấu - Nguyên lý chung);*

ISO 9017, *Destructive tests on welds in metallic materials - Fracture test (Thử phá hủy các mối hàn trong vật liệu kim loại - Thử đứt gãy);*

ISO 10042:2005, *Welding - Arc-welded joints in alluminium and its alloys - Quality levels for impenfections (Các mối hàn hồ quang trong nhôm và các hợp kim nhôm - Mức chất lượng cho các khuyết tật);*

ISO 14175, *Welding consumable - Shielding gases for arc welding and cutting (Vật liệu hàn - Khí bảo vệ dùng cho hàn và cắt hồ quang);*

ISO 14732, *Welding personnel - Approval testing of welding operators for fusion welding and resistance weld setters for fully mechanized and automatic welding of metallic materials (Nhân sự hàn - Kiểm tra chấp nhận các thợ hàn máy cho hàn nóng chảy và các thợ cài đặt hàn điện trở cho hàn cơ khí hóa và hàn tự động hoàn toàn các vật liệu kim loại);*

ISO/TR 15608, *Welding - Guidelines for a metallic material grouping system (Hàn - Nguyên tắc chỉ đạo cho hệ thống phân nhóm vật liệu cơ bản);*

ISO 15609-2, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Parts 2: Gas welding (Đặc tính kỹ thuật và sự chấp nhận các quy trình hàn kim loại – Đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn – Phần 2: Hàn khí);*

ISO 15613, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Qualification*

based on pre-production welding test (Đặc tính kỹ thuật và chấp nhận các quy trình hàn vật liệu kim loại - Chấp nhận dựa trên thử hàn trước khi sản xuất);

ISO 17636, *Non-destructive testing of welds - Radiographic testing of fusion-welded joint (Thử không phá hủy các mối hàn - Thử bằng chụp ảnh tia bức xạ các mối hàn nóng chảy);*

ISO 17639, *Destructive tests on welds in metallic materials - Macroscopic and mioroscopic examination of welds (Thử phá hủy trên các mối hàn trên vật liệu kim loại - Kiểm tra tổ chức thô đại và tế vi các mối hàn);*

ISO 17659, *Welding - Multilingual terms for welded joints with illustrations (Hàn - Các thuật ngữ bằng nhiều ngôn ngữ cho các mối hàn với các hình minh họa).*

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa được cho trong TCVN 8985 (ISO 15607).

4 Các quá trình hàn

Hàn hồ quang và hàn khí được bao hàm bởi các quá trình hàn sau phù hợp với TCVN 8524 (ISO 4063).

111 hàn hồ quang tay điện cực nóng chảy;

131 hàn hồ quang điện cực nóng chảy trong môi trường khí trơ, hàn MIG;

141 hàn hồ quang trong môi trường khí trơ với điện cực vonfram, hàn TIG;

15 hàn hồ quang plasma;

311 hàn oxy-axetylen,

5 Đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS)

Phải chuẩn bị đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS) phù hợp với TCVN 8986-1 (ISO 15609-1) hoặc ISO 15609-2.

6 Thử quy trình hàn

Hàn và thử các phôi hàn phù hợp với các Điều 7 và 8.

Thợ hàn tay hoặc thợ hàn máy thực hiện việc thử nghiệm tốt quy trình hàn phù hợp với tiêu chuẩn này được chấp nhận cho phạm vi chấp nhận thích hợp được cho trong TCVN 6700-3 (ISO 9606-3) hoặc ISO 14732 với điều kiện là các yêu cầu thử nghiệm có liên quan được đáp ứng.

7 Phôi hàn

7.1 Quy định chung

Mối nối hàn được chế tạo bằng quy trình hàn sẽ sử dụng trong sản xuất phải được thể hiện bằng phôi hàn hoặc các phôi hàn như đã quy định trong 7.2. Khi các yêu cầu về hình học của mối nối/sản phẩm

không tương ứng với các phôi hàn tiêu chuẩn như đã chỉ ra trong tiêu chuẩn này, cần phải sử dụng ISO 15613.

7.2 Hình dạng và kích thước của phôi hàn

7.2.1 Quy định chung

Chiều dài hoặc số lượng các phôi hàn phải đủ để cho phép thực hiện tất cả các thử nghiệm được yêu cầu.

Có thể chuẩn bị các phôi hàn bổ sung hoặc các phôi hàn dài hơn cỡ kích thước tối thiểu để cho phép thử thêm và/hoặc thử lại các mẫu thử (xem 8.6). Đối với tất cả các phôi hàn trừ các mối nối hàn nhánh (xem Hình 5) và các mối hàn góc (xem Hình 4), chiều dày của vật liệu, t, phải như nhau đối với cả hai các tấm/ống được hàn.

Nếu có yêu cầu của tiêu chuẩn áp dụng, hướng cán của tấm phải được đánh dấu trên phôi hàn.

Phải lựa chọn chiều dày và/hoặc đường kính ngoài của ống của các phôi hàn phù hợp với 9.3.2.1 đến 9.3.2.4.

Hình dạng và các kích thước nhỏ nhất của phôi hàn phải theo chỉ dẫn 7.2.2 đến 7.2.6.

7.2.2 Mối nối hàn giáp mép thấu hoàn toàn trên các tấm

Phải chuẩn bị phôi hàn phù hợp với Hình 1.

7.2.3 Mối nối hàn giáp mép giữa các tấm có các cạnh được uốn lên

Phải chuẩn bị phôi hàn phù hợp với Hình 2.

7.2.4 Mối nối hàn giáp mép thấu hoàn toàn trên các ống

Phải chuẩn bị phôi hàn phù hợp với Hình 3.

CHÚ THÍCH: Từ "ống" đứng một mình hoặc trong tổ hợp từ được sử dụng theo nghĩa "ống" hoặc "đoạn rỗng".

7.2.5 Mối nối hàn T

Phải chuẩn bị phôi hàn phù hợp với Hình 4.

Có thể sử dụng phôi hàn này cho các mối hàn giáp mép hoặc mối hàn góc được hàn thấu hoàn toàn.

7.2.6 Mối nối hàn nhánh

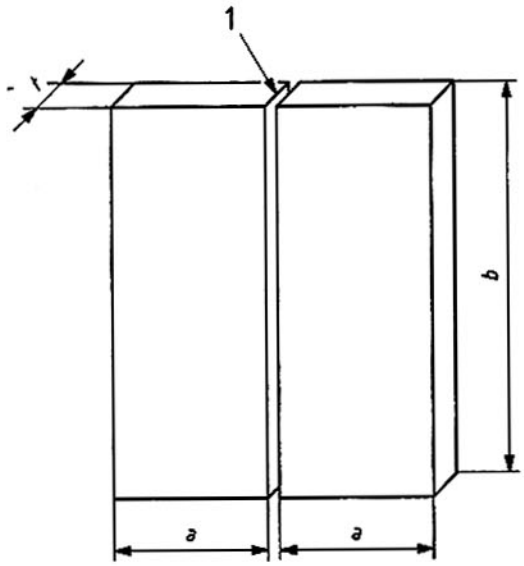
Phải chuẩn bị phôi hàn phù hợp với Hình 5. Góc α được sử dụng trong sản xuất có giá trị nhỏ nhất. Có thể sử dụng phôi hàn này cho các mối nối được hàn thấu hoàn toàn (mối nối được đặt lên hoặc đặt vào hoặc đặt xuyên qua ống và cho các mối hàn góc).

7.3 Hàn phôi hàn

Phải chuẩn bị và hàn các phôi hàn phù hợp với đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS) và trong các điều kiện chung của hàn trong sản xuất mà các phôi hàn này là đại diện. Các vị trí hàn và các giới hạn của góc nghiêng và xoay của phôi hàn phải phù hợp với TCVN 6364. Nếu các mối hàn đính

nóng chảy trong mối nối hàn lần cuối thì chúng phải được bao gồm trong phôi hàn.

Hàn và thử nghiệm các phôi hàn phải có sự chứng kiến của người kiểm tra hoặc cơ quan kiểm tra.



CHÚ DẪN

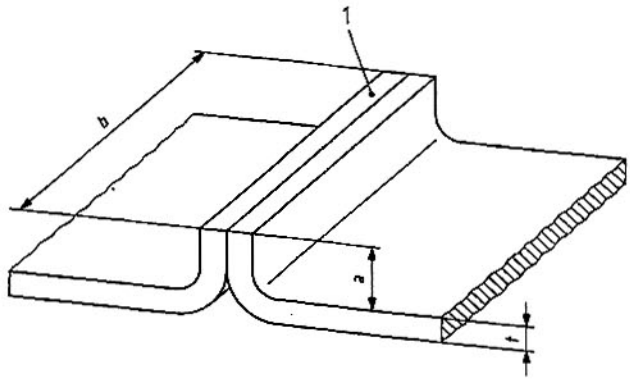
1 Chuẩn bị và điều chỉnh mối nối một cách thích hợp như đã nêu chi tiết trong đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS)

a Giá trị nhỏ nhất là 150 mm

b Giá trị nhỏ nhất là 300 mm

t Chiều dày của vật liệu

Hình 1 - Phôi hàn cho mối nối hàn giáp mép thấu hoàn toàn trên các tấm



CHÚ DẪN:

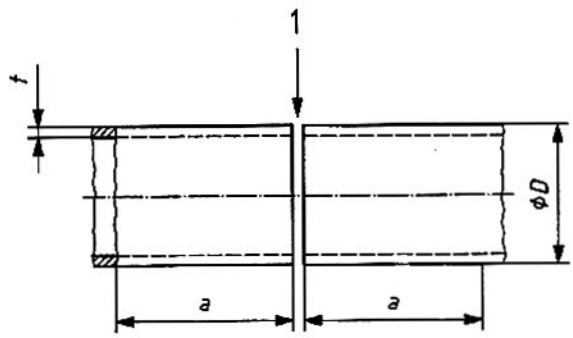
1 Chuẩn bị và điều chỉnh mối nối một cách thích hợp như đã nêu chi tiết trong đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS)

a Giá trị nhỏ nhất là 100 mm

b Giá trị nhỏ nhất là 300 mm

t Chiều dày của vật liệu

Hình 2 - Các mối hàn giáp mép giữa các tấm có các cạnh được uốn lên



CHÚ DẪN:

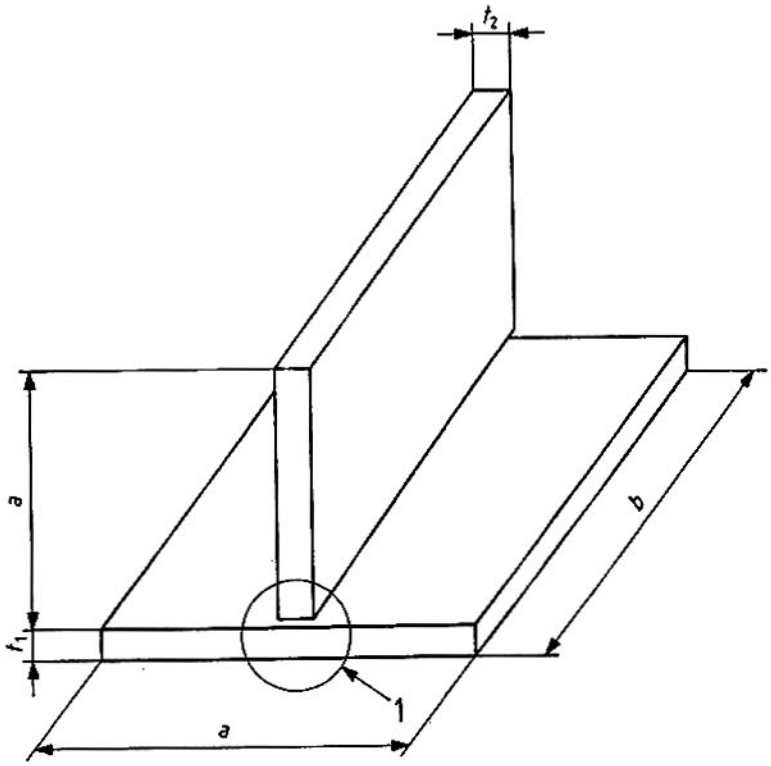
1 Chuẩn bị và điều chỉnh mối nối một cách thích hợp như đã nêu chi tiết trong đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS)

a Giá trị nhỏ nhất là 100mm

D Đường kính ngoài của ống

t Chiều dày của vật liệu

Hình 3 - Phôi hàn cho mối nối hàn giáp mép thấu hoàn toàn trên các ống



CHÚ DẪN:

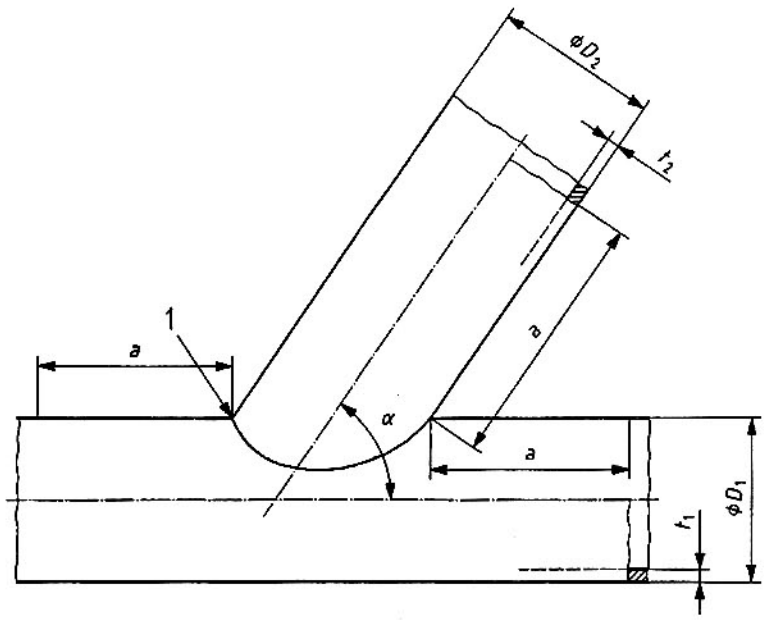
1 Chuẩn bị và điều chỉnh mối nối một cách thích hợp như đã nêu chi tiết trong đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS)

a Giá trị nhỏ nhất là 150 mm

b Giá trị nhỏ nhất là 300 mm

t_1, t_2 Các chiều dày của vật liệu

Hình 4 - Phôi hàn cho mối nối hàn T



CHÚ DẪN:

1 Chuẩn bị và điều chỉnh mối nối một cách thích hợp như đã nêu chi tiết trong đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS)

α Góc của nhánh

a Giá trị nhỏ nhất là 150 mm

D_1 Đường kính ngoài của ống chính

t_1 Chiều dày vật liệu của ống chính

D_2 Đường kính ngoài của ống nhánh

t_2 Chiều dày vật liệu của ống nhánh

Hình 5 - Phối hàn cho mối nối hàn nhánh

8 Kiểm tra và thử

8.1 Mức độ thử

Thử nghiệm bao gồm cả thử không phá hủy (NDT) và thử phá hủy, các thử nghiệm này phải phù hợp với các yêu cầu của Bảng 1.

Tiêu chuẩn áp dụng có thể quy định các phép thử bổ sung bao gồm:

- Thử kéo dọc mối hàn;

- Thử uốn toàn bộ kim loại hàn;

- Thử ăn mòn;

- Phân tích hóa học;

- Thử độ cứng.

CHÚ THÍCH: Đối với dịch vụ riêng, các điều kiện về vật liệu hoặc chế tạo có thể cần đến thử nghiệm toàn diện hơn so với thử nghiệm được quy định trong tiêu chuẩn này để thu được nhiều thông tin và tránh lặp lại thử nghiệm quy trình hàn ở giai đoạn cuối để có được các dữ liệu thử bổ sung.

Bảng 1 - Kiểm tra và thử phôi hàn

Phôi hàn	Kiểu thử	Mức độ thử	Chú thích cuối bảng
Mối nối hàn giáp mép thấu hoàn toàn - (các Hình 1, 2 và 3)	Bằng mắt	100 %	-
	Thử bằng chụp ảnh tia bức xạ	100 %	-
	Thử thẩm thấu	100 %	-
	Thử kéo ngang	2 mẫu thử	-
	Thử uốn ngang	2 mẫu thử ở chân và 2 mẫu thử ở mặt mối hàn	a, b, c -
	Kiểm tra tổ chức thô đại	1 mẫu thử	-
Mối nối hàn T thấu hoàn toàn (Hình 4) Mối nối hàn nhánh thấu hoàn toàn (Hình 5)	Bằng mắt	100 %	d
	Thử thẩm thấu	100 %	d
	Kiểm tra tổ chức thô đại	2 mẫu thử	d
Mối hàn góc - (Hình 4) và (Hình 5)	Bằng mắt	100 %	d
	Thử thẩm thấu	100 %	d
	Kiểm tra tổ chức thô đại	2 mẫu thử	d

[a] Đối với các phép thử uốn, xem 8.4.3.

[b] 2 mẫu thử uốn ở chân và 2 mẫu thử uốn ở mặt mối hàn có thể được thay bằng 4 mẫu thử uốn mặt bên (cạnh) đối với $t \geq 12$ mm.

[c] Đối với các vật liệu đúc hoặc kết hợp đúc/gia công áp lực, phép thử uốn có thể được thay bằng phép thử đứt gãy theo ISO 9017.

[d] Các phép thử đã được nêu chi tiết không cung cấp thông tin về cơ tính của mối nối hàn. Khi các cơ tính này có liên quan đến ứng dụng, cũng phải thực hiện sự chấp nhận bổ sung, ví dụ, chấp nhận mối hàn giáp mép.

8.2 Vị trí lấy các mẫu thử

Phải lấy các mẫu thử phù hợp với các Hình 6, 7, 8 và 9.

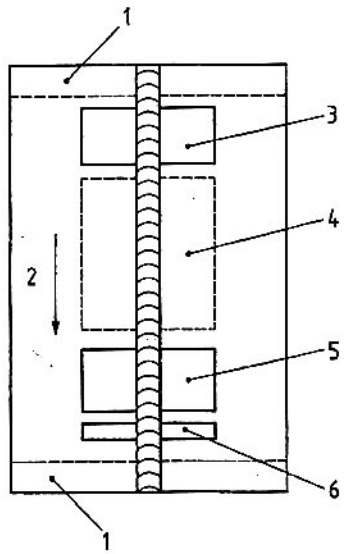
Các mẫu thử phải được lấy sau khi đã thực hiện toàn bộ thử không phá hủy (NDT) và đã đạt các tiêu chí kiểm tra có liên quan cho các phương pháp NDT được sử dụng.

Chấp nhận việc lấy các mẫu thử bên ngoài các vùng có các khuyết tật nằm trong các giới hạn chấp nhận đối với các phương pháp NDT được sử dụng.

8.3 Thử không phá hủy

Phải thực hiện toàn bộ thử nghiệm không phá hủy phù hợp với 8.1 và Bảng 1 trên các phôi hàn trước khi cắt các mẫu thử. Bất cứ sự xử lý nhiệt nào sau hàn đã quy định phải được hoàn thành trước khi thử không phá hủy.

Tùy theo dạng hình học của mối nối, các vật liệu và yêu cầu về gia công, phải thực hiện thử nghiệm không phá hủy (NDT) theo yêu cầu trong Bảng 1, phù hợp với TCVN 7507 (EN 970) (kiểm tra bằng mắt), ISO 17636 (thử bằng chụp ảnh tia bức xạ) và ISO 3452 (thử thẩm thấu).



CHÚ DẪN:

1 Phần thừa 25 mm

2 Hướng hàn

3 Vùng lấy:
- 1 mẫu thử kéo;
- các mẫu thử uốn.

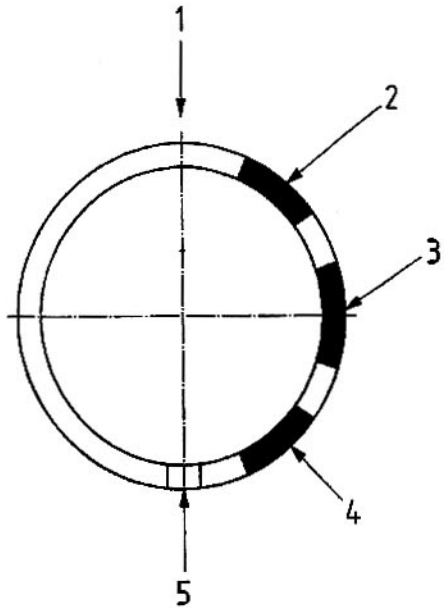
4 Vùng lấy:
- các mẫu thử bổ sung, nếu có yêu cầu

5 Vùng lấy
- 1 mẫu thử kéo;
- các mẫu thử uốn.

6 Vùng lấy:
- mẫu thử thô đại.

CHÚ THÍCH: - Hình vẽ không theo tỷ lệ.

Hình 6 - Vị trí lấy các mẫu thử cho mối nối hàn giáp mép của các tấm



CHÚ DẪN:

1 Đỉnh của ống cố định

2 Vùng lấy:
- 1 mẫu thử kéo;
- các mẫu thử uốn.

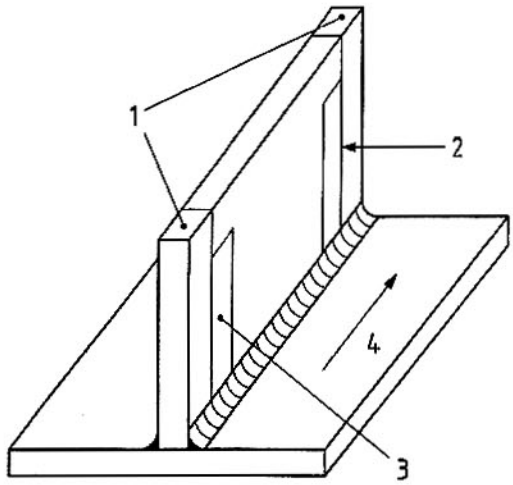
3 Vùng lấy:
- các mẫu thử bổ sung, nếu có yêu cầu.

4 Vùng lấy
- 1 mẫu thử kéo;
- các mẫu thử uốn.

5 Vùng lấy:
- mẫu thử thô đại.

CHÚ THÍCH: - Hình vẽ không theo tỷ lệ.

Hình 7 - Vị trí lấy các mẫu thử cho mối nối hàn giáp mép của các ống



CHÚ DẪN:

1 Phần thừa 25 mm

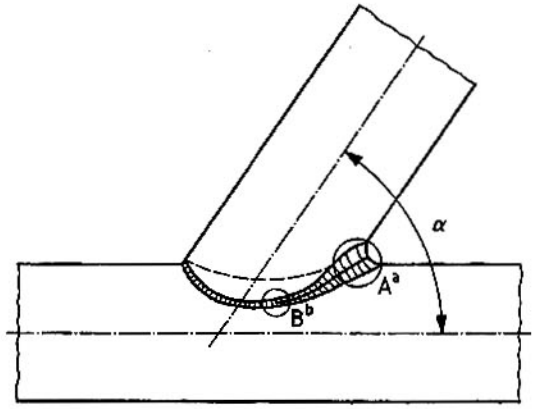
2 Mẫu thử thô đại

3 Mẫu thử thô đại

4 Hướng hàn

CHÚ THÍCH: - Hình vẽ không theo tỷ lệ.

Hình 8 - Vị trí lấy các mẫu thử trong mối nối hàn T



CHÚ DẪN:

α Góc của nhánh

a Mẫu thử thô đại được lấy ở vị trí A

b Mẫu thử thô đại được lấy ở vị trí B

CHÚ THÍCH: - Hình vẽ không theo tỷ lệ.

Hình 9 - Vị trí lấy các mẫu thử cho mối nối hàn nhánh hoặc mối hàn góc trên ống

8.4 Thử phá hủy

8.4.1 Quy định chung

Mức độ thử phải theo yêu cầu trong Bảng 1.

8.4.2 Thử kéo ngang

Các mẫu thử và phương pháp thử cho thử kéo ngang đối với mối nối hàn giáp mép phải phù hợp với TCVN 8310 (ISO 4136).

Đối với các ống có đường kính ngoài > 50 mm, phải lấy đi kim loại hàn dư thừa trên cả hai mặt để mẫu thử có chiều dày bằng chiều dày thành ống.

Đối với các ống có đường kính ngoài ≤ 50 mm và khi sử dụng các ống có đường kính và tiết diện đủ nhỏ thì có thể không cần phải lấy đi kim loại hàn dư thừa trên bề mặt bên trong của ống.

Độ bền kéo của mẫu thử không được nhỏ hơn giá trị nhỏ nhất được quy định tương ứng cho vật liệu cơ bản.

8.4.3 Thử uốn

Mục đích của phép thử này là làm lộ ra các khuyết tật bên trong hoặc các khuyết tật làm hỏng bề mặt theo TCVN 6115-1 (ISO 6520-1).

Các mẫu thử và quy trình thử uốn cho các mối nối hàn giáp mép phải phù hợp với TCVN 5401 (ISO 5173).

Đối với tất cả các nhóm, góc uốn phải là 180° khi sử dụng đường kính tính toán của dưỡng dẫn hướng dựa trên độ giãn dài của vật liệu như sau:

a) Đối với độ giãn dài > 5 %

$$d = \frac{(100 \times t_s)}{A} - t_s$$

Trong đó:

d là đường kính lớn nhất của dưỡng dẫn hướng;

t_s là chiều dày của mẫu thử uốn (chiều dày này bao gồm cả chỗ uốn mặt trên).

A là độ giãn dài nhỏ nhất khi kéo theo yêu cầu của đặc tính kỹ thuật của vật liệu (đối với sự phối hợp của các hợp kim khác nhau, phải sử dụng giá trị riêng thấp nhất).

Bảng 2 đưa ra các ví dụ về đường kính tính toán của dưỡng dẫn hướng đối với một số độ giãn dài và chiều dày.

Các giá trị phải được làm tròn xuống để dễ dàng cho việc thực hiện các phép thử. Có thể sử dụng đường kính nhỏ hơn của dưỡng dẫn hướng tùy thuộc vào thiết bị thử.

b) Đối với độ giãn dài ≤ 5 % phải tiến hành ủ trước khi thử. Phải tính toán đường kính của đường dẫn

hướng với độ giãn dài đã cho theo quy định trong Bảng 2.

Trong quá trình thử, các mẫu thử không được có bất cứ một vết nứt đơn nào > 3 mm theo mọi hướng. Các vết nứt xuất hiện ở các góc của mẫu thử trong quá trình thử cần được bỏ qua trong đánh giá.

Bảng 2 - Các ví dụ về đường kính tính toán lớn nhất của dưỡng dẫn hướng đối với một số độ giãn dài và chiều dày

Chiều dày của mẫu thử uốn t_s mm	Độ giãn dài A %							
	8	10	12	15	17	20	25	35
	Đường kính tính toán lớn nhất của dưỡng dẫn hướng, d mm							
1,5	17	13,5	11	8,5	7,5	6	4,5	3
3	34	27	22	17	14	12	9	6
4	46	36	29	23	20	16	12	7
6	69	54	44	34	29	24	18	11
8	92	72	59	45	39	32	24	15
10	115	90	73	57	49	40	30	19
12	138	108	88	68	59	48	36	22
15	172	135	110	85	73	60	45	28
20	230	180	147	113	98	80	60	37
25	288	225	183	142	122	100	75	46
30	345	270	220	170	146	120	90	56

8.4.4 Kiểm tra tổ chức thô đại

Mẫu thử phải được chuẩn bị và kiểm tra phù hợp với ISO 17639 trên một mặt để làm lộ rõ ra đường nóng chảy, vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) và quá trình hàn các đường hàn.

Kiểm tra tổ chức thô đại phải bao gồm kim loại cơ bản không chịu ảnh hưởng nhiệt và phải được ghi lại ít nhất là bằng một bản sao tổ chức thô đại cho mỗi phép thử quy trình hàn.

Phải áp dụng các mức chấp nhận được công bố trong 8.5.

8.4.5 Thử đứt gãy

Các mẫu thử và quy trình hàn đứt gãy đối với các mối nối hàn giáp mép phải phù hợp với ISO 9017.

8.5 Mức chấp nhận

Một quy trình hàn được chấp nhận nếu các khuyết tật trong phôi hàn nằm trong các giới hạn quy định của mức chất lượng B trong ISO 10042:2005, trừ các loại khuyết tật sau: kim loại hàn quá dày, lồi quá mức, chiều dày mối hàn góc quá lớn và hàn quá thấu (lồi chân mối hàn quá mức), đối với các khuyết tật này phải áp dụng mức C.

CHÚ THÍCH: Sự tương quan giữa các mức chất lượng của ISO 10042 và các mức chấp nhận của các phương pháp thử không phá hủy (NDT) khác nhau được cho trong ISO 17635.

8.6 Thử lại

Nếu phôi hàn không tuân theo bất cứ các yêu cầu nào về kiểm tra bằng mắt hoặc thử không phá hủy (NDT) quy định trong 8.5 thì phải hàn thêm một phôi hàn nữa và thực hiện các kiểm tra tương tự đối với phôi hàn này. Nếu phôi hàn này không tuân theo các yêu cầu, phép thử quy trình hàn không được chấp nhận.

Nếu bất cứ các mẫu thử nào không tuân theo các yêu cầu đối với thử phá hủy phù hợp với 8.4 nhưng chỉ do các khuyết tật của mối hàn thì phải thử thêm hai mẫu thử nữa cho mỗi mẫu thử không đạt yêu cầu. Có thể lấy các mẫu thử bổ sung từ cùng một phôi hàn nếu có đủ vật liệu hoặc từ một phôi hàn mới.

Nếu một mẫu thử kéo không đáp ứng các yêu cầu của 8.4.2, phải có hai mẫu thử bổ sung thêm cho mỗi mẫu thử không đạt yêu cầu. Cả hai mẫu thử bổ sung này phải thỏa mãn các yêu cầu của 8.4.2.

Mỗi mẫu thử bổ sung phải được thử theo các phép thử tương tự như đối với mẫu thử ban đầu không đạt yêu cầu. Nếu một trong các mẫu thử bổ sung không tuân theo các yêu cầu, phép thử quy trình hàn không được chấp nhận.

9 Phạm vi chấp nhận

9.1 Quy định chung

Phải đáp ứng từng điều kiện được cho trong điều này để tuân theo yêu cầu của tiêu chuẩn này.

Các thay đổi vượt ra ngoài các vi phạm quy định đòi hỏi phải có phép thử quy trình hàn mới.

9.2 Liên quan đến nhà sản xuất

Giấy chấp nhận cho đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS) bằng thử nghiệm quy trình hàn theo tiêu chuẩn này được cấp cho nhà sản xuất có hiệu lực đối với hàn ở phân xưởng hoặc trên hiện trường với cùng một điều kiện kiểm tra kỹ thuật và chất lượng của nhà sản xuất.

Hàn được thực hiện trong cùng một điều kiện kiểm tra kỹ thuật và chất lượng khi nhà sản xuất, người đã tiến hành thử quy trình hàn sẽ hoàn toàn chịu trách nhiệm về toàn bộ quá trình hàn được thực hiện theo quy trình này.

9.3 Liên quan đến vật liệu

9.3.1 Lập nhóm vật liệu cơ bản

Để giảm tới mức tối thiểu số lượng các phép thử quy trình hàn, đồng và các hợp kim đồng được tập hợp thành nhóm theo ISO/TR 15608.

Cần có các chấp nhận riêng biệt cho quy trình hàn đối với mỗi vật liệu cơ bản hoặc các liên hợp vật liệu cơ bản không nằm trong hệ thống phân nhóm.

Vật liệu của tấm lót cố định phải được xem là vật liệu cơ bản trong nhóm (nhóm con) chấp nhận.

Phạm vi chấp nhận cho các mối nối hàn các vật liệu giống nhau và khác nhau được cho trong Bảng 3.

Bất cứ mối nối hàn vật liệu khác nhau nào không được bao hàm bởi Bảng 3 đòi hỏi phải có phép thử riêng không thuộc phạm vi chấp nhận cho các vật liệu cơ bản khác.

Nếu một vật liệu cơ bản có thể thuộc về hai nhóm hoặc nhóm con thì phải được phân loại vào nhóm hoặc nhóm con có số hiệu thấp hơn.

CHÚ THÍCH: Sự khác biệt nhỏ về thành phần giữa các loại vật liệu giống nhau xuất hiện do sử dụng các tiêu chuẩn quốc gia không cần thiết phải chấp nhận lại.

Các phạm vi chấp nhận được cho trong Bảng 3.

Bảng 3 - Phạm vi chấp nhận đối với các nhóm và nhóm con của đồng

Nhóm vật liệu của mối nối hàn thử	Phạm vi chấp nhận
31-31	31
32-32	32
33-33	33
34-34	34
35-35	34 và 35
36-36	32 và 36
37-37	37
38-38	38

9.3.2 Chiều dày của vật liệu cơ bản và đường kính ống

9.3.2.1 Quy định chung

Để chấp nhận một quá trình hàn, chiều dày vật liệu *t* phải có nghĩa sau:

a) Đối với mối hàn giáp mép:

Chiều dày của vật liệu cơ bản.

b) Đối với mối hàn góc:

Chiều dày của vật liệu cơ bản được chấp nhận cho các mối nối hàn giữa các chiều dày khác nhau là chiều dày của vật liệu dày hơn. Đối với mỗi phạm vi chiều dày được chấp nhận như trong Bảng 4 cũng có một phạm vi chấp nhận liên kết cho các chiều dày mối hàn góc, *a*, đối với các mối hàn góc có một đường hàn như đã cho trong 9.3.2.3.

c) Đối với mối nối hàn nhánh đặt trên ống:

Chiều dày của ống nhánh.

d) Đối với mối nối hàn nhánh gá đặt vào hoặc gá đặt xuyên qua ống:

Chiều dày của ống chính.

e) Đối với mối nối hàn T thấu hoàn toàn:

Chiều dày của tấm được chuẩn bị.

Đối với các quy trình có nhiều quá trình hàn, phải sử dụng chiều dày kim loại điền đầy cho mỗi quá trình hàn làm cơ sở cho phạm vi chấp nhận đối với quá trình hàn riêng.

9.3.2.2 Phạm vi chấp nhận cho chiều dày vật liệu cơ bản

Chấp nhận một phép thử quy trình hàn về chiều dày *t* phải bao gồm chấp nhận đối với các chiều dày trong các phạm vi được cho trong Bảng 4. Đối với các quy trình có nhiều quá trình hàn, phải sử dụng chiều dày của kim loại hàn được điền đầy cho mỗi quá trình hàn làm cơ sở cho phạm vi chấp nhận đối với quá trình hàn riêng.

Bảng 4 - Phạm vi chấp nhận cho các chiều dày của các tấm và ống

Kích thước tính bằng milimét

Chiều dày của phôi hàn, *t*	Phạm vi chấp nhận
$t \leq 3$	0,5 t đến 2 t
$3 < t \leq 20$	3 đến 2 t
$t > 20$	$\geq 0,8$ t

Đối với các quá trình có một đường hàn được cơ khí hóa hoàn toàn và tự động, chiều sâu hàn thấu là chiều sâu lớn nhất được chấp nhận.

9.3.2.3 Phạm vi chấp nhận cho chiều dày mối hàn góc của các mối hàn góc có một đường hàn

Nếu quy định các yêu cầu về độ cứng cần áp dụng việc chấp nhận các mối hàn góc được thực hiện trên các tấm có chiều dày bằng hoặc lớn hơn 30 mm cho tất cả các chiều dày của tấm và của mối hàn góc.

Ngoài ra, đối với các mối hàn góc có một đường hàn, phạm vi chấp nhận chiều dày mối hàn góc "a" phải từ "0,75a" đến "1,5a".

Khi một mối hàn góc được chấp nhận bằng thử nghiệm một mối hàn giáp mép thì các mối hàn có một lớp hàn sẽ chấp nhận cho các mối hàn góc có một đường hàn và nhiều đường hàn, nhưng các mối hàn có nhiều đường hàn chỉ chấp nhận cho các mối hàn góc có nhiều đường hàn.

9.3.2.4 Phạm vi chấp nhận cho các tấm và ống

Chấp nhận được đưa ra cho các tấm cũng bao hàm các ống và ngược lại.

9.3.3 Góc của mối nối hàn nhánh

Một phép thử quy trình hàn được thực hiện cho một mối nối hàn nhánh có góc α phải chấp nhận tất cả các góc nhánh α_1 trong phạm vi $\alpha \leq \alpha_1 \leq 90°$.

9.4 Chấp nhận chung cho tất cả các quy trình hàn

9.4.1 Quá trình hàn

Mỗi mức độ cơ khí hóa phải được chấp nhận độc lập (thủ công, cơ khí hóa một phần, cơ khí hóa hoàn toàn và tự động).

Chấp nhận chỉ có hiệu lực đối với các quá trình hàn được sử dụng trong phép thử quy trình hàn.

Đối với các quy trình có nhiều quá trình hàn, có thể thực hiện việc chấp nhận quy trình hàn với các phép thử quy trình hàn riêng biệt cho mỗi quá trình hàn. Cũng có thể thực hiện phép thử quy trình hàn như một phép thử quy trình có nhiều quá trình hàn. Việc chấp nhận phép thử này chỉ có hiệu lực đối với trình tự của quá trình hàn được thực hiện trong khi thử quy trình có nhiều quá trình hàn.

CHÚ THÍCH: Không cho phép sử dụng phép thử quy trình có nhiều quá trình hàn để chấp nhận bất cứ một quá trình hàn nào trừ khi thử nghiệm được thực hiện cho quá trình hàn phù hợp với tiêu chuẩn này.

9.4.2 Vị trí hàn

Hàn một mẫu thử (ống hoặc tấm) theo bất cứ vị trí hàn nào sẽ chấp nhận cho hàn (ống hoặc tấm) ở mọi vị trí hàn.

9.4.3 Kiểu mối nối hàn

Phạm vi chấp nhận cho kiểu các mối nối hàn khi được sử dụng trong phép thử quy trình hàn phải ở trong các giới hạn được cho trong các điều khác (ví dụ, đường kính, chiều dày) và thêm vào đó:

a) Các mối hàn giáp mép chấp nhận các mối hàn giáp mép được hàn thấu hoàn toàn và hàn thấu một phần cũng như các mối hàn góc. Cần phải có các phép thử mối hàn góc khi mối hàn này là dạng mối hàn chiếm ưu thế của hàn trong sản xuất;

b) Các mối hàn giáp mép của các ống cũng chấp nhận các mối nối hàn nhánh có góc $\geq 60°$;

c) Các mối nối hàn T được hàn giáp mép chỉ chấp nhận các mối nối hàn T được hàn giáp mép và các mối hàn góc (xem a);

d) Các mối hàn được hàn một phía không có đệm lót chấp nhận các mối hàn được hàn từ khi hai phía và các mối hàn có đệm lót;

e) Các mối hàn được hàn có đệm lót chấp nhận các mối hàn được hàn từ hai phía;

f) Hàn mối hàn góc chỉ chấp nhận cho hàn mối hàn góc;

g) Không cho phép thay đổi sự điền đầy bằng nhiều đường hàn thành điền đầy bằng một đường hàn (hoặc một đường hàn trên mỗi phía) hoặc ngược lại đối với một quá trình hàn đã cho.

9.4.4. Vật liệu điền đầy, ký hiệu

Các vật liệu điền đầy sẽ bao hàm các vật liệu điền đầy khác với điều kiện là chúng có các cơ tính tương đương, có cùng một thành phần danh nghĩa theo ký hiệu trong tiêu chuẩn thích hợp cho vật liệu điền đầy có liên quan.

9.4.5 Loại dòng điện

Chấp nhận được thực hiện đối với loại dòng điện (xoay chiều (AC), một chiều (DC)), và cực tính được sử dụng trong phép thử quy trình hàn.

9.4.6 Nhiệt cấp

Các yêu cầu của điều này chỉ được áp dụng khi quy định việc kiểm soát nhiệt cấp vào.

Giới hạn trên của nhiệt cấp được chấp nhận là lượng nhiệt lớn hơn 25 % nhiệt cấp được sử dụng cho hàn phôi hàn.

Giới hạn dưới của nhiệt cấp được chấp nhận là lượng nhiệt thấp hơn 25 % nhiệt cấp được sử dụng cho hàn phôi hàn.

9.4.7 Nhiệt độ nung nóng trước

Khi có yêu cầu phải nung nóng trước, giới hạn dưới của chấp nhận là nhiệt độ nung nóng trước danh nghĩa được áp dụng lại lúc bắt đầu thử quy trình hàn.

9.4.8 Nhiệt độ giữa các lớp hàn

Giới hạn trên của chấp nhận là nhiệt độ cao nhất đạt được giữa các lớp hàn trong phép thử quy trình hàn.

9.4.9. Xử lý nhiệt sau hàn hoặc hóa già

Xử lý nhiệt sau hàn, ví dụ hóa già nhân tạo, hóa già tự nhiên phải được quy định trong đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn sơ bộ (pWPS).

Không cho phép bổ sung thêm hoặc loại bỏ xử lý nhiệt sau hàn.

Phạm vi nhiệt độ và các điều kiện hóa già được quy định trong pWPS tương đương với phạm vi được chấp nhận.

9.4.10 Xử lý nhiệt ban đầu

Không cho phép thay đổi điều kiện xử lý nhiệt ban đầu trước khi hàn đồng và các hợp kim đồng.

9.5 Chấp nhận riêng cho các quá trình hàn

9.5.1 Quá trình hàn 131

9.5.1.1 Chấp nhận đã đưa ra đối với khí bảo vệ và khí của đệm khí bảo vệ được hạn chế cho ký hiệu của khí theo ISO 14175. Sự thay đổi hàm lượng khí heli lớn hơn 25 % đòi hỏi phải có sự chấp nhận lại. Các khí bảo vệ không được bao hàm bởi ISO 14195 được hạn chế cho thành phần danh nghĩa được sử dụng trong phép thử.

9.5.1.2 Chấp nhận đã đưa ra được hạn chế cho hệ thống cấp dây hàn được sử dụng trong phép thử quy trình hàn (ví dụ, hệ thống một dây hoặc hệ thống nhiều dây)

9.5.2 Quá trình hàn 141

9.5.2.1 Chấp nhận đã đưa ra đối với khí bảo vệ và khí của đệm khí bảo vệ được hạn chế cho ký hiệu của khí theo ISO 14175. Sự thay đổi hàm lượng khí khi lớn hơn 25 % đòi hỏi phải có sự chấp nhận lại. Các khí bảo vệ không được bao hàm bởi ISO 14175 được hạn chế cho thành phần danh nghĩa được sử dụng trong phép thử.

9.5.2.2 Phép thử quy trình hàn được thực hiện không có đệm khí bảo vệ sẽ chấp nhận quy trình hàn có đệm khí bảo vệ.

9.5.2.3 Hàn có vật liệu điền đầy không chấp nhận cho hàn không có vật liệu điền đầy hoặc ngược lại.

9.5.3 Quá trình hàn 15

9.5.3.1 Hàn có vật liệu điền đầy không chấp nhận cho hàn không có vật liệu điền đầy hoặc ngược lại.

9.5.3.2 Chấp nhận đã đưa ra được hạn chế cho thành phần khí plasma được sử dụng trong phép thử quy trình hàn.

9.5.3.3 Chấp nhận đã đưa ra đối với khí bảo vệ và khí của đệm khí bảo vệ được hạn chế cho ký hiệu của khí theo ISO 14175. Sự thay đổi hàm lượng khí heli lớn hơn 25 % đòi hỏi phải có sự chấp nhận lại. Các khí bảo vệ không được bao hàm bởi ISO 14175 được hạn chế cho thành phần danh nghĩa Đảng Cộng sản sử dụng trong phép thử.

9.5.4 Quá trình hàn 131

Hàn có vật liệu điền đầy không chấp nhận cho hàn không có vật liệu điền đầy hoặc ngược lại.

10 Biên bản chấp nhận quy trình hàn (WPQR)

Biên bản chấp nhận quy trình hàn (WPQR) là bản báo cáo các kết quả đánh giá mỗi phôi hàn, bao gồm cả các phép thử lại. Biên bản phải bao gồm các mục có liên quan được liệt kê đối với đặc tính kỹ thuật của quy trình hàn (WPS) trong TCVN 8986-1 (ISO 15609-1) và ISO 15609-2 cùng với các nội dung chi tiết của bất cứ đặc điểm nào có thể loại ra được bởi các yêu cầu của Điều 8. Nếu không có các đặc điểm loại ra được hoặc các kết quả thử không được chấp nhận, biên bản chấp nhận quy trình hàn trong đó nêu chi tiết các kết quả của quy trình hàn phôi hàn được người kiểm tra hoặc cơ quan kiểm

tra chấp nhận, ký tên và ghi ngày tháng chấp nhận.

Phải sử dụng biểu mẫu của WPQR để ghi các nội dung chi tiết về quy trình hàn và các kết quả thử để dễ dàng cho việc trình bày thống nhất và đánh giá các dữ liệu.

Ví dụ về biểu mẫu của WPQR được cho trong Phụ lục A.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Mẫu biên bản chấp nhận quy trình hàn (WPQR)

Chấp nhận quy trình hàn - Chứng chỉ thử

Số WPQR của nhà sản xuất:

Người hoặc cơ quan kiểm tra:

Nhà sản xuất:

Số tham chiếu:

Địa chỉ:

Quy định/tiêu chuẩn thử:

Ngày hàn:

Phạm vi chấp nhận

Quá trình hàn:

Kiểu của mối nối hàn:

Nhóm và nhóm con vật liệu cơ bản:

Chiều dày của vật liệu cơ bản (mm):

Chiều dày của kim loại hàn (mm):

Chiều dày của mối hàn góc (mm):

Một đường hàn/nhiều đường hàn:

Đường kính ngoài của ống (mm):

Ký hiệu của vật liệu điền đầy:

Dạng vật liệu điền đầy:

Cỡ kích thước của vật liệu điền đầy:

Ký hiệu của khí bảo vệ/thuốc hàn:

Ký hiệu của khí trong đệm khí bảo vệ:

Loại dòng điện và cực tính:

Dạng chuyển dịch kim loại:

Nhiệt cấp:

Vị trí hàn:

Nhiệt độ nung nóng trước:

Nhiệt độ giữa các lớp hàn:

Hóa già:

Xử lý nhiệt sau hàn:

Thông tin khác (cũng xem 9.5): .....

Chứng nhận rằng các mối hàn thử nghiệm được chuẩn bị, hàn và thử nghiệm tốt phù hợp với các yêu cầu của Quy định/tiêu chuẩn thử đã nêu trên.

.....	.....	.....
Địa điểm	Ngày cấp	Người kiểm tra hoặc cơ quan kiểm tra Tên, ngày tháng và ký tên

Biên bản thử mối hàn

Địa điểm:

Người hoặc cơ quan kiểm tra:

pWPS của nhà sản xuất:

Phương pháp chuẩn bị và làm sạch:

Số WPQR của nhà sản xuất:

Đặc tính kỹ thuật của vật liệu cơ bản:

Nhà sản xuất:

Chiều dày của vật liệu (mm):

Tên thợ hàn:

Đường kính ngoài của ống (mm):

Dạng chuyển dịch kim loại:

Vị trí hàn:

Kiểu mối nối hàn:

Chi tiết về chuẩn bị mối hàn (bản phác thảo)*

Bản vẽ phác mối nối hàn	Trình tự hàn

Các chi tiết về hàn

Đường hàn	Quá trình hàn	Cỡ của vật liệu điền đầy	Dòng điện hàn A	Điện áp hàn V	Loại dòng điện/cực tính	Vận tốc cấp dây hàn	Vận tốc hàn*	Nhiệt cấp*

Ký hiệu và dạng vật liệu điền đầy:

Nung đặc biệt hoặc sấy khô:

Khí/thuốc hàn:

- Bảo vệ:
- Đệm khí:

Lưu lượng khí:

- Bảo vệ:
- Đệm khí:

Loại/cỡ điện cực vonfram:

Chi tiết về dũi mặt sau/đệm lót:

Nhiệt độ nung nóng trước:

Nhiệt độ giữa các lớp hàn:

Xử lý nhiệt sau hàn:

Thời gian, nhiệt độ, phương pháp:

Các tốc độ nung nóng và làm nguội*:

Thông tin khác*, ví dụ:

Hàn lắc ngang (chiều rộng lớn nhất của đường hàn):

Độ lắc ngang (biên độ, tần số, thời gian dừng):

Chi tiết về hàn xung:

Khoảng cách ống tiếp xúc (bép hàn)/chi tiết hàn:

Chi tiết về hàn plasma:

Góc mỏ hàn:

.....

Nhà sản xuất

Tên, ngày tháng và ký tên

.....

Người kiểm tra hoặc cơ quan kiểm tra

Tên, ngày tháng và ký tên

* Nếu có yêu cầu

Kết quả thử

Số WPQR của nhà sản xuất: Người hoặc cơ quan kiểm tra:

Kiểm tra bằng mắt: Số tham chiếu:

Thẩm thấu/hạt từ*: Thử bằng chụp ảnh tia bức xạ*:

Kiểm tra siêu âm*: -

Nhiệt độ:

Thử kéo:

Kiểu/No	R_e MPa	R_m MPa	A %	Z %	Vị trí đứt	Nhận xét
Yêu cầu						

Thử uốn Đường kính dưỡng dẫn hướng:

Kiểu/No	Góc uốn	Độ giãn dài*	Kết quả

Kiểm tra tổ chức thô đại:

Thử va đập* Kiểu: Cỡ kích thước: Yêu cầu:

Vị trí rãnh V/Hướng	**Nhiệt độ °C**	**Các giá trị 1 2 3**	**Giá trị trung bình**	**Nhận xét**

Thử độ chứng* (Kiểu/ tải trọng) Vị trí đo (Bản vẽ phác)*

Kim loại cơ bản:

HAZ:

Kim loại hàn:

Các thử nghiệm khác:

Nhận xét:

Các phép thử được thực hiện phù hợp với các yêu cầu của:

Số viện dẫn của báo cáo phòng thử nghiệm:

Các kết quả thử được chấp nhận/không được chấp nhận (gạch bỏ nội dung không thích hợp)

Phép thử được thực hiện với sự có mặt của:

Người kiểm tra hoặc cơ quan kiểm tra

.....

Tên, ngày tháng và ký tên

Thư mục tài liệu tham khảo

[1] TCVN 7506 (ISO 3834) (tất cả các phần), *Yêu cầu chất lượng đối với hàn nóng chảy kim loại*

[2] TCVN 5868 (ISO 9712), *Thử không phá hủy - Trình độ chuyên môn và cấp chứng chỉ cá nhân*

[3] ISO 17635, *Non-destructive testing of welds - General rules for fusion welds in metallic materials (Thử không phá hủy các mối hàn - Quy tắc chung cho các mối hàn nóng chảy trong vật liệu kim loại)*