

溶接後熱処理基準と その解説

社団法人 日本高圧力技術協会
応力焼鈍(SR)委員会——編

まえがき

「HPIS D107～112 溶接後熱処理基準とその解説(合本)」は HPIS としての改訂を検討した結果、今後改訂等の維持活動は出来ないとの結論に達した。

したがって、HPIS の規格としては廃止することとし、技術指導書として扱うことになった。

2005年10月

(社)日本高圧力技術協会

目 次

[基 準]

1. HPIS E-107	溶接後熱処理の方法	38
2. HPIS E-108	炭素鋼及び高張力鋼の溶接後熱処理条件	79
3. HPIS E-109	低温用炭素鋼及びニッケル鋼の溶接後熱処理 条件	107
4. HPIS E-110	マンガンモリブデン鋼及びマンガンモリブデン ニッケル鋼の溶接後熱処理条件	135
5. HPIS E-111	モリブデン鋼, クロムモリブデン鋼及び高強度 クロムモリブデン鋼の溶接後熱処理条件	142
6. HPIS E-112	極厚鋼材の溶接後熱処理条件	167

第 I 部 総 論

1.	溶接後熱処理の定義	3
2.	溶接後熱処理の目的	5
2.1	溶接残留応力の発生とその影響	5
2.2	PWHT の目的と条件	6
2.3	PWHT と予熱	8
2.4	PWHT と後熱	9
3.	溶接後熱処理の問題点	12
3.1	材料上の問題	12
3.2	作業上の問題	14
4.	溶接後熱処理の利害得失と要否	15
4.1	使用条件とPWHT	15

目 次

4.2 性能に関係する因子	20
5. 溶接後熱処理とエンジニアリングデザイン	24
5.1 材料選定の考え方	24
5.2 PWHT の適用性と要否	26
5.3 塑性加工に関する検討	27
5.4 異種材料継手に関する検討	29
6. 溶接後熱処理の条件と管理	30
6.1 PWHT 条件	30
6.2 PWHT の管理	33
7. 溶接後熱処理施工法	38
[基準]	38
7.1 施工法の分類	43
7.2 炉内 PWHT	44
7.3 炉外全体 PWHT	44
7.4 局部 PWHT	45
7.5 PWHT と試験検査	48
8. PWHT と溶接補修	50
9. 溶接後熱処理と溶接金属	54
9.1 溶接残留応力の緩和	54
9.2 溶接金属の引張強さへの影響	55
9.3 溶接金属の切欠靱性への影響	57
9.4 溶接部の水素の低減	59
9.5 溶接金属のクリープ強さへの影響	60
9.6 溶接金属の結晶粒の成長	61
9.7 浸炭層・脱炭層の成長への影響	62
9.8 焼戻脆性	65
10. 溶接後熱処理に関する内外規格	66
10.1 規格の変遷	66

10.2 各国の技術基準の比較	67
-----------------	----

第Ⅱ部 各 論

1. 炭素鋼及び高張力鋼	79
[基準]	79
1.1 炭素鋼	82
1.1.1 適用鋼種	82
1.1.2 適用厚さ	83
1.1.3 PWHT条件	86
1.1.4 熱加工制御 (TMCP) 鋼と PWHT	86
1.2 高張力鋼	91
1.2.1 適用鋼種	91
1.2.2 適用厚さ	91
1.2.3 PWHT条件	93
1.2.4 高張力鋼をPWHTして使用する場合の注意	98
1.2.5 破壊靱性評価に基づくPWHTの省略検討手順	102
2. 低温用炭素鋼及びニッケル鋼	107
[基準]	107
2.1 低温用炭素鋼	110
2.1.1 適用鋼種	110
2.1.2 適用条件	111
2.1.3 PWHT条件	114
2.2 低温用ニッケル鋼	119
2.2.1 適用鋼種	119
2.2.2 適用条件	119
2.2.3 PWHT条件	130
2.3 PWHT省略可能板厚の破壊靱性による評価	132

目 次

3. マンガンモリブデン鋼及びマンガンモリブデンニッケル鋼	135
[基準]	135
3.1 適用鋼種	137
3.2 適用厚さ	137
3.3 PWHT条件とPWHTによって生ずる問題	137
4. モリブデン鋼, クロムモリブデン鋼及び高強度クロム モリブデン鋼	142
[基準]	142
4.1 適用鋼種	145
4.2 適用厚さ	145
4.3 PWHT条件	146
4.4 溶接部の性能とPWHT	146
4.4.1 引張強さ	147
4.4.2 クリープ強度	148
4.4.3 衝撃特性	148
4.4.4 溶接残留応力	148
4.4.5 再熱割れ (SR割れ)	150
4.4.6 焼戻脆性	150
4.4.7 水素侵食・水素脆性	153
4.5 高強度クロムモリブデン鋼	158
4.5.1 化学成分と機械的性質	162
4.5.2 耐水素環境強度	163
4.5.3 溶接施工性	164
5. 極厚鋼材	167
[基準]	167
5.1 極厚鋼材を用いた大型圧力容器とPWHT	171
5.2 適用鋼種	172
5.3 適用厚さ	173

目 次

5.4	PWHT 条件	173
5.5	PWHT と鋼材の機械的性質	175
5.5.1	C-Si-Mn 鋼	176
5.5.2	1/2Mo 鋼, Mn-Mo-(Ni) 鋼, 1/4Cr-1/2Mo 鋼	177
5.5.3	2/4Cr-1Mo 鋼, 3Cr-1Mo 鋼, 5Cr-1/2Mo 鋼	179
5.5.4	Enh.2/4Cr-1Mo 鋼, 2/4Cr-1Mo-V 鋼, 3Cr-1/2Mo-V 鋼	180
5.6	実際適用上の注意	183
5.6.1	PWHT のシミュレーション	183
5.6.2	温度管理の重要性	184
5.6.3	アタッチメント部材に関する注意	184
5.6.4	全般的な注意	184
6.	現地 PWHT 施工	185
6.1	現地 PWHT の分類	185
6.2	加熱方法と加熱材, 加熱装置	186
6.2.1	電気抵抗加熱	186
6.2.2	誘導加熱	187
6.2.3	バーナー加熱	189
6.2.4	発熱体加熱 (化学反応によるもの)	190
6.3	温度測定	191
6.3.1	温度の測定方法	191
6.3.2	熱電対の取付け	193
6.3.3	温度計測位置	193
6.4	保温材	194
6.4.1	保温材の種類	194
6.4.2	保温施工	196
6.5	温度こう配	196
6.5.1	板厚方向の温度こう配	196
6.5.2	円周長方向の温度こう配	197

目 次

6.6 変形と座屈	199
6.7 品質管理と品質保証	199
6.7.1 施工要領書	199
6.7.2 施工方法の確認	200
6.7.3 品質保証	200

第Ⅲ部 資 料

1. クラッド鋼の溶接後熱処理	207
1.1 ステンレスクラッド鋼のPWHT	207
1.1.1 PWHTの基本的な考え方	207
1.1.2 オーステナイト系ステンレスクラッド鋼	209
1.1.3 オーステナイト・フェライト系ステンレスクラッド鋼	212
1.1.4 フェライトまたはマルテンサイト系ステンレスクラッド鋼	212
1.1.5 ステンレスクラッド鋼の代表的PWHT条件の例	216
1.2 非鉄金属クラッド鋼のPWHT	217
1.2.1 PWHTの基本的な考え方	217
1.2.2 Ni及びNi合金クラッド鋼	217
1.2.3 銅及び銅合金クラッド鋼	218
1.2.4 Tiクラッド鋼	218
2. 異種材料継手の溶接後熱処理	220
2.1 炭素鋼と低合金鋼及び低合金鋼同士の溶接	220
2.2 オーステナイトステンレス鋼と炭素鋼, 低合金鋼の溶接	223
2.3 フェライト系及びマルテンサイト系ステンレス鋼と炭素鋼, 低合金鋼の溶接	225
3. ステンレス鋼の溶接後熱処理	227
3.1 オーステナイト系ステンレス鋼のPWHTは必要か	227
3.2 ステンレス鋼のPWHTに関する各種基準	230

目 次

4. 高Cr フェライト系鋼の溶接後熱処理	234
4.1 9Cr フェライト系鋼	235
4.2 12Cr フェライト系鋼	241
5. 溶接後熱処理以外の溶接残留応力軽減法	243
5.1 種類と方法	243
5.2 残留応力の軽減機構及び効果	245
5.2.1 局部加熱・冷却応力軽減法	245
5.2.2 過ひずみ法	249
5.2.3 ピーニング法	252
5.2.4 振動式軽減法	253
5.2.5 局部爆発処理法	254
6. 残留応力の非破壊測定	256
6.1 各種非破壊応力測定法の特徴	256
6.2 音弾性応力測定法の測定原理と適用例	258
6.3 磁ひずみ応力測定法の測定原理と適用例	260
7. ラーソン・ミラーのパラメータ（焼戻しパラメータ）	265
7.1 PWHTを繰り返す場合のラーソン・ミラーのパラメータ <i>P</i> の求め方	265
7.2 ラーソン・ミラーのパラメータとは	266
付 表	
1. 主要圧力容器用圧延鋼材規格対比	269
2. 主要鍛鋼品規格対比	273
3. 主要鋼管規格対比	276
索 引	279