

により焼入後焼戻を行なった場合の機械的性質を Table 2 に示した。これら試作鋼は ASTM 規格に要求する機械的性質はほぼ満足されるが、焼戻条件応力除去焼鈍により、若干挙動が異なる。これら試験鋼材についての実験結果の概要を要約すれば次のようになる。

1. Table 2 の BQ, BN 材の結果より、焼入焼戻後の性質は焼準焼戻材よりも強度高く、切欠靱性もすぐれる。

2. Table 2 の BN, NEN 材を比較すると Ni を 0.7% 添加した 155mm 鋼板は Ni を添加しない 100mm 鋼板と同等の機械的性質を示し、Ni が厚鋼板の強度靱性の改善に有効なことがわかった。同様に BQ, NCQ 材に見られるように、同板厚の場合には Ni 0.7% 添加は 8kg/mm² 程度の強度の増加となり、切欠靱性も改善される。しかし BN, BQ の結果からわかるように Ni を添加しないものは焼入焼戻、焼準焼戻材ともほぼ同等の性質であった。

3. AQ, NCQ, NDQ, NEN 鋼材の焼戻試験結果によると、焼戻抵抗は Ni 添加材および A-302B 鋼とも同程度である。NEN 鋼の 675°C 焼戻の場合の強度の増加は NEN 鋼が比較的高炭素であるため、加熱時 α , γ 2 相共存域に入り、冷却時局部的マルテンサイトを生成したためと考えられる。

4. また BN, NCQ 材における焼入焼戻後の応力除去焼鈍試験結果では調質処理をした NCQ 材の強度低下が大きい。しかし応力除去焼鈍後の強度は Ni が含まれてはいるが焼入焼戻材の方が大きい。

5. BN, NCQ, NEN 材の結果からわかるように、応力除去焼鈍による衝撃値の低下は板厚の増加とともに増大する。これは焼鈍後の冷却速度によるものと思われる。

6. NCQ, NEN 鋼の結果では応力除去焼鈍後板厚

Table 3. Mechanical properties in high temperatures.

Code	Tested temperatures (°C)	Y. P. (kg/mm ²)	T. S. (kg/mm ²)	EL GL: 50mm (%)	R. A. (%)
NCQ	R. T.*	—	72.5	23.0	70.0
	200	—	68.9	25.0	65.0
	300	—	68.0	22.0	62.0
	400	—	68.5	23.0	61.0
	500	—	52.0	20.0	68.9
BN	R. T.	43.5	60.1	29.6	68.0
	200	40.1	56.4	26.2	67.8
	300	36.2	58.0	26.2	61.6
	400	35.3	55.8	31.7	66.1
	500	32.6	47.9	35.5	77.2
600	27.6	34.5	34.3	82.9	
BQ	R. T.	43.4	62.0	33.7	73.8
	200	44.5	58.9	26.3	73.9
	300	42.3	60.9	25.6	64.7
	400	40.6	58.3	32.6	67.6
	500	37.3	48.5	30.3	81.5
600	32.2	33.2	35.0	87.0	

* Room temperature.

100mm, 155mm 材とも同程度の強度を示し、この程度に板厚が大きくなった場合には、応力除去焼鈍後の強度低下は板厚増加によりあまり変わらないことがわかった。

7. Table 3 の BQ, BN, NCQ 材の熱間引張試験結果からわかるように、Ni 添加鋼および A-302B 鋼とも 200°C 程度に加熱されると高温強度はかなり低下するが、200~400°C 間ではほとんど低下しない。またこの傾向は調質材の方が小さい。また 300°C 近辺で主に断面収縮率にあらわれる若干の靱性脆性の傾向を示すが、400°C 以上では延性は良好である。

4. 結 言

ASTM, A-302B 鋼の熱処理条件、応力除去焼鈍の影響などについて研究を行ない次のような結論を得た。

1. 母材の熱処理条件としては焼入焼戻材の方が焼準焼戻材よりも良好である。しかし応力除去焼鈍で焼入の効果がほとんどなくなるから焼準焼戻で良い性質を得ることが望ましい。

2. 焼戻温度としては厚手鋼板の場合 625°C がもつとも適当のようである。

3. 応力除去焼鈍後の性質は応力除去焼鈍 1 回では、Ni 添加型が良好である。しかし多数回応力除去焼鈍を行なった場合にはさらに検討の必要がある。

4. 400°C までの高温強度は焼入焼戻材の方が焼準焼戻材よりも高いが、応力除去焼鈍後はほとんど差がないから、応力除去焼鈍して使用するような場合には焼入処理の利点が失われる可能性が大きい。

(126) サブマージーク溶接材料について

(原子炉用 ASTM A-302B 鋼に関する研究—III)

八幡製鉄所、技術研究所

伊藤悌二・熊谷守浩・森山康・西田時男
A Study on the Wires and Fluxes for Submerged Arc Welding.

(Studies on a reactor vessel steel, ASTM A-302B—II)

Teiji Itō, Morihiro Kumagai
Kō Moriyama and Tokio Nishida.

1. 結 言

ASTM-A-302B 鋼の母材規格として要求される機械的性質を十分満足するサブマージーク溶着金属を得るため、筆者らはこれに適する溶接材料について若干の検討を行なった。

既存の心線およびフラックスの中から適当なものを選び予備試験を行ない、この結果に基づいて心線の試作試験を行なった。この結果、5 回以上もの多数回 S. R. (応力除去焼きなまし) 後にも十分な強度と切欠靱性を有する溶着金属の得られるサブマージーク溶接材料を確立することができた。

2. 供 試 材

供試鋼板および供試心線の化学成分を Table 1 に示す。

Table 1. Chemical compositions of base metals and wires.

Material	Mark	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%
Base metals	A	0.18	0.21	1.28	0.009	0.006	0.09	0.03	0.04	0.55
	B	0.18	0.24	1.27	0.015	0.009	0.08	0.03	0.10	0.49
Wires	DM	0.09	0.01	1.88	0.015	0.015	0.08	—	—	0.56
	M-1	0.13	0.47	2.16	0.020	0.006	0.10	—	—	0.29
	461	0.07	0.07	1.17	0.013	0.010	0.09	1.38	—	0.49
	H-6	0.10	0.09	1.37	0.015	0.017	0.09	1.54	0.42	0.58
	204A	0.13	0.25	2.16	0.015	0.010	0.10	0.50	0.09	0.50
	204B	0.10	0.05	2.14	0.013	0.010	0.10	0.52	0.10	0.51
	204C	0.10	0.20	2.24	0.007	0.009	0.10	0.71	0.08	0.48

供試鋼板はいずれも板厚 100mm の A-302B 鋼であつて焼入焼戻処理を受けており、規格を満足する機械的性質のものである。A鋼は予備試験に、またB鋼は試作試験に供した。

供試心線のうち DM, M1, 461, H6 は予備試験に用いたものであるが、204A, 204B, 204C は予備試験結果に基づいて試作したものである。

供試フラックスの化学成分を Table 2 に示す。F-15 は中性溶融型フラックス、F-200 は高塩基性溶融型フラックスである。

3. 試験方法

試験をする心線とフラックスとの組み合わせのおののについて板厚×250×750mm の鋼板を用意し、中央長手方向に開先を加工しサブマージアーク溶接に供した。開先形状を Fig. 1 に、また溶接条件を Table 3 に示す。

溶接後の S. R. は 300°C より 625°C まで 50°C/hr

Table 2. Chemical compositions of fluxes.

Mark	SiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Others (%)
F-15	41.08	23.56	6.25	15.21	2.18	11.72
F-200	29.80	30.58	20.54	0.23	9.80	9.05

Table 3. Welding conditions.

Layer No.	Wire dia. (mm)	Current (A)	Voltage (V)	Travel speed (cm/min)	Preheat temp. (%)	Interlayer temp. (°C)
1~4	4.0	400	26~28	50	200	≤300
5~9	4.8	600	29~31	35	"	"
10~44	4.8	700	30~33	30	"	"

Table 4. Chemical compositions of weld metals.

Wire	Flux	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%
DM	F-200	0.08	0.26	1.32	0.019	0.009	—	0.03	0.06	0.56
M1	"	0.11	0.52	1.51	0.021	0.005	—	0.03	0.04	0.30
461	F-15	0.07	0.39	1.13	0.018	0.011	—	1.24	0.06	0.50
"	F-200	0.08	0.22	0.88	0.016	0.007	—	1.20	0.06	0.48
H6	F-15	0.10	0.47	1.29	0.022	0.015	—	1.26	0.26	0.61
"	F-200	0.12	0.28	1.03	0.023	0.010	—	1.30	0.30	0.50
204A	"	0.10	0.38	1.57	0.019	0.005	0.11	0.46	0.10	0.55
204B	"	0.06	0.26	1.37	0.014	0.005	0.10	0.49	0.07	0.51
204C	"	0.09	0.37	1.70	0.019	0.006	0.14	0.67	0.07	0.53

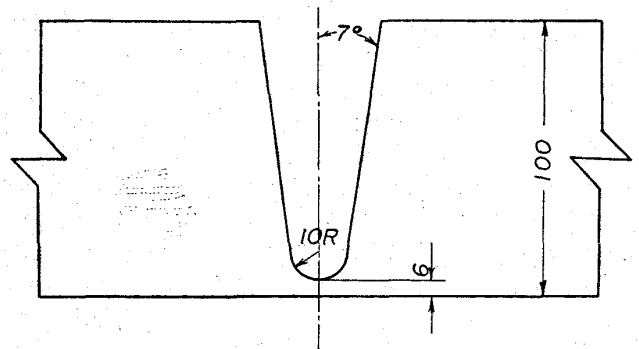


Fig. 1. Joint geometry.

以下の速度で加熱し、625°C で 4hr 保持後 300°C まで 50°C/hr 以下の速度で冷却し、以後空冷した。多数回 S. R. の場合はこのサイクルを繰り返した。

溶着金属の中央、板表面から 25mm および 75mm の位置について化学分析、引張試験およびVシャルピー衝撃試験を行なった。引張試験は JIS 4号試験片および DIN 50125 C 型試験片(平行部直径 4mm) 平行部長を 28mm) によつて行なったが、後者については溶接線に垂直な方向のみならず平行な方向についても試験を行なった。衝撃試験は JIS 4号試験片を溶接線に垂直な方向に採取して行ない、ノッチ軸は板表面に垂直である。

4. 予備試験結果

予備試験において得られた溶着金属の化学成分のうち、板表面から 75mm の位置のものを Table 4 の前半に示す。25mm の位置の値もこれと大差ないものであるが、C 量、Si 量などが極くわずかに低下している場合も見られる。

同じ心線でも高塩基性フラックス F-200 スを用いた方が C 量が高く、Si 量、Mn 量、S 量が低くなっているが、これは高塩基性フラックスの特性として従来より確かめられている現象である。

引張試験結果のうち、板表面下 75mm、溶接線に垂直な DIN 50125 C 型試験片によるものを Fig. 2 に示す。各点は 2 個の平均値を表わす。また同じ位置について行なった衝撃試験結果を Fig. 3 に示す。各点は 3 個

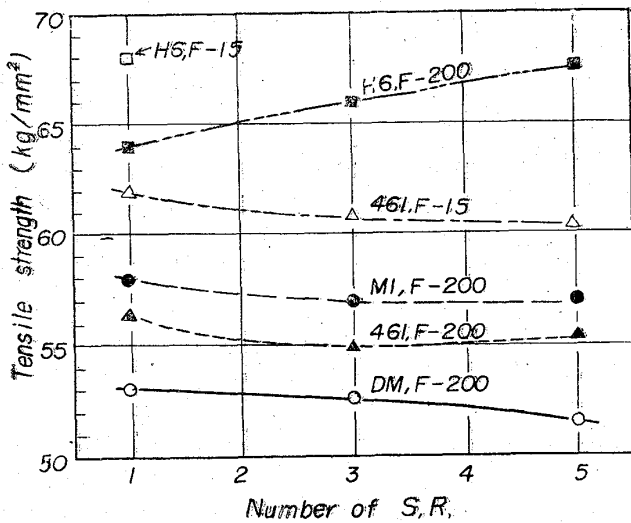


Fig. 2. Effect of the stress-relief annealing on the tensile properties of submerged arc weld metals.

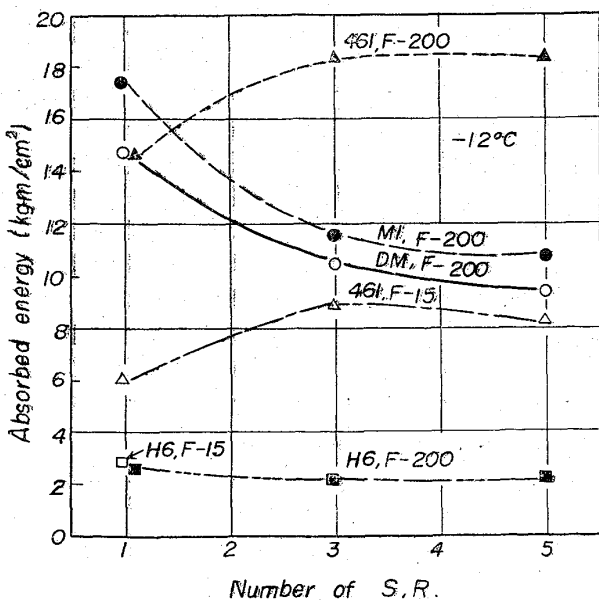


Fig. 3. Effect of the stress-relief annealing on the charpy V-notch impact test results of submerged arc weld metals.

の平均値を表わす。

Mn-Ni-Cr-Mo 系心線 H6 は高い引張強さを示しているが、衝撃値が著しく不十分であり、Cr 添加の不当であることが確かめられる。

Mn-Mo 系心線 DM および M1 は同程度に良好な衝撃値を示すが、合金元素量を高めた M1 の方が高塩基性フラックス F-200 と組み合わせても十分な引張強さを保ちやすいことがわかる。

Mn-Ni-Mo 系心線 461 は中性フラックス F-15 と組み合わせた時の 2 倍に近い衝撃値を、F-200 と組み合わせた時に示した。このように高塩基性フラックスを用いることにより溶着金属の衝撃値が向上する反面、引張強さはある程度低下する。

5. 試作試験結果

従来の研究結果からも推定され、今回の予備試験結果からも高塩基性フラックスを用いることによつて衝撃値の高い溶着金属の得られることがわかつたので、F-200 と組み合わせることを前提として心線の試作試験を行なった。

予備試験の結果からも Mn-Ni-Mo 系心線が適当とみられたので Table 1 に示したように 204A, 204B, 204C の 3 つを試作した。溶着金属の Ni 量が母材規格を満足するように、試作心線の Ni 量はいずれも 416 に比して低目となっている。

DIN 50125 C 型引張試験片による溶接線に垂直な方向の引張試験結果を Fig. 4 に示す。黒印は板表面下 25 mm の位置の値であり、白印は 75mm の位置の値である。各点は 2 個の平均値を表わす。また衝撃試験結果を同様の要領で Fig. 5 に示すが、この場合各点は 3 個の平均値を表す。

このように Mn-Ni-Cr 系心線により 10 回 S. R. 後においても規格を満足する引張強さおよび衝撃値の溶着金属の得られることが確かめられる。

6. 結 言

ASTM A-302B 鋼用サブマージーク溶接材料について実験的に検討した結果、Mn-Ni-Mo 系心線と高塩

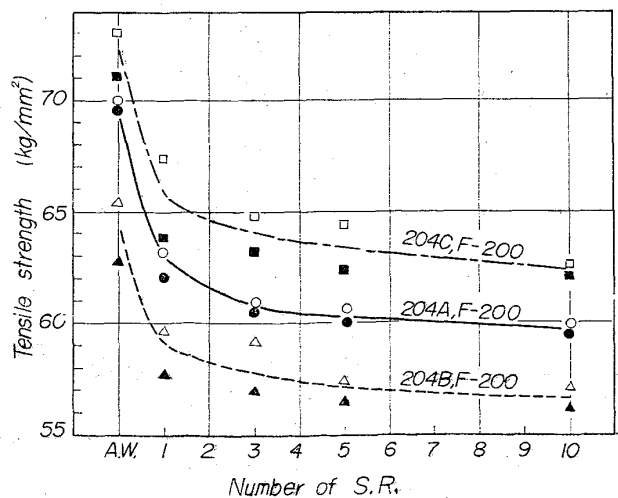


Fig. 4. Effect of the stress-relief annealing on the tensile properties of submerged arc weld metals.

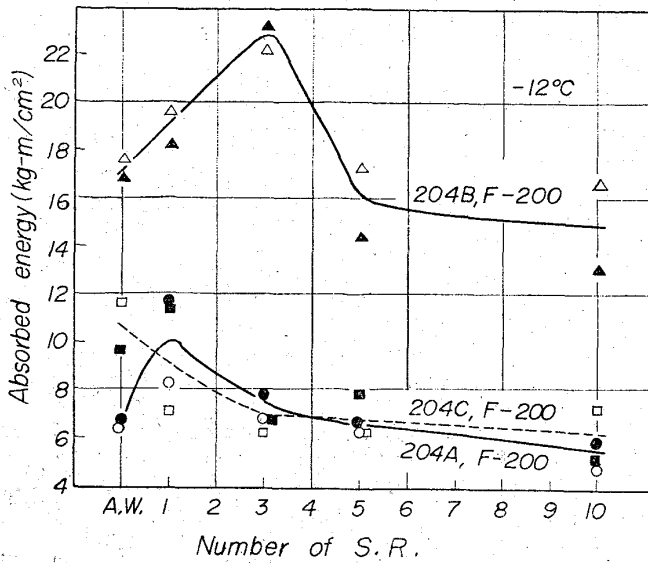


Fig. 5. Effect of the stress-relief annealing on the charpy V-notch impact test results of submerged arc weld metals.

基性溶融型フラックスとを組合せることにより、多数回 S. R. 後においても十分母材規格を満足する引張強さと衝撃値を有する溶着金属の得られることを確かめた。

文 献

- 1) 守田, 西, 藤森, 斎田: 溶接学会誌, 32 (1963) 9, p. 860
- 2) 伊藤, 熊谷, 藤森, 小島: 溶接学会誌, 33 (1964) 9, p. 813

(127) 中性子照射試験結果について
— 機械的性質 —

(原子炉用 A STM A-302 B 鋼の研究—IV)

八幡製鉄所, 技術研究所

○下川 敬治・工博 長島 晋一
UNC

G. STERN, R. KNOPF, J. CIHI
Neutron Irradiation Effects on Mechanical Properties.

(Studies on a reactor vessel steel, ASTM A-302 B—IV)

Keiji SHIMOKAWA, Dr. Shin'ichi NAGASHIMA
G. STERN, R. KNOPF and J. CIHI.

1. 緒 言

原子炉用鋼に対する中性子照射の影響が研究されてい

るが^{1)~3)}, 前報に述べたような^{4)~6)}, 八幡で製造した ASTM A-302 鋼の厚さ 100mm の厚板より採取した試験片を, 米国 United Nuclear Corporation に送付し, 同社に中性子照射試験を依頼した。

中性子照射は GETR で行ない, 照射後各種の試験は UNC 社 Pawling の Hot Cell で行なわれた。供試材は八幡製 302B 鋼の他に比較材として米国製 302B 鋼, さらに八幡製 302B 溶着鋼を選び 10^{19} および 10^{20} nvt (何れも >1 MeV) の中性子照射したものにつき硬さ試験引張試験およびシャルピー衝撃試験を行なった。

2. 試料および実験方法

2.1 供試材料および試験片

八幡製 および 米国製の A-302B 鋼の化学成分を, Table 1 に示す。なおチェック分析は照射試片採取位置に近い板厚みの 1/4 の位置から採取したサンプルによる。八幡製 A-302B 鋼 (以下八幡母材と略記する) の熱処理条件は焼入 $930^{\circ}\text{C} \times 4\text{hr}$ → プレスクエンチ, 焼戻 $640^{\circ}\text{C} \times 4\text{hr}$ → 空冷であり, 米国製 A-302B 鋼 (以下米国母材と略記する) は焼入 $954^{\circ}\text{C} \times 4\text{hr}$ → 水焼入, 焼戻 $630^{\circ}\text{C} \times 4\text{hr}$ → 空冷である。八幡製溶着鋼 (以下八幡溶着鋼と略記する) の溶接法は潜弧溶接であり, その条件を Table 2 に示す。なお成分は C 0.15%, Mo 0.45~0.65%, Mn 1.80~2.0% である。溶接後の歪取焼戻は $650^{\circ}\text{C} \times 4\text{hr}$ → 空冷である。

試料は各素材の厚みの 1/4 (溶着鋼は表面から 1/4) から採取し, 母材については引張および衝撃試験片ともに板の圧延方向を長手方向とした。溶着鋼については引張試験片は溶接線に平行に, 衝撃試験片は垂直に採つた。

引張試験片の形状, 寸法を Fig. 1 に示す。

2.2 照 射

中性子照射には GETR (General Electric Testing Reactor) を利用した。照射はそれぞれ 18 本のシャルピー試験片と, 6 本の引張試験片を入れた 2 つのカプセルにわけ, 1 つをコア部に, 1 つをプール部に挿入して 5 週間照射し, それぞれ 1×10^{20} nvt および 1×10^{19} nvt (>1 MeV) の積分中性子束を与えた。コア部とプール部とでは γ 線による発熱量が異なるため, 熱の伝導体として NaK をカプセル内に封入し, さらに照射中の温度を $93^{\circ} \sim 149^{\circ}\text{C}$ の範囲に保持するために電熱用ヒーターで温度制御を行なった。なお炉用試験で試料と NaK との反応が起こらないことはあらかじめ確めた。

低エネルギー中性子は試料を放射化するので, カプセル表面にカドミウムメッキをほどこして熱中性子を遮蔽した。さらに照射量を測定するために, それぞれのカプセルに Ni-Co 合金と鉄のモニターワイヤーを挿入した。

Table 1. Chemical compositions of test plates. (%)

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ni	Co	sol Al	insol Al	total Al
Yawata steel	Ladle	0.18	0.21	1.28	0.009	0.006	0.09	0.04	0.55	0.03				
	Check	0.19	0.21	1.23	0.010	0.006	0.072	0.041	0.56	0.027	0.009	0.032	0.007	0.039
U. S. A. steel	Ladle	0.19	0.21	1.17	0.015	0.027			0.48					
	Check	0.19	0.22	1.30	0.034	0.027	0.25	0.16	0.58	0.21	0.01	0.031	0.004	0.035