

a : N 18°C Total degree of twist 360° b : N -196°C Total degree of twist 485°
 c : Y 18°C Total degree of twist 540° d : Y -196°C Total degree of twist 750°

Photo. 1. Photographs of transverse weld specimens twisted at 18° and -196°C.

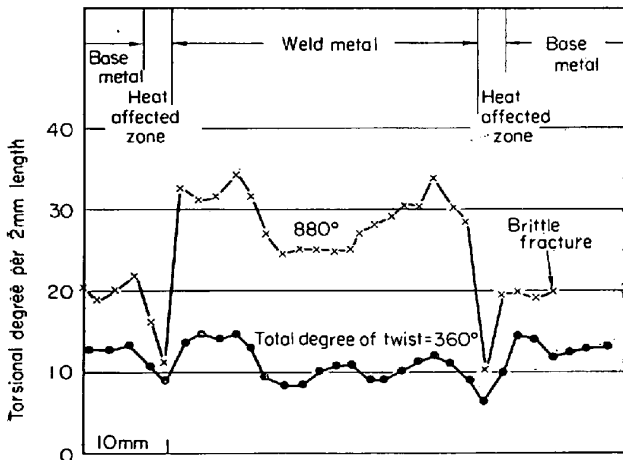


Fig. 3 Distribution of torsional degree for N-transverse weld specimen at -196°C.

質のちがいを調べた。結果はつぎのようである。

1) N鋼材でのシャルピ衝撃値は母材および熱影響部において高く、Y鋼材では溶着鋼部において最も高かった。またN鋼材のシャルピ遷移温度は熱影響部が低く、溶着鋼部が高く現われた。Y鋼材では熱影響部が最も低く母材が高く現われた。

2) 横方向試験片を用いたねじりおよび引張試験を行ない、母材、熱影響部および溶着鋼部における変形量の分布を測定することによつて一定応力下での母材、熱影響部、溶着鋼各部における変形のちがいをきわめて明瞭に知ることができた。すなわち本溶接条件下では一般に熱影響部の変形量は低く母材では大きいこと、および各

部は互にその影響によつて変形の連続性が保たれていることが知られた。

3) 室温における引張破断はすべて母材で発生し、また低温ねじり脆性破壊は両鋼材とも母材において生じた。

4) 625°C 10 hr の応力除去焼鈍処理したものでも横方向試験片によるねじり脆性破壊は母材で生じた。脆性破壊変形時における溶着鋼部の変形量は母材に比較して大きくなった。

本研究は鉄鋼の照射試験研究合同委員会の分担研究に一部追研究したものをまとめたものであることを付記し関係各位に謝意を表わします。

文 献

- 1) R. G. GILLILAND and J. T. VENARD: Welding J., 45 (1966) 3, p.103s-110s
- 2) 美馬, 堀: 鉄と鋼, 51 (1965) 1, p. 59~64
- 3) 例えば R. L. HICKEY and R. W. SCHULTZ: Metal Progress, 90 (1966) 3, p. 65~70

(246) A-302B鋼の強度と靱性におよぼす焼準冷却速度の影響

(ASTM A-302B 厚鋼板の熱処理と機械的性質—I)

日立製作所, 日立研究所

工博 根本 正・佐々木良一
 田野崎和夫・○正岡 功

Effect of Normalizing Cooling Rate on the Strength and Notch Toughness of A-302B Steel

(Heat treatment and mechanical properties of heavy section ASTM A-302B steel—I)

Dr. Tadashi NEMOTO, Ryoichi SASAKI
 Kazuo TANOUZAKI and Isao MASAOKA

1. 緒 言

BWR 型および PWR 型の発電用原子炉圧力容器には板厚 100 mm 以上の ASTM A302B 厚鋼板が広く用いられる。このような厚鋼板では機械的性質が熱間加工後の熱処理に左右され、規格要求値を満足させるためには容器製造上の熱処理条件を十分把握しておくことが重要である。

ASTM A302B 鋼の熱処理と機械的性質に関しては 2~3 の文献¹⁾²⁾ もみられるが、強度と靱性におよぼす焼

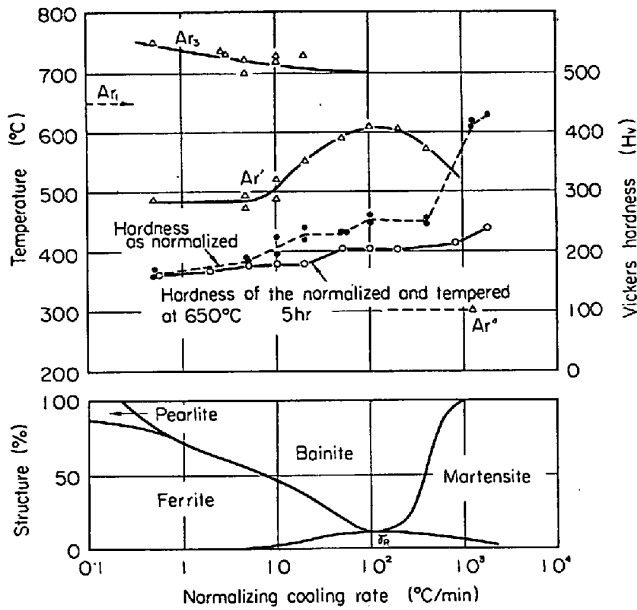


Fig. 1 Effect of normalizing cooling rate on the transformation temperature, hardness and structure. (Austenitized at 900°C)

準冷却速度の影響を詳細に調べた文献は少なく、特に切欠靱性におよぼす熱処理の影響が試験片寸法によつて異なる点にふれた報告はほとんどみられないようである。このような点から本報告においては強度と靱性におよぼす焼準冷却速度の影響について検討した。

2. 試料および実験方法

試料は F 社製の板厚 150 mm 厚鋼板を使用し、供試材をほぼ試験片の大きさに切断した後、熱処理を行ない、機械加工後試験に供した。Table 1 はその化学成分を示す。熱処理は焼準条件を 900°C, 2 hr, 焼戻条件を 650°C, 5 hr 炉冷と一定にし、焼準冷却速度を 0.5°C/min から 2000°C/min まで種々に変化させ、組織、硬さ、引張(平行部 8φ×35 l, 標点距離 28 mm), 標準 V シャルピー (JIS 4号), プレスシャルピー, 40 mm 角大型 V シャルピー, NRL 落重試験を実施した。大型 V シャルピーは JIS 4号試験片と相似の 40×40×220 mm の大きさで 0.25 mmR, 8 mm 深さの V ノッチを持ち、スパン 160 mm で 1500 kg·m 両振式大型衝撃試験機で破断させた。また NRL 落重試験は 360×90×25 mm^t の寸法に加工し、12 kg·m の衝撃エネルギーで破断させた。

3. 実験結果および考察

3.1 変態点、硬さおよび組織におよぼす焼準冷却速度の影響

Fig. 1 はその結果を示す。Ar' 変態は 0.5~400°C/min にわたり起こるが、変態温度は 100°C/min を最高にしそれより早くても遅くても低下し、またベイナイトの生成量も同様な傾向を示す。また 100°C/min より早い場合には Ar'' 変態点が現われてマルテンサイトが生成し、遅い場合には Ar₃ 変態点が現われてフェライトが析出する。Ar₁ 変態点は 0.5°C/min 以

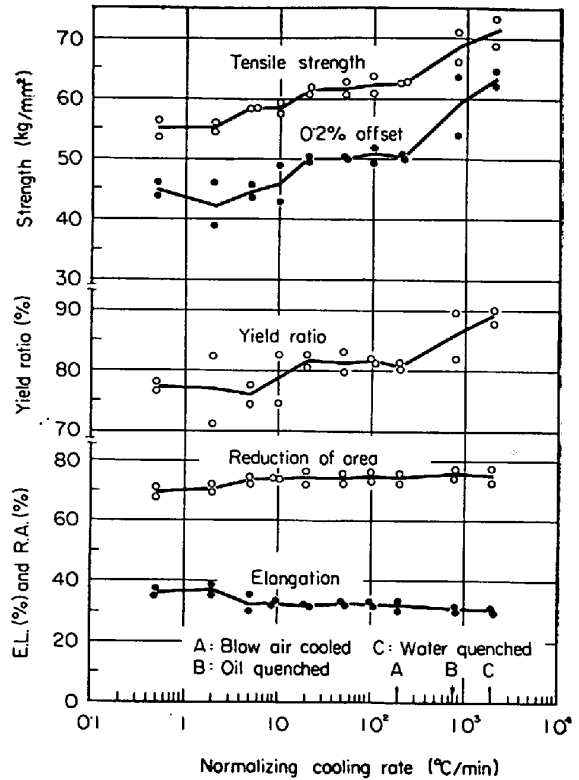


Fig. 2. Effect of normalizing cooling rate on the tensile properties. (normalized at 900°C, 2 hr and tempered at 650°C, 5 hr)

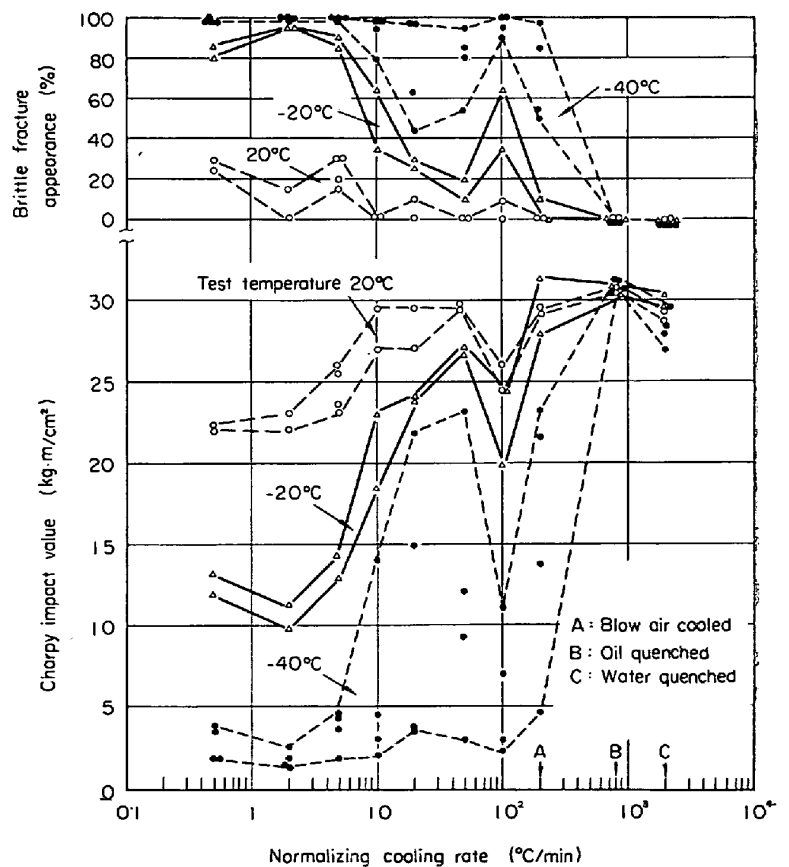


Fig. 3. Effect of normalizing cooling rate on the Charpy V notch impact properties. (normalized at 900°C, 2 hr and tempered at 650°C, 5 hr)

Table 1. Chemical composition of test specimen. (%)

	Thickness (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Sol Al	In sol Al	Total Al
Check	150	0.17	0.25	1.31	0.013	0.005	0.14	0.036	0.034	0.56	0.035	0.0015	0.036

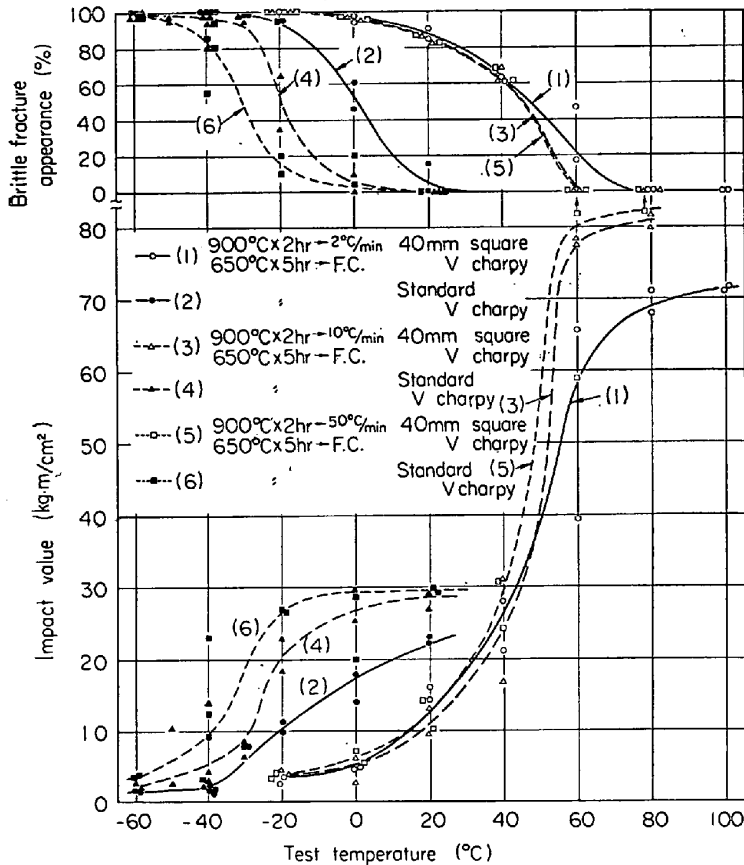


Fig. 4. Effect of specimen size on the Charpy V notch impact properties of the normalized and tempered A302B steel.

下でないとい現われない。また残留オーステナイト量は磁気分析法によつて求めたが、100°C/min で最大となりその量は 10% 程度である。

硬さは焼準冷却速度の遅い範囲ではフェライトが析出するため低いが、冷却速度が増すとベイナイト量が多くなり、さらにマルテンサイトの生成で漸次高くなる。

3.2 引張試験結果に及ぼす焼準冷却速度の影響

Fig. 2 はその結果を示す。これによると引張強さおよび降伏点ともに焼準冷却速度の上昇につれて漸次高くなる。フェライトが多く観察される 20°C/min 以下では引張強さは 60 kg/mm² 以下、降伏点は 45 kg/mm² 前後であるが、焼準冷却速度がそれ以上になると焼戻しベイナイト組織のため引張強さは 60~65 kg/mm²、降伏点は 50 kg/mm² 以上に上昇し十分規格値を満足する。降伏比も焼準冷却速度の上昇とともに増すが、伸びおよび絞りについては大きな変化はみられずいずれも十分な値である。

3.3 2mm V 標準シャルピー 衝撃試験結果におよぼす焼準冷却速度の影響

Fig. 3 はその結果を 20°C, -20°C, および -40°C の衝撃値ならびに脆性破面率で示す。その結果、フェライトの生成される比較的遅い焼準冷却速度では衝撃値が

低く、脆性破面率が高いが、焼準冷却速度が増しベイナイトが生成されるにつれ靱性が増す。しかし 100°C/min 付近では多少低下し、さらに冷却速度が早くなれば再び靱性を増し、焼戻しマルテンサイトは最も高い靱性を示す。

100°C/min 付近で靱性が低下する理由については Fig. 1 に示したように 100°C/min 付近の焼準冷却速度で生成するベイナイトが生成温度の高い上部ベイナイトであるためと考えられる。また -40°C の結果で観察されるように 5~200°C/min の範囲で結果は大きなバラツキを示すが、これは生成温度の異なつたベイナイトが混在することに原因するようである。

3.4 2mm V 標準シャルピー 衝撃試験結果と 8mm V 大型シャルピー 衝撃試験結果との相関

Fig. 4 はその結果を示す。標準 V シャルピー 衝撃試験では焼準冷却速度が 2°C/min より 50°C/min になるにしたがい遷移曲線は低温側にずれるが、大型 V シャルピー 衝撃試験ではほとんど差異を示さず、いずれも標準試験片に比べ著しく高温に上昇する。このように熱処理条件によつて遷移温度におよぼす寸法効果が著しいものとそうでないものがあることは注目すべきであろう。また衝撃値の大部分は延性破面形成に要するエネルギーであるため大型試験片の最大衝撃値は高い。

3.5 各種小型衝撃遷移曲線と大型衝撃 および NRL 落重試験結果との相関

Fig. 5 は各種遷移温度におよぼす焼準冷却速度の影響を示す。その結果大型 V シャルピー 試験における 100% 脆性破面遷移温度と NRL 落重試験における NDT 温度とはほとんど一致し、またこれらの結果は 2~50°C/min の焼準冷却速度ではほとんど同一の遷移温度を示し、2mm V 標準シャルピーの傾向とかなり異なる。また本実験における結果は 2mm V シャルピー 30 ft-lb 遷移温度がいずれの冷却速度においても NDT 温度に比べればはるかに低く、したがつて Fig. 5 に示すように NDT 温度における 2mm V シャルピー 衝撃値は焼準冷却速度が 2°C/min においても 10 kg-m/cm² 以上の値を示し、10°C/min 以上では 20 kg-m/cm² 以上の値となつた。衝撃値の大部分は延性破面形成のエネルギーであり、脆性破壊評価のためには衝撃値そのものよりも破面様相による方が好ましい。また NDT 温度は大型シャルピー 試験の結果と同じ傾向をとり、小型試験に比べ NRL 落重試験のごとき大型の試験による方が望ましい。

このようにき裂発生 of criterion として NDT 温度および大型シャルピー 100% 脆性破面遷移温度が考えられる。一方き裂伝播 of criterion としては NDT 温度 + 60°F (33°C) 考えられているが、本実験で大型シャル

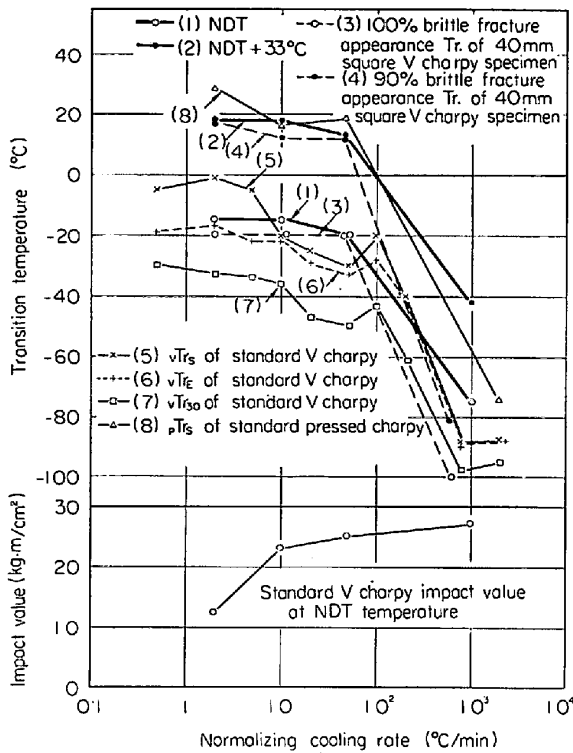


Fig. 5. Effect of normalizing cooling rate on the various transition temperatures. (normalized at 900°C 2hr and tempered at 650°C, 5hr)

ピー 90% 脆性破面遷移温度および 2 mm プレスシャルピー 50% 破面遷移温度がこれとほぼ一致をみた。

4. 結 言

ASTM A302B 鋼の機械的性質は熱処理に著しく左右される。特に厚板では焼準時の冷却速度の影響が大きい。本実験結果を要約すると次の通りである。

1) 規定の強度および靱性を得るには焼準時の冷却速度をできるだけ大きくする必要がある。そのためには 20°C/min 以上の焼準冷却速度が得られるよう熱処理条件を定めねばならない。

2) 低温靱性評価にあたり、各種遷移温度は試験片寸法効果 およびノッチ 効果の影響が著しい。き裂発生 の criterion としては大型 V シャルピー 100% 脆性破面遷移温度とも一致した NDT 温度によるのが望ましく、これは 2 mm V 標準シャルピー 30 ft-lb 遷移温度とはかなり傾向が異なつた。またき裂伝播 criterion としては NDT+60°F が大型衝撃 90% 脆性破面遷移温度ならびにプレスシャルピー 50% 破面遷移温度と一致をみた。

最後に本研究は鉄鋼照射試験研究合同委員会の昭和38年度原子力平和利用補助金研究炉外試験として長谷川委員長以下各位のご協力を得たことを付記し感謝申し上げます。

文 献

- 1) 薄田, 安藤: 三菱重工技報, 3 (1966) 1, p. 36~42
- 2) 長島, 森, 土生, 千々岩: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p. 2037

(247) 静的切欠曲げ試験による破壊靱性の測定

(鋼材の脆性破壊発生に関する研究—I)

日立製作所, 日立研究所

佐々木良一・〇正岡 功

勝田工場 島田 隆介

Measurement of Fracture Toughness in the Static Notched Bend Tests

(Studies on brittle fracture initiation of steels—I)

Ryōichi SASAKI, Isao MASAOKA and Takasuke SHIMADA

1. 緒 言

鋼の脆性破壊発生に関する研究は鋼板に関して溶接ビード付広巾引張試験¹⁾, ESSO 試験²⁾, Deep notch 試験³⁾, また回転体では回転円板破壊試験^{4)~6)}が広く行なわれている。このように実験室において低応力で脆性破壊を発生させるためには、一般に比較的大形の試験片を必要とする。

しかしこれら大型試験片による研究は脆性破壊研究に有力であるが、大がかりな設備とともに多量の試験材が必要で、経費もかかり、冶金的因子の影響を調べることも、また鋼種、溶番、熱処理などの異なる材料についてそれぞれ実施することは困難である。しかし一般取引上に用いられている引張試験や衝撃試験の値のみでは脆性破壊に対する評価がむずかしい点が多い。

いつばう Griffith-Irwin 理論⁷⁾は超高張力鋼の脆性破壊評価に広く用いられているが、大型試験片では強度が 100 kg/mm² 以下の鋼に対しても適用されており^{2)~4)}, また比較的小型の切欠曲げ試験への適用も試みられつつある⁸⁾⁹⁾。

このような観点からわれわれは経済的な曲げ試験に注目し、鋭い切欠を持つ静的曲げ試験を実施し、これから求められる破壊靱性が Griffith-Irwin 理論を満足し脆性破壊評価に適切であるかどうかを検討した。

2. 試料および実験方法

Table 1 は試料の化学成分を示す。電気炉で溶製した大型鍛造品の 1 部を使用した。これは均一な熱処理が施こされている。Table 2 は試験片の寸法を示す。すべてシャルピー衝撃試験片と相似で、5 mm 角より 100 mm 角まで作製した。切欠き底の曲率半径はできる限り鋭いものとし、鋭い刃物でプレスしたプレス切欠きとその上にさらに窒化処理を行なつた窒化切欠きの 2 種類とした。プレス切欠きは切欠き底の曲率半径 0.25 mm R の試験片にさらに鋭い刃物で深さ 0.5 mm だけ圧入して作成した。その先端は半径 0.05 mm 以下である。つぎに窒化切欠きはプレス切欠き後 520°C, 40 hr 分解アンモニアガス中にて窒化処理して作成した。窒化層の厚さは 0.01~0.15 mm 程度で、Photo. 1 に示すようにこの試験片は低荷重で窒化層からき裂が発生する。

試験方法は 3 点荷重方式により、切欠きの部分に最大応力が加わるように荷重を加え試験片を破断させた。負荷に際しては弾性範囲内で一定の応力速度 (公称応力で 100 kg/mm²・min) とした。また試験を一定温度で実施するため、治具および試験片ともに恒温の液体に浸し実