

Fig. 3. The effects of microstructural features on the bending test value.

3.4.2 パラメーター P と孔拡率の関係

前報の実験材について得た関係が本実験材についてもほぼ成立している。

この結果によると本実験条件で γ 領域となるような孔拡率を得るには金属組織的にパラメーター P が -60 以下となるようなものでなければならないといえる。

3.5 切欠感受性に及ぼす金属組織の影響

鋼材の金属組織的な切欠き効果を総合的に表現しているものと考えられるパラメーター P と切欠感受性の関係を検討した。

3.5.1 切欠引張試験値と加工性試験値の関係

鋼材の切欠きに対する静的感受性を表わす指数として、次のような切欠非感受性係数を定義した。

$$\text{切欠非感受性係数}(D_n) = \frac{\text{切欠試片の伸び}}{\text{平滑試片 (JIS 5号) の伸び}} \times 100$$

従来の突き曲げ値、孔拡率と C 方向試片における D_n との関係はいずれの場合もよく対応している。この結果よりいえば切欠非感受性係数が 32% 以上の材料は突き曲げ値 0.1 mm 以下、孔拡率では初期孔径 $14 \text{ mm } \phi$ のブランクに対して γ 領域を示すようなものに相当することが判明した。

3.5.2 切欠非感受性と金属組織の関係

(D_n) とパラメーター P の関係を Fig. 4 に示す、パラメーター P の値の増加とともに鋼材の切欠きに対する感受性は直線的に高くなっていく、したがってパラメーター P の高い材料、すなわち金属組織的に潜在的な高い切欠感受性を有する材料は機械的に存在する切欠きに対しても低い抵抗を示すといえる。

4. 結 言

機械的性質、加工性におよぼす C, Si, Mn の影響を前実験より広い含有量範囲について調べ、前報で得られた結論を確認した。すなわち高強度で、かつ、良好な成型性を維持するにはパーライト面積率の少ない均一な金属組織とすべきで、このために Mn/Si, C は低くする必要がある。

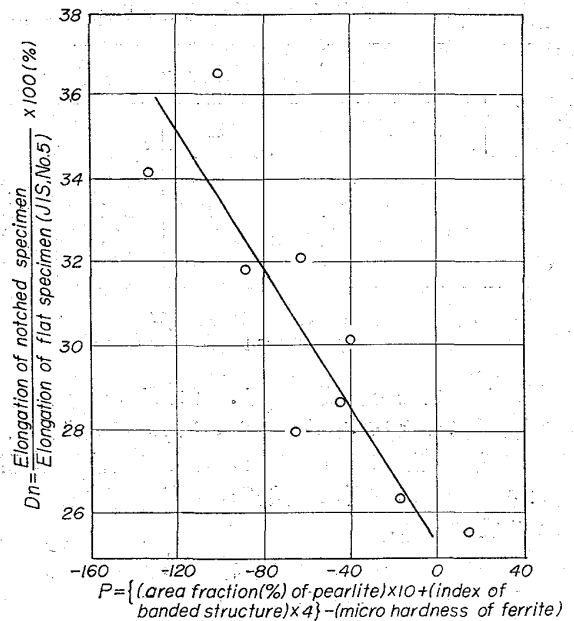


Fig. 4. The relationship between parameter P and D_n .

文 献

- 1) 岩宮, 角谷, 入谷, 丸橋: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 2025
- 2) 岩宮, 角谷, 入谷, 丸橋: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 2028

(129) 熱延帯鋼の機械的性質、冷間成型性におよぼす Al, Cr の影響 (冷間成型性高張力鋼板の研究—IV)

日新製鋼, 呉製鉄所

岩宮 久・角谷卓爾・入谷喜雄
丸橋茂昭・○長谷川雅司

The Effects of Al, Cr on the Mechanical Properties and Cold Formabilities of Hot Rolled Steel Sheets.

(High strength steel sheet for cold forming quality—IV)

Hisashi IWAMIYA, Takuzi KAKUTANI,
Yoshio IRITANI, Shigeki MARUHASHI
and Masaji HASEGAWA.

1. 結 言

前報¹⁾では熱延帯鋼の機械的性質・冷間成型性と合金元素、金属組織と合金元素の関係を特に Si, Mn のより広い含有量範囲にわたり検討した。

本報では、引き続き Al, Cr の影響について調べた。

2. 実験方法

調査に用いた試料は Al の影響については前報の実験材を使用し、Cr については Table 1 (C 0.10%—Si 1.0%—Mn 0.5%—Al 0.02% を一定とし Cr% のみ変化) に示すものを使用した。これらの試料調整法および各種試験

Table 1. Chemical composition of specimens.

| Mark | Chemical composition (%) | | | | |
|------|--------------------------|------|------|------|---------|
| | C | Si | Mn | Cr | Sol. Al |
| A | 0.11 | 1.20 | 0.60 | 1.02 | 0.014 |
| B | 0.09 | 1.21 | 0.42 | 0.67 | 0.016 |
| C | 0.12 | 1.18 | 0.56 | 0.48 | 0.015 |
| D | 0.10 | 1.12 | 0.56 | 0.25 | 0.007 |

Other impurities { P<0.022%, S≈0.015%
Cu≈0.13%, Ni=0.05%

法は前報¹⁾²⁾までと同様である。ただし、Cr が材料の急冷硬化性におよぼす影響を調べるために変則的な一端焼入れ試験 (板厚 4.5 mm) と、さらに溶接性に関連して、より実的に重要な溶接部の最高硬さ試験 (JIS Z 3101) を行なった。

3. 実験結果

3.1 加工性試験値に対する Al の影響

3.1.1 突き曲げ値, 孔拡率におよぼす Al の影響

圧延のまま, 焼準状態における突き曲げ値と sol, Al の関係を Fig. 1 に示す。圧延のままでは突き曲げ値は sol, Al の増加に伴い劣化する。そしてこの傾向は Mn/Si の大なるものほど著しい。焼準状態では前者ほど著しくはないが同様な傾向がうかがえる。ただし、この場合, Al 添加量が低く中間段階組織の生成したものは曲げ性が著しく悪化した。

孔拡率におよぼす Al の影響は上記曲げ性と同様な傾向を示した。しかし Mn/Si<1.5 では Al の影響は認められずすべて良好である。

3.1.2 強度-延性バランスにおよぼす Al の影響

加工性に対する指数として T. S (C) × El. (C) なる値を定義した。これと Al の関係を Fig. 2 に示した。

圧延のまま, 焼準状態ともに sol, Al の増加に伴い、

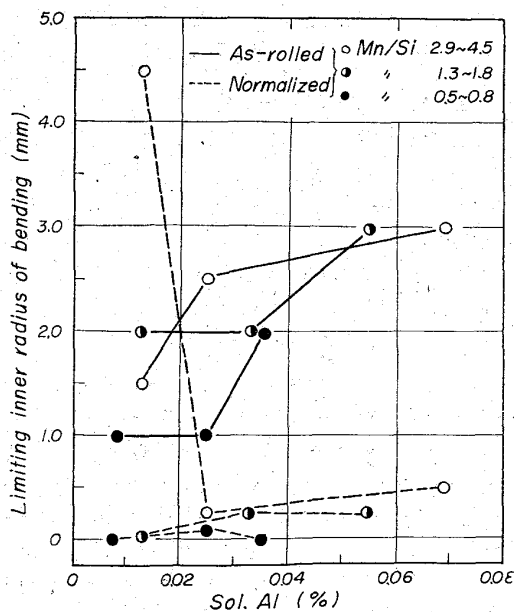


Fig. 1. The effect of sol. Al on the bending test value.

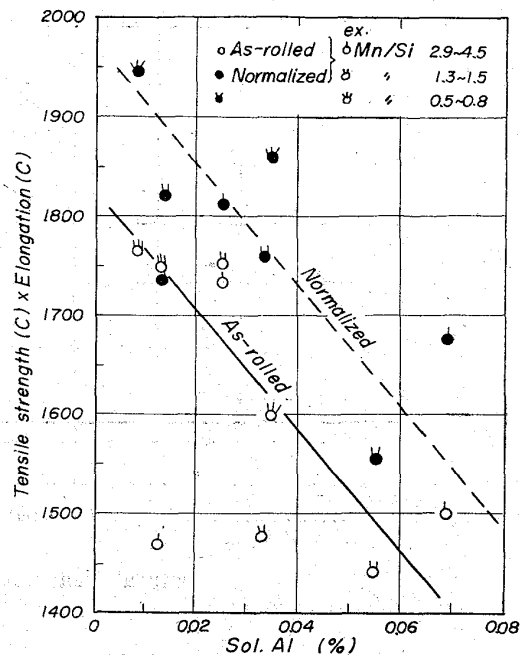


Fig. 2. The effect of sol. Al on the transverse elongation at the same tensile strength.

この指数は低下するのが認められた。すなわち sol, Al の増加に伴い同一引張強さのもとにおける C 方向伸びは低下する。

3.1.3 切欠非感受性係数 (Dn)³⁾ と Al の関係

切欠非感受性係数 Dn はフェライト+パーライト組織においては, sol, Al の低下に伴い増大するが, 焼準により中間段階組織を示したものは Al 量が低いにもかかわらず Dn の低下が認められた。以上のように sol, Al は中間段階組織の生成を抑制するという意味では延性の向上に効果があるが, 単純なフェライト+パーライト組織の鋼の延性に対しては好ましくない影響を与えるものと思われる。

3.2 機械的性質, 加工性におよぼす Cr の影響

3.2.1 引張強さに対する Cr% の影響

本実験においてはわずかの含有量の変化で各特性値に著しく影響する C 量が Table 1 に示すごとく, それぞれの鋼種で異なっているため, C の効果の寄与がかなり大きいものと思われる。したがって実測値を前報に示した合金元素と引張強さの関係を示す回帰式を用い C=0.10% の水準に補正した場合の各引張強さと Cr 含有量の関係を検討した。その結果, 引張強さは一般に Cr 含有量の増加とともにほぼ直線的に増加しているが, この傾向は, 圧延のままの場合よりも, 焼準材において著しい。すなわち, 0.1% Cr 添加あたり圧延のまま 0.18 kg/mm², 焼準で 0.80 kg/mm² で, これは前報の回帰式で示す Cr の効果にほぼ一致している。

3.2.2 降伏応力に対する Cr% の影響

同じく C=0.10% の水準に修正した降伏応力と Cr% の関係を Fig. 3 に示す。圧延のままの場合, 降伏応力は Cr 含有量の増加に伴いほぼ直線的に変化し, 実験値の範囲でいえば, Cr 0.1% 添加あたり 0.23 kg/mm² 程度の降伏応力の低下を示す, また焼準材の場合でも, 同

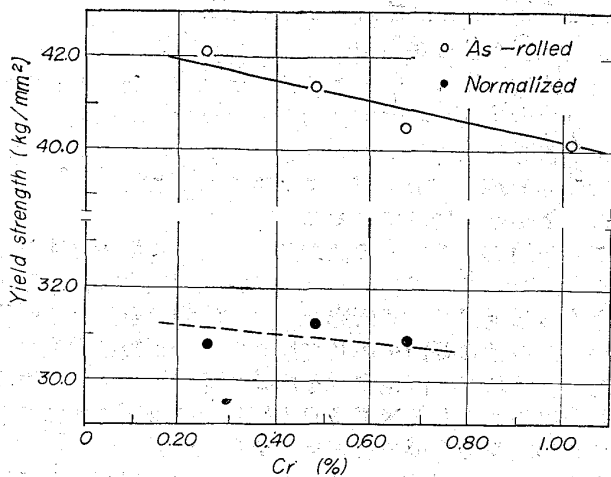


Fig. 3. The effect of Cr on the yield strength.

じく Cr の添加によつて降伏応力は低下するが、Fig. 3 によれば、0.1% Cr 添加あたり 0.1 kg/mm² 程度の降伏応力低下を与えるにすぎない。

3.2.3 伸びに対する Cr% の影響

C 方向伸びと Cr 含有量の関係も同じく C=0.10% の水準に修正し検討した。

焼準材では Cr% の増大に伴い伸びはほぼ直線的に低下しているが、その程度は 0.1% Cr 添加あたり、ほぼ 0.15% で、前報の 0.86% に比較し著しく低い。

圧延のままでは前報の回帰式で示した結果とは異なり、伸びはむしろ Cr の添加によつて向上する傾向 (3.5%/0.1% Cr) が認められるが、この点についてはさらに検討が必要かとも思われる。

3.2.4 加工性に対する Cr% の影響

突き曲げ値におよぼす Cr の影響を Fig. 4 に示す。焼準の場合 Cr% が 0.6% 以上になると急激に曲げ性が劣化する傾向が認められる。また、この 4 個のプロットに対して第 1 報で述べた直線回帰式をあてはめたとみなすと Cr 0.1% 添加あたりの突き曲げ値の低下は、ほぼ 0.11 mm と見積ることができ、これは第 1 報で得た値に近いことが注目される。一方圧延のままの場合には、突き曲げ値は Cr=0.50~0.70% までは Cr 含有量の増加とともに良好となるが、これを過ぎると再び劣化する。しかしこれに直線回帰式を適用すると Cr% と R_L 間に

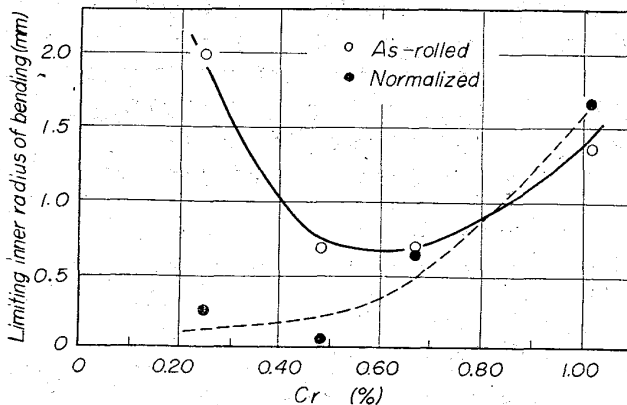


Fig. 4. The effect of Cr on the bending test value.

は負の勾配の直線関係が想定でき、これより Cr 0.1% 添加あたりの突き曲げ値の向上を推定すると、ほぼ 0.14 mm とみなすことができる。第 1 報で得た同種の値と本報の値の一致は必ずしも良好とはいえないが、データの数、直線性を想定する時の誤差などを考えると、その対応性は十分考慮に価するものと思われる。したがって第 1 報で得られた結論は Fig. 4 のごとく Cr=0.5~0.7% で最適値を有する曲線関係に修正するほうが、より本質に近いものと思われる。

同じく孔拡率におよぼす Cr 量の影響について検討した。これによると焼準材の場合では Cr 含有量が增大すると、初期孔径 13φ, 15φ いずれの場合でも孔拡率は急激に低下してゆく。一方圧延のままでは初期孔径 13φ の孔拡率は Cr% の増加に伴い、ほぼ直線的にわずかではあるが向上している。これに対して 15φ の孔拡率に対して Cr% はほとんど影響していないように思われる。

3.2.5 衝撃値におよぼす Cr% の影響

まず焼準材の場合についてみると、0°C, -60°C のいずれの試験温度においても、各試験値には C 量の影響が強く現われているようで、Cr の影響は明らかでない。

圧延のままの場合についてみると、C% の影響も多少認められるが、Cr% の効果も無視できないようで、Cr% の増加とともに衝撃値は向上する傾向がある。この現象は試験温度が 0°C よりも -60°C でより著しい。

3.3 金属組織に対する Cr% の影響

圧延のままでは、いずれの鋼種も単純な粒状フェライト、パーライト組織である。また Cr% にかかわらず、いずれも帯状組織は認められない。これは各鋼種のパラメーター B²⁾ が最大 -0.7 までの範囲にあるからである。

3.4 急冷硬化におよぼす Cr% の影響

3.4.1 一端焼入れ試験

各実験鋼種における試片水冷端よりの距離とその位置の硬度との関係について、たとえば空冷端にほぼ等しくなる水冷端よりの距離の大小の順序は Cr 含有量とは対応していない。むしろ C 含有量の相違が現われているようである。また、C% の比較的高い鋼種は硬化曲線の途中に二次硬化の山が認められるのが特徴である。そしてこの位置は、Cr 含有量の高いほうが水冷端に近い特徴がある。焼入れ試験における金属組織は水冷端に近い部分ではいずれの鋼種ともマルテンサイト、中間段階組織である。中間段階組織は Cr 含有量の最も高い鋼種 A では水冷端より 50 mm の位置でもわずかながら存在しているが、他のものでは 25 mm までにはほとんど認められなくなっている。

3.4.2 溶接部の最高硬さ試験

最高硬さは必ずしも Cr 含有量の大小に対応していない。これはもちろん Cr 以外の C, Mn などの含有量が各鋼種で一定していないので当炭素量の大小が、Cr 含有量の大小に対応していないからである。一般に C_{eq.} (H_{vmax}) と最高硬さの間には、直線的な関係が成立するとされているが、本試験結果では C_{eq.} (H_{vmax}) < 0.30 では最高硬さの C_{eq.} (H_{vmax}) への依存性は少なくなり、全範囲を直線関係で表示できないようであ

る。これは本試験に用いた試片の板厚が薄いために、規定のビード置き条件では冷却速度が著しく遅くなるためと思われる。また、このために最高硬さはいずれも Hv 306 以下であり、このことより考えれば本鋼種のように高 Cr% の場合でも板厚の薄い材料の場合にかぎるならば溶接性に対する Cr の悪影響をある程度許容して、これまで述べた材料の延性値に対する Cr の好ましい影響を利用できるものと思われる。

4. 結 言

0.1% C-1% Cr 鋼に対する Al%, 0.0% C-1% Si-0.02% Al に対する Cr% の影響について調べた。

過剰の Al 投入量はフェライト+パーライト組織の鋼の加工性を低下せしめ、特にこの傾向は Mn/Si の大なるほど著しい。

Cr% の増大により、圧延のままでは引張強さ、伸び、孔拡率、切欠靱性を向上するが、降伏応力は低下する。また曲げ性は 0.50~0.60% Cr で最も良好となる。しかし焼準材では引張強さを除きすべての性質が低下する。

溶接熱影響部の最高硬さは板厚 4.5 mm の材料のように冷却速度の遅い場合には C_{eq} の影響は判然としない。

文 献

- 1) 岩宮, 角谷, 入谷, 丸橋: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 2025
- 2) 岩宮, 角谷, 入谷, 丸橋: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 2028
- 3) 岩宮, 角谷, 入谷, 丸橋, 長谷川: 鉄と鋼, 52 (1966) 4, p. 589

(130) 原子炉压力容器用 Mn-Mo-Ni 鋼 超厚板の性質について

(原子炉压力容器用超厚鋼材の性質について— I)

日本製鋼所, 室蘭製作所

工博 小野寺真作・工博 宮野樺太男
○山田 国雄・千葉 隆一

On the Properties of Heavy-Section Mn-Mo-Ni Steel Plate for Nuclear Pressure Vessel.

(On the properties of heavy-section steel for nuclear pressure vessel— I)

Dr. Sinsaku ONODERA, Dr. Katao MIYANO,
Kunio YAMADA and Ryuichi TIBA.

1. 緒 言

昨秋わが国においても原電 2 号炉に BWR 型の採用が決定されたが、発電出力約 40 万 kW の本炉の压力容器には ASTM-A-302B 改良型鋼の厚さ 200 mm 級の板が必要とされる。他方同出力の PWR 型発電炉では所要の

鋼板厚さは 250 mm に達するようである。

これらの超厚鋼板に要求される性質は、

- 1) 肉厚の 1/4 の深さで規定の材力値、衝撃値を満たし、また溶接時の長時間の応力除去焼鈍後も母材と同等の規格値を満たさねばならない。
- 2) 非破壊検査成績が特に優秀であること。
- 3) 溶接性が優れていること。

でこれを達成するための製造条件は相互に相矛盾するものを含んでいる。当社では昭和 38 年度以来本協会を中心とする照射試験共同研究会、日本溶接協会鋼材溶接委員会、その他の要請に応じて厚さ 250 mm 級の本鋼材を製造してそれぞれ満足すべき成果を得てきたが、原電 2 号炉をはじめとする米国型原子炉建設の機運にあたってこれらの結果の概要をまとめて報告したい。

本報告では板厚 150 mm, 250 mm の ASTM-A-302 B 改良型 (Mn-Mo-Ni 系) 鋼板の機械的性質におよぼす熱処理の影響および応力除去焼鈍による機械的性質、低温靱性の変化について報告する。

2. 供試材および実験方法

供試材は 20 t および 80 t 塩基性電気炉で溶解して板厚 150 mm および 250 mm に圧延後焼準焼戻しまたは焼入焼戻しを行なった材料である。供試材の化学成分は Table 1 に示すごとくである。これらの供試材を使用して熱処理方法による板厚 1/4 部の機械的性質、低温靱性の変化およびそれらにおよぼす応力除去焼鈍の影響について検討した。各試験材は板厚 1/2 または 1/4 で縦方向に採取し、また NRL 落重試験片は ASTM 規格の P 1 試験片を用いた。

応力除去焼鈍においては加熱速度を 100°C/hr, 冷却速度を 50°C/hr の炉冷とし一般の作業条件にあわせた。

3. 実 験 結 果

3.1 熱処理方法と機械的性質

機械的性質におよぼす熱処理方法の影響を Table 2 に示した。焼準、焼入、焼戻温度はそれぞれ 900°C, 880°C, 670°C であり保持時間は in/hr である。焼準焼戻材、焼入焼戻材ともに強度的には ASTM 規格を満足するが焼準焼戻材では 1/4 t の切欠靱性が低く特に 250 mm では衝撃値規格 (-12°C 5.2 kg-m/cm² 以上) を下廻っている。これを冷却速度から考えると板厚が増大するにしたがつて質量効果の関係から一般の焼準処理では冷却速度は薄板に比較して非常におそく、板厚内部では徐冷の形となり細粒組織が得られず切欠靱性は低下する。この場合焼入 (焼準) 時の冷却速度の鋼材の切欠靱性におよぼす影響は大きく、本鋼材では冷却速度が 20°C/min (900°C~500°C) 以上であると衝撃値規格を満足するがそれ以下では割る公算が大きい。

当所で焼入方法と板厚各部の冷却速度を測定した結果

Table 1. Chemical composition of tested steel (%).

| Code | Thickness (mm) | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mr |
|-------------|----------------|-------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|-----------|
| ASTM-A-302B | — | <0.25 | 0.13/0.32 | 1.10/1.55 | ≤0.035 | ≤0.040 | — | — | 0.41/0.65 |
| A, B | 150 | 0.17 | 0.25 | 1.30 | 0.018 | 0.009 | 0.70 | 0.15 | 0.54 |
| C, C | 250 | 0.17 | 0.25 | 1.30 | 0.018 | 0.009 | 0.70 | 0.15 | 0.54 |
| E | 250 | 0.20 | 0.26 | 1.29 | 0.012 | 0.009 | 0.69 | 0.08 | 0.50 |