

絞りの靱性は、板厚中心では圧延比に比例して向上する。表面部では圧延比 4 にてすでに相当のレベルにあり、圧延方向は以後ゆるやかに、直角方向は圧延比 8 にて急上昇してから圧延比 20 に到つてまた圧延比 8 未満のレベルまで減少を示す。Fig. 3 の全厚試験片の挙動は Fig. 4 の板厚中心部と相似しており、板厚全体としての靱性は、圧延比とともに向上し、圧延比 12 になればトップ、ボトムの差や、方向差も少なくなり、圧延比 20 に到つて板厚内外の差も消失する。したがって、伸び、絞りの靱性からは圧延比 12 以上をとることが望ましい。

4. V ノッチ・シャルピー衝撃試験

Fig. 5 に示すごとく、結果はバラツキが多いが、エネルギー遷移温度 (Tr_E)、破面遷移温度 (Tr_s) はともに圧延比とともに低下を、 0°C 値 ($\bar{E}_0$) は向上を示し、圧延加工によつて材質が改善せられることを示している。この場合圧延比 12 までが改善効果が大い。ところが 15 ft-lb 遷移温度 (Tr_{15}) は、とくに板厚方向試片にては、圧延比 12 で最低を示し、圧延比がそれから不足、過剰のいずれにずれても材質が低下することを示している。この傾向はトップよりもボトムにいちじるしい。以上から、切欠靱性として、亀裂発生特性からは最適圧延比 (12) が存在し、亀裂伝播特性からは、圧延比が大なるほど良い。また圧延比 8 以下では切欠靱性に難が

あると言える。

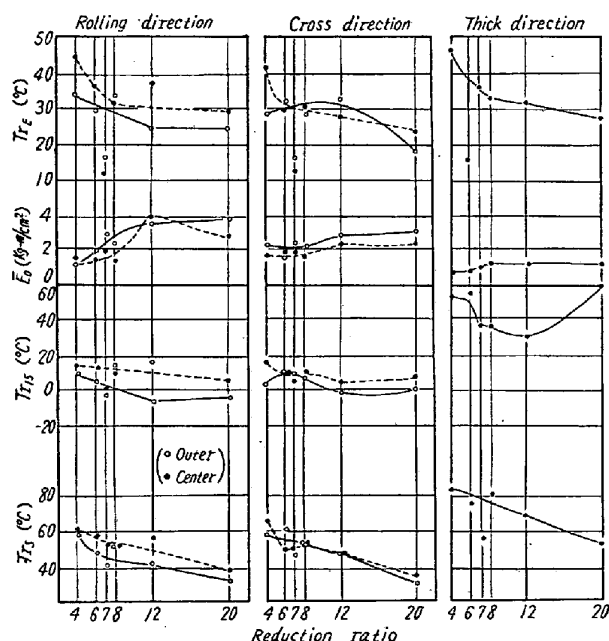
IV. 結 言

キルド鋼板の圧延比と材質について調査した結果、つぎのことが明らかとなつた。

1. 圧延方向の材質は、圧延比 12 までは急速に、以後ゆるやかに向上する。この傾向は靱性にはよく現われるが、強度にはあまり現われない。
2. 直角方向の材質は、圧延比 8 を境として急激に向上し以後飽和ないしやや下降を示す。
3. 板厚方向の材質は、圧延比 8 を境として強度が飛躍的に向上し、伸び、絞りおよび切欠靱性は圧延比 8 ないし 12 までは向上するが、のち圧延比 20 まで圧延とともにかえつて下降する傾向がある。
4. したがって、板厚方向まで含めて考えれば、圧延比 8 以上が成品に対する必要条件で、圧延比 12 が最良条件と言える。

文 献

- 1) W. COUPETTE: Stahl u. Eisen, 61 (1941), S. 1013, 1036.
- 2) 伊丹: 鉄と鋼 22 (1936), No. 8 付録 p. 7
- 3) G. CHARPY: Engineering, (1918), Sept. 20
- 4) 斎藤: 鉄と鋼, 10 (1942), p. 542
- 5) 小平: 八幡製鉄研究所研究報告, Vol. XVI, No. 1
- 6) 村山, 木村: 製鉄研究 No. 224 (1958), p. 118
- 7) JIS G3103
- 8) JIS Z2202



(○ Outer, ● Center)

Tr_E : Transition temp. based on energy.

$\bar{E}_0$: Charpy impact value at 0°C .

Tr_{15} : Transition temp. based on 15ft-lb.

Tr_s : Transition temp. based on 50% shear fracture.

Reduction ratio = (Ingot thick.) / (Plate thick.)

Fig. 5. Results of V-notch Charpy test.

(102) セミキルド厚鋼板の冷間加工性について

八幡製鉄所技術研究所

大竹 正・○榎藤 永

福田 義家・有馬 朝夫

On the Cold Workability of Semikilled Steel Plates.

Tadashi Ohtake, Hisashi Gondoh,

Yoshiie Fukuda and Asao Arima.

I. 結 言

近年溶接技術の普及とともに、厚鋼板は次第にリムド鋼より溶接性の良好なセミキルド鋼へ切換えられつつあり、当所においても従来リムドであつた品種のほとんどがセミキルドで生産されている現状にある。セミキルド鋼はリムド鋼より偏析が少なく均質な利点があるが、軟質のリム部がないために冷間曲げ加工性はかなり劣つて

いるのみならず、キルド鋼よりもさらに劣る場合があり、セミキルド鋼に特有のなんらかの欠陥のあることが予想された。加工割れ発生状況と製造条件との関係については、従来つぎの結果が得られている。

1) 圧延温度、冷却速度、焼鈍などとはほとんど無関係である。

2) スキンホールが表面疵として残り、割れの原因となる可能性が考えられるので、スカーフィングにより、スラブ表面を十分取り除いたが完全には防止できない。

3) チャージ間の差がいちじるしい。

4) 圧延方向を軸として曲げる場合に割れが多い。

以上のようにセミキルド鋼板の曲げ割れは早急に解決すべき問題であるにもかかわらず、その成因についての確なデータがなく、防止法も暗中模索の状態にある。

本報告は上記の点を明らかにし、防止法を確立する目的で行なったものである。

II. 実験方法

Table 1 に示す成分のリムド、セミキルド、キルド鋼

板各 5 チャージの T, M, B より試料を採取し、JIS 5 号引張試験片 (L, C 方向各 2 本)、JIS 1 号曲げ試験片 (C 方向各 6 本) を切り出した。

曲げ試験片は 2 本宛 mill scale まま、mill scale のみ研磨除去および表面 1mm 削除後研磨仕上げし、研磨面を外側にして、内側曲げ直径を板厚と等しくとつて、180° 曲げ試験を行なった。発生した割れを A (無疵)、B (微少疵)、C (中疵)、D (大疵) の 4 段階に分けて記録し、割れ発生機構を詳細に観察した。

一方、未加工材につき、硬度分布測定と顕微鏡観察を行ない、介在物清浄度を求めた。

III. 実験結果

1) 曲げ試験結果

曲げ試験の割れ程度 A, B, C, D に、それぞれ 1, 2, 4, 8 点の点数をつけて定量化し、各鋼種の平均点を Table 2 に示した。

この表の分散分析結果はいづれの場合も有意差は認められないがセミキルド鋼の場合のみは、mill scale ま

Table 1. Chemical composition of samples.

Deoxidation	Mark	Plate thickness (mm)	Chemical composition (%)				
			C	Si	Mn	P	S
Rimmed steel	R 1	12	•17	•01	•44	•023	•027
	R 2	16	•15	•01	•32	•030	•026
	R 3	12	•09	•01	•35	•013	•022
	R 4	12	•12	•01	•45	•016	•031
	R 5	12	•13	•01	•43	•017	•029
Semikilled steel	S 1	17	•13	•08	•80	•018	•026
	S 2	13	•16	•09	•73	•018	•020
	S 3	16	•12	•04	•54	•009	•022
	S 4	17	•14	•09	•60	•014	•028
	S 5	15	•16	•10	•89	•014	•018
Killed steel	K 1	10	•13	•23	0•59	•018	•010
	K 2	16	•13	•20	0•59	•020	•025
	K 3	14	•10	•26	0•60	•010	•008
	K 4	14	•10	•22	0•58	•014	•011
	K 5	14	•10	•23	0•62	•010	•009

Table 2. Bend test result*

Position	T			M			B			Total average
	With mill scale	Without mill scale**	Polished after 1mm machining	With mill scale	Without mill scale**	Polished after 1mm machining	With mill scale	Without mill scale**	Polished after 1mm machining	
Rimmed steel	1•2	1•0	1•0	2•0	1•0	1•0	1•2	1•0	2•4	1•3
Semikilled steel	3•6	3•4	1•6	4•0	2•2	1•6	2•8	2•4	2•2	2•6
Killed steel	1•4	2•2	2•4	1•2	1•0	1•6	2•2	1•0	1•2	1•6

* 4 grades of bend cracks are quantified such as no crack : 1, small crack : 2, medium crack : 4, big crack : 8, and average of equally deoxidized 5 heats are shown.

** Surface is removed 0.1~0.3mm during polishing.

ま, mill scale 除去と, 1mm 切削研磨仕上との間に 5% レベルで有意差が認められ, 全体の平均ではリムド, キルド, セミキルドの順に悪くなっている. すなわち曲げ加工性は, セミキルド鋼が最も劣り, その原因は mill scale を除いた板面から 1mm 以内にあることがわかった.

2) 硬度分布

mill scale ままの表面から 0.5, 1.0, 2.0mm の位置の断面のビッカース硬度各 2 点を測定し, その平均値を求めたところ, リムド鋼では 0.5mm の位置が 2.0mm の内層より平均 7 だけ軟いの, セミキルド鋼, キルド鋼はそれぞれ 8 および 6 だけ外層の方が硬かった. その理由は不明であるが, 曲げ割れとの対応は明瞭でなく, また 625°C 1h の焼鈍で等しくなること, および割れが熱処理に無関係であることなどから, 割れの原因とはいえないようである.

3) サルファープリント

曲げ試験片の断面のサルファープリントをとつたところ, セミキルド鋼の表面近くに硫化部のスポットが認められ, 割れと密接な関係のあることがわかったが, これが少ないものでも割れることがあるのでサルファープリントのみとの対応はつけ難い場合がある.

4) 検鏡結果

圧延面から一視野 (0~0.8mm) と, つぎの一視野 (0.8~1.6mm) の深さでの介在物清浄度判定 (旧学振法) を行なつたところ, 表面部 (0~0.8mm) では Fig. 1 のようにセミキルド鋼に A 系統介在物が多く, 曲げ割れと関連していたが, B, C 系統介在物は差がなく, また内部 (0.8~1.6mm) ではリムド鋼の清浄度も最も悪かった. すなわち, セミキルド鋼の割れの主原因は表面直下の A 系統介在物にあるといえるようである.

5) 割れ発生機構観察

曲げ割れを生じた試片について詳細に顕微鏡観察を行なつた結果, Fig. 2, 3, 4 に示す段階を認めた. すなわち, Fig. 2 のように表面の直下 (約 0.3mm) に A 系

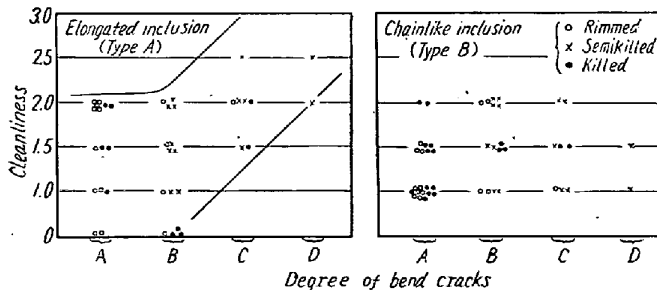


Fig. 1. Relation between the bend crack and cleanliness of the sub-surface layer.

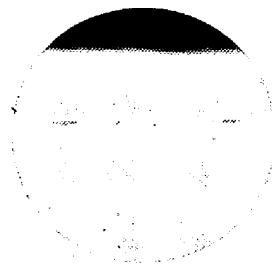


Fig. 2. Sub-surface inclusions of a semi-killed steel plate before bending. $\times 80(2/5)$



Fig. 3. The first stage crack during bending. $\times 80(2/5)$

続介在物があつて, 曲げ加工の際に引張応力をうけると, Fig. 3 のようにまず表面から介在物までが割れを生じ, 介在物の周辺も変形する. さらに曲げ過程が進むと介在物に接した母材の一部から新たな割れを生じ内部へ進行する. Fig. 4 はこれを示し, 表面近くに割れの原因となつた介在物が認められる.

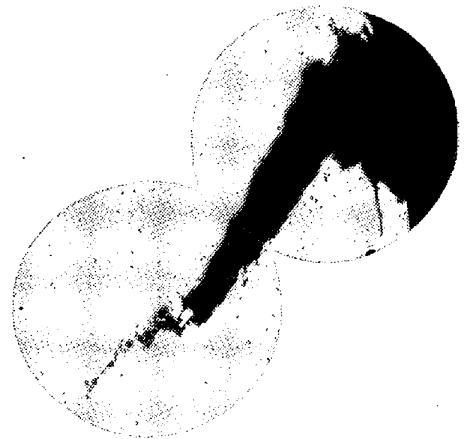


Fig. 4. The second stage cracking that follows cracks Fig. 2. $\times 40(2/5)$

IV. 考 察

表面直下に A 系統介在物があると, その外側の部分は曲げ加工時に大きな応力がはたらくものと思われるのでこれを確かめるため簡単な応力計算を行ない, つぎの式を得た.

$$\sigma = \frac{6M}{t^2} \left\{ \frac{1}{d} + \frac{1}{t^3} \left(1 + \frac{12M}{Et^2} \right) d - \frac{1}{t^4} \left(1 + \frac{6M}{Et^2} \right) d^2 - \frac{1}{t^5} \left(5 - \frac{48M}{Et^2} \right) d^3 + \frac{1}{t} \left(2 + \frac{1}{t} + \frac{6M}{Et^3} \right) \right\}$$

ただし σ : 応力, d : 介在物から板表面までの距離, E : 弾性常数, M : 曲げモーメント, T : 板厚である.

この式より, 健全部の最外側応力を σ_0 とすると $\sigma \approx \frac{\sigma_0}{d}$ となり d が小さいほど, σ は大きくなることがわかる.

V. 結 言

セミキルド鋼板の曲げ加工時の割れは, 主としてこの鋼種に特有の表面直下の A 系統介在物によるものであることを確かめた.