第 6 会 場 (加 工)

(99) 冷延鋼板の非金属介在物が絞り成形性におよぼす影響について

大同鋼板

○山東 民雄・宮脇 勇夫

大阪大学工学部

岩本 信也・工博 足立 彰

The Effect of Nonmetallic Inclusions on the Drawability of Various Cold Rolled Steels Sheet.

Tamio SANTO, Isao MIYAWAKI,
Nobuya IWAMOTO and Dr. Akira ADACHI.

I. 緒 言

本報告は冷延鋼板の絞り成形性とは、非金属介在物の性状との間の関連性を追求したものである。

絞り成形性については、1) ランクホード試験、2) コニカルカップ試験、引張試験、穴広げ試験を行ない、非金属介在物については、その種類、形状、量などを調査した。この両者の相関性を考察したので、ここにその一部を報告する。

II. 供試材料および実験方法

実験に使用した材料は、国内数社のものより採取し、鋼種はいずれも SPC-1 である。供試材料の記号、ゲージ、サイズ、結晶粒度、化学成分は Table 1 の通りである。

試験材中で No.5, No.6, No.7, No.8 は同一メーカー品からの試片で、他は市販品である。鋼塊の上部から製造された鋼板と、底部から製造された鋼板を比較するため、トップ材、ボトム材を採取したが、トップ材には T、ボトム材には B の記号を付してある。ただし No.1, No.2, No.3, No.4 材については T, B の区別は不明である。

Table 1 の材料を試験した結果、鋼板の清浄度と機械的性質の間には相関が認められたので、T 材、B 材の区別なしに、ホットコイル 1 本(鋼塊の半分)ごとに 1 試料の割合で、総計試料を採取して、清浄度と絞り成形性と

の間の相関性についてのみさらに詳しく調査した。主たる試験項目は下記の通りで、これら測定結果について考察を行なった。

- (1) 鋼板の清浄度の測定
- (2) 電解抽出残渣の組成分析, X線回折, 顕微鏡による観察
- (3) 金属顕微鏡による観察
- (4) 鋼板の絞り成形性試験 (ランクホード試験, コニカルカップ試験, 引張試験, 穴広げ試験)

これは次のようにして行なった。

(イ) ランクホード試験

No.1~No.8 材については、鋼板の圧延方向、およびそれと直角方向に、巾の両サイドおよび中央部で各 5 枚ずつ計 30 枚ずつ試片を採取し、JIS 5 号引張試験片に加工して、最大荷重点まで引張った場合の R 値を計算した。

ただし $R = (\log W_0/W_1) / (\log t_0/t_1)$

t_0 = 引張前の板厚 (mm)

t_1 = 引張後の板厚 (mm)

W_0 = 引張前の試片巾 (mm)

W_1 = 引張後の試片巾 (mm)

(ロ) コニカルカップ試験

No.1~No.8 材については、鋼板の巾方向 3 カ所、各カ所につき 5 点計 15 枚試片を採取して下記の直径に打抜いたブランクについて、破断したときの最大直径と最小直径の平均値で表示した。

板厚 ブランク直径

1.6mm = 80mm φ

1.2mm = 60mm φ

1.0mm = 50mm φ

0.8mm = 35mm φ

(ハ) 引張試験

鋼板の圧延方向、およびそれと直角方向に巾の両サイド、中央部で各 3 枚ずつ計 9 枚試片を採取して、JIS 5 号引張試験片に加工して、JIS 法にしたがい、降伏応力降伏伸び、引張り強さ、伸率について測定をした。

Table 1. Chemical analysis and grain size of various specimens.

Specimen No.	Size (mm)	Grain size	Chemical composition (%)				
			C	Si	Mn	P	S
1	1.6×914	8.4	0.043	<0.005	0.327	0.025	0.024
2	"	8.7	0.039	"	0.245	0.013	0.028
3	"	8.2	0.049	"	0.325	0.013	0.033
4	"	9.0	0.061	"	0.294	0.013	0.027
5 T	"	8.6	0.021	"	0.285	0.016	0.016
5 B	"	8.3	0.028	"	0.240	0.009	0.017
6 T	1.2×914	8.9	0.070	"	0.373	0.015	0.026
6 B	"	7.5	0.060	"	0.347	0.012	0.019
7 T	1.0×914	8.6	0.044	"	0.370	0.021	0.030
7 B	"	8.1	0.041	"	0.351	0.015	0.019
8 T	0.8×914	9.4	0.065	"	0.367	0.022	0.023
8 B	"	9.1	0.035	"	0.312	0.014	0.014

ランクホード試験, および引張試験を通じて, バラツキは巾方向は大きく, 圧延方向は小さかった。以後圧延方向についてのみ述べる。

III. 実験結果および考察

(1) 鋼板の清浄度の測定

冷延鋼板の圧延方向 2~3 m 以内では, 非金属介在物の分布状態や, その性状に大きな変動はないと考えられるので, 後述する絞り成形性試験の試験片採取位置に對するよう, 板巾方向に 3 点 (エッジから 130mm と中部) につき, 各 1 カ所ずつ測定を行つた。測定方法は振法第 3 法の清浄度測定法にもとづき, 鋼板断面を圧延方向に検鏡した。

測定の結果, 試験材の厚みおよび種類による差異は認められなかったが, 同一ゲージの T 材と B 材では, T 材の方が B 材よりも介在物量が多いということが認められた。同一鋼板の巾方向の差異については, 特定の傾向はなかった。

(2) 非金属介在物の電解抽出およびその分析

電解抽出用試片は, 板巾中央部より採取した 25mm×50mm の試片 5~6 枚を一定間隔をあけて重ね合わせ Klinger-Koch 型電解槽で 5% クエン酸ソーダ, 1.2% フロムカリ水溶液で, 450mA の電流で 48hr 行なつた。鋼板の清浄度と (電解抽出残渣量)/(試片溶解量)×100% とを比較すると, 両者は比例関係にあつた。

電解抽出残渣の組成について化学分析を行なつた。その結果は Table 2 に示されている。また抽出残渣について, デバイー・シエラー法により X 線回折を行なつた。その結果セメントライトが認められた。他の成分については解析中であるが電解抽出残渣は, 全試片を通じて特異なものではなく, 傾向も類似しており, T 材, B 材についての差異も, はつきりとはわからなかった。Table 1 に鉄の結晶粒度が記してあるが, T 材のほうが B 材よりも結晶粒は小さく, この点も絞り性に与えた影響が大きかったと考えられる。

(3) 絞り成形性

No. 1~No. 5 材のランクホード (R) 値—清浄度, およびコニカルカップ値—清浄度の関係が Fig. 1 の同一グラフにプロットされている。Fig. 1 をみると化学成

Table 2. Estimated compositions of non-metallic inclusions from the chemical analysis.

Sample No.	Composition (%)			
	(Mn,Fe) S	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Carbide (Mn,Fe) C
1	4.62	17.03	10.01	68.29
2	4.91	8.33	15.02	71.74
3	6.06	12.34	10.35	71.25
4	6.64	14.96	2.27	76.83
5 T	6.93	14.77	17.92	60.38
5 B	8.23	13.85		
6 T	3.61	15.30	23.66	57.43
6 B	2.74	12.50	0	84.76
7 T	3.61	13.22	3.34	79.83
7 B	5.34	19.04	13.05	62.57
8 T	3.32	14.17	4.28	78.23
8 B	5.78	16.23	17.97	60.02

Fig. 1. The effect of the cleanliness of steels from market on the mechanical properties, like conical cup value and Lankford (R) value.

分, 介在物の性状, また製造条件などが, かなり異なる市販されたままの状態の鋼板全体を通じて, 絞り成形性と清浄度との間に, かなりの相関性があることがわかつたので, さらにこの点を詳しく確認するために, 前述のごとく No. 5 と同一種類の材料であるところの 1.6mm×914mm 材で試験片を 30 枚採取して, ランクホード試験と, コニカルカップ試験を行なつた。

この場合板巾中央部から清浄度測定用試片 2 枚, ランクホード試片を圧延方向, 直角方向に各 2 枚, コニカルカップ試片を 2 枚ずつ採取し, おのおのその平均値をだした。この結果を清浄度と対応してプロットしたのが, Fig. 2, および Fig. 3 である。ランクホード (R) 値は, 圧延方向ではバラツキが小さいが, 直角方向ではバラツキが大きい。

Fig. 3 でコニカルカップ値が, 上下の二群にわかれているのは, ホットコイル製造条件の差が現われているのである。これらの試験材は, 同一メーカーのものであるので, 材質および製造工程も, 大体同一とみなせるが, 必ずしも全体を通じて一定していない鋼板から得られた結果において, このようにランクホード (R) 値およびコニカルカップ値と, 清浄度との間に直線的な相関関係が存在することは, 非金属介在物の量が鋼板の絞り成形性に非常に影響をおよぼすということが考えられる。Fig. 2 および Fig. 3 の場合の相関係数, および回帰直線方程式は下記のとおりでである。

ランクホード R 値—清浄度 (%)

相 関 係 数 $r=0.75$

回 帰 直 線 式 $y=-0.667x+1.358$

ただし $y=R$ 値, $x=$ 清浄度 (%)

コニカルカップ値—清浄度 (%)

Fig. 2. Relation between the cleanliness and Lankford (R) value of steels produced under the same manufacturing condition.

Fig. 3. Comparison between cleanliness of steels and conical cup value.

相関係数 $r=0.89$
 回帰直線式 $y=4.703x+61.032$
 ただし y =コンカルカップ値,
 x =清浄度 (%)

この結果、冷延鋼板の清浄度はコンカルカップ値と、強い相関性を有しており、次いでランクホード (R) 値がかなり強い相関性を有しているが、引張試験値とは相関性がほとんどなかった。コンカルカップ値が、ランクホード (R) 値よりも、清浄度に強い相関性を有している原因は、コンカルカップ試験が、破断時の値を測定して

おり、ランクホード (R) 値は最大荷重点であるので、非金属介在物の加工変形時におよぼす影響が、コンカルカップ試験時に大きく現われたのではないかと考えられる。

本調査の結果では、非金属介在物の量が、絞り成形性に大きく影響をおよぼすことがわかったが、他に非金属介在物の種類、形状も大きく影響をおよぼすと思われるので、さらに詳細な研究が必要であろう。

IV. 結 言

以上の結果を総合して、下記のように結言する。

(1) 冷延鋼板中の非金属介在物は、鋼板の絞り成形性に大きな影響をおよぼし、鋼板の清浄度とコンカルカップ値は、強い相関性を有している。

これに次いで、ランクホード (R) 値が、かなり強い相関性を有している。

(2) トップ材とボトム材を比較すると、清浄度および絞り成形性ともボトム材のほうが良かった。

(3) 引張り試験の諸試験値と、清浄度との相関性はほとんどなかった。

(4) X線回析結果にしたがえば、国内市販の冷延鋼板の非金属介在物の組成は、類似していると考えられるが、介在物の同定に関しては、なお検討の余地がある。

文 献

- 1) LANKFORD, et alii: Trans. Amer. Soc. Metals, 42 (1951), p. 1197
- 2) コンカルカップ研究会: コンカルカップ研究会総合報告書 (1961)

(100) 冷延鋼板の深絞り性におよぼす結晶粒の形状効果および集合組織の影響

(冷延鋼板の深絞り性についての研究—I)

川崎製鉄、千葉製鉄所千葉研究部

神崎文暁・中里嘉夫・○伊藤 庸

Influence of the Crystallographic Orientation and Grain Shape upon the Deep-Drawability of the Cold-Rolled Steel Sheets.

(Studies on the deep-drawability of the cold-rolled steel sheets—I)

Fumiaki KANZAKI, Yoshio NAKAZATO and Yō Ito.

I. 結 言

冷延薄鋼板の深絞り性については LANKFORD¹⁾の研究をはじめとして理論解析の分野からも n 値²⁾, R 値³⁾ の二つの要因が関与することがすでに明らかになっている。しかしわれわれの調査結果によればプレス用として製造されている現今の薄鋼板については、 n 値は本質的にそれほど大差がないため、深絞り性は R 値の大小によつて左右されるところが大きいようである。本報はこの R 値について集合組織、結晶粒の形状効果の二面から解析を行ない、さらにこれの plane anisotropy についても

Table 1. Grain shape, R-value and drawing properties of various cold rolled steel sheets.

Grade		Grain shape	Strain ratio R				C.C.V.	L.D.R. (by C.C.T)
			R_L	R_C	R_{45°	$\bar{R}^*$		
Commercial quality rimmed steel	A	Equi-axed	1.13	1.35	0.88	1.06	33.03	2.19
	B	Equi-axed	1.22	1.40	0.91	1.11	37.81	2.21
Drawing quality Al-killed steel	A	Elongated	1.63	2.03	1.43	1.64	36.34	2.40
	B	Elongated	1.64	1.37	1.50	1.53	37.03	2.34
Al-killed steel		Non-Elongated	1.09	1.25	1.07	1.12	33.03	2.16
Rimmed steel, de-C and de-N by open coil annealing process	A	Equi-axed	1.32	1.69	1.11	1.31	37.11	2.30
	B	Equi-axed	1.39	1.67	1.21	1.42	36.94	2.32
Cu-added rimmed steel, de-C and de-N by O.C.A. process		Elongated	1.26	1.60	1.21	1.32	37.14	2.30
Drawing quality special treated rimmed steel, de-C de-N by O.C.A. process	A	Equi-axed	1.68	2.15	1.57	1.74	35.51	2.46
	B	Equi-axed	1.66	2.20	1.62	1.73	drawn through	2.51

$$\left(\begin{array}{l} * \bar{R} = \frac{R_L + R_C + 2R_{45^\circ}}{4} \end{array} \right)$$

若干の検討を行なったものである。

II. 結晶粒形状と塑性異方性

R 値のごとき normal anisotropy あるいは earing の発生のごとき plane anisotropy の原因としてまず結晶の形状効果を考え、その影響を簡単に検討して見た。sample として等軸晶および展延晶の Al キルド鋼板、Cu を添加し展延晶としたリムド鋼板、鋼種、製造方法の異なる数種の等軸晶リムド鋼板を選び、これらについて結晶粒形状の観察、 R 値、コニカルカップ値、限界絞り比の測定を行なった。Table 1 にその結果を示す。

この data によれば展延晶の Al キルド鋼板は等軸晶より一般用リムド鋼板に比し R 値、深絞り性が優れていること、同じ Al キルド鋼でも展延晶でないものはリムド鋼と同程度特性しかえられないことなどの肯定事実もあるが、一般用リムド鋼板を脱炭せしめると、結晶粒形状は等軸晶で変化しないにもかかわらず R 値、深絞り性が向上すること、これに Cu を添加すると展延晶となるが、この結晶粒の形状変化に対応した R 値の向上といったような現象は見られないこと、等軸晶のリムド鋼で展延晶の Al キルド鋼より優れた R 値、深絞り性を有しているものの製造が可能であることなどの否定事実も示されている。結局これらを総括していえることは、結晶粒の形状は R 値には根本的な影響はおよぼしておらず、塑性異方性の真の原因は結晶粒形状効果以外の因子に求められねばならないことが明らかである。

III. 集合組織と塑性異方性

最近になって BURNS, HEYER⁴⁾などは、冷延鋼板の R 値と結晶の集合組織との関係を理論的にまた実験的に明確ならしめた。そして冷延鋼板において、鉄の体心立方格子の (111) 面が圧延面に平行となつた焼鈍集合組織がえられた場合、もつとも深絞り加工に有利な塑性異方性が

うみだされることを結論している。

われわれは集合組織と R 値の関係を検討するために、 R 値と集合組織ができるだけ異なつた Sample を選び (110), (200), (211), (222), (321), (332), (310), (420) の各面の inverse pole figure value および (111) $\pm 20^\circ$ の積分 inverse pole figure value を X 線解析により求め、さらに 0° , 45° , 90° 方向について R 直を測定し、これから $\bar{R}$ を計算した。

Fig. 1 は (111) inverse pole figure value と $\bar{R}$ の

Fig. 1. (111) inverse pole figure value versus $\bar{R}$ -value.

Fig. 2. (111)±20° integrated pole figure value versus $\bar{R}$ -value.

Fig. 3. Plane anisotropy of $\bar{R}$ -value versus earing.

関係であるが明確な正相関が認められ、回帰直線の寄与率は 70.0% であった。inverse pole figure value は (111) 近傍の集積全体を必ずしも精度よく代表しない場合があるので、極点図法による解析の結果から、大体集積全体が包含される (111)±20° の積分値について $\bar{R}$ との相関をとつてみたのが Fig. 2 であるが、この場合は相関はさらに強度のものとなり寄与率も 89.5% と向上している。さらに求めた全 inverse pole figure value と R 値の重回帰分析を行なつたところ (211), (332), (222), (321), (110) の各面については正の係数が (200), (310) の両面については負の係数がえられ、回帰式の寄

与率は 93.0% と最大となつた。また回帰式の残渣などについて結晶粒形状の効果を check したが有意な影響は見られなかつた。

この結果から、 R 値、すなわち塑性異方性は冷延鋼板のごとき多結晶体においても結晶方位の強い影響を受けこの場合 (111)±30° 近傍の結晶方位は深絞り加工に際して有利に働く塑性異方性をうみだし、(100)±30° 近傍の結晶方位は不利に作用すること、および結晶粒形状の効果は事実上無視できることが結論されよう。

IV. R 値の plane anisotropy と深絞り加工における earing の発生

$\bar{R}$ 値のみを考えた場合は、集合組織における結晶の面のみが問題となりその方向は全然考慮の必要がないが、一般の冷延鋼板における集合組織は、面のみならず方位もやはり一定であるため R 値の plane anisotropy の原因、ひいては深絞り加工時の earing の発生原因となると考えられる。Fig. 3 はコニカルカップテストにおける earing の発生程度を一定の絞り深さで測定し、これと R 値の plane anisotropy、すなわち $\Delta R = R_{\max} - R_{\min} / \bar{R}$ との相関関係を、check したものである。これから明らかなように R 値の plane anisotropy が大であるほど深絞り時の earing の発生も大であることが結論される。Fig. 4 は C.C.V. と earing の大きさとの関係図であるが、これによれば耳の大小は直接深絞り性の優劣とはむすびつかないことが示されている。すなわち R 値のごとき normal anisotropy と耳の発生のごとき plane anisotropy は、いずれも結晶の集合組織に原因している点は同じでありしたが一つ一応は不可分のものではあるが、前者は面、後者は方位の問題であり混同することはできない。

V. 総 括

以上冷延鋼板の深絞り性および earing の発生に影響

Fig. 4. Drawability and earing in various cold rolled sheets.

をおよぼす R 値について検討を行なった結果をまとめると、

1) 冷延鋼板の R 値については結晶の集合組織の影響度が非常に大きく、結晶粒の形状効果はほとんど認められないことを再確認した。

2) (111) 面と圧延面の傾角が大体 30° 程度以内の範囲にあるような結晶粒の集積が大であれば R 値は向上し(100) 面近傍の集積は R 値を低下せしめる。

3) R 値の plane anisotropy が大であれば深絞り加工に際しての earing の発生も大である。この場合発生する earing の大小と深絞り性の優劣は直接的には無関係である。

文 献

- 1) W. T. LANKFORD: Transactions of the A.S.M 42
- 2) 山田嘉昭: 絞り加工技術講習会資料 (1961)
- 3) 岡本豊彦: 薄板のプレス成形性研究会報告 (1963)
- 4) R. S. BURNS & R. H. HEYER: Sheet Metal Industries, 1958 35

(101) 冷延鋼板の集合組織におよぼす圧延、焼鈍条件の影響

(冷延鋼板の深絞り性についての研究—Ⅱ)

川崎製鉄, 千葉製鉄所千葉研究部

神崎文暁・○中里嘉夫・伊藤 庸

Effects of the Rolling and Annealing Conditions on the Crystallographic Orientation of the Cold-Rolled Steel Sheets.

(Studies on the deep-drawability of the cold-rolled steel sheets—Ⅱ)

Fumiaki KANZAKI, Yoshio NAKAZATO and Yō ITO.

I. 緒 言

冷延鋼板の優れた深絞り性は、鋼の集合組織、すなわち結晶の (111) およびその付近の結晶面を圧延面に平行にだすことによつて得られることが裏付けられてきた¹⁾²⁾。

このような深絞り加工性を優れたものとする集合組織は、熱延、冷延およびその後の熱処理によつて大きく影響され、熱延、冷延条件を適切に選択することで焼鈍処理によつて (111) 集合組織を大きく成長させることができるが、脱炭焼鈍を行なった場合には、とくに結晶の特定方位の成長を効果的にすることが可能である。しかしながらこのような結晶粒の成長の結果として、その粗大化が実際上問題となる。

結晶粒の成長を抑制し、しかも優れた深絞り性を与えるためには、製造諸条件の効果について、核発生への効果か、また核成長への効果であるかを分離検討する必要がある。

II. 実 験

SPC-1 級素材 (Table 1) を Table 2 に示す熱延条

Table 1. Chemical analysis of ingot.
(in wt. %)

C	Mn	P	S	Si
0.080	0.32	0.009	0.015	trace
Cu	Ni	Cr	Sn	
0.1	0.04	0.03	0.01	

Table 2. Hot rolling conditions.

Rolling temperature at finishing stand.(°C)	Coiling temperature (°C)
825	700
825	575
825	450
750	575

件で圧延し、得られた 2.3mm のホットコイルを用い、小型冷間圧延機により 60%, 70%, 80% の圧延率で冷間圧延し、脱炭および普通焼鈍し、1) 冷延後、2) 550°C 、3) 650°C 、4) 720°C 、5) 脱炭中期、6) 脱炭終了時、の各時点での集合組織と結晶粒度の変化を求めた。また 0.8mm (70%) に圧延したものについては、C.C.V., $\bar{R}$ 値を求め実験の深絞り性を調べた。なお集合組織は、理学電機製 E F 3 型 X 線回析装置を用い、inverse pole figure 法により各面強度を random sample との強度比として求めた。

III. 結果および考察

1) 熱延および焼鈍条件と深絞り性との関係

熱延最終スタンド温度 (F.D.T.), 巻取り温度の異な

Fig. 1. The relationship between the drawability of the cold-rolled steel sheet and the hot-rolling condition.

る 0.8mm の冷延鋼板について、脱炭焼鈍および普通焼鈍した場合の深絞り特性は Fig. 1 のごとくであった。深絞り特性値としては、C.C.V. 17 型、 $\bar{R}$ 値は JIS 5 号試験片の 15% 引張点における値を測定し、 $\bar{R} = R_L + R_U + 0.845^2/4$ として求めた。これらの結果より明らかなように、

イ) 巻取り温度が低くなると $\bar{R}$ 値は高く、C.C.V. は低く、深絞り性は優れたものになる。とくに脱炭焼鈍を行なった場合これらの傾向は強くなる。

ロ) 熱延温度も深絞り特性に顕著な影響をおよぼし、とくに低温圧延のものは深絞り性を悪くする。この低温圧延試料についての変態点の測定結果、および顕微鏡組織を調べると、明らかに Ar_3 点以下で熱延されており、再結晶が進行し結晶粒は粗大化している。X 線解析によれば、これらの試料の集合組織は他の熱延条件のそれと大きな差は認められないが、(110)、および (310)、(100) が若干増加している。しかしながら焼鈍後では (110)、(100) などの絞り性を阻害する集合組織が急増する。

ハ) 脱炭焼鈍の効果は明らかで、脱炭焼鈍によつて Al キルド鋼に匹敵する深絞り性をあたえることは可能であり、とくに適切な熱延条件の選択によつて、その効果を顕著にすることができる。

2) 製造諸条件の核生成および特定方位成長におよぼす影響

多結晶冷延鋼板の絞り性の検討について、たんに (111) との対応のみを採り上げることは多くの問題があり、他の (100)、(110)、(210) などの絞り性を粗害する結晶面の absence も考慮しなければならないが、ここでは

Fig. 2. The relationship between the grain size and the (111)-orientation of the cold-rolled steel sheet.

深絞り用冷延鋼板の主方位である (111) の動きのみ採り上げ、核生成、および特定方位の成長性におよぼす影響を調べた。実験結果を Fig. 2 に示す。これらの結果を検討すると

イ) 脱炭処理の効果

脱炭焼鈍と普通焼鈍で Fig. 1 において示されているように、深絞り性には格段の差があつたが、同一熱サイクルにおける (111) 集合組織にも大きな差があらわれている。しかしながらこれを同一結晶粒度で比較してみると、両者の間にはほとんど差はない。すなわち脱炭処理自体は結晶粒の成長速度に効いているのであつて、特定方位の選択的成長には影響をおよぼしていないということになる。多量の C の存在は、粒界移動に必要な活性化エネルギーを大きくし、脱炭焼鈍を行なった場合には、このような粒界のエネルギーの山 (Energy barrier) の減少により成長速度を速くしているものと考えられる。

ロ) 冷間圧延の効果

冷間圧延率を変えることで、(111) の選択的成長性には差が表われており、圧延率の高い場合のほうが (111) 成長割合が大きくなっている。また冷延率の増加により再結晶後の結晶粒は微細化し、(111) 集合組織も強くなる傾向がみられる。すなわち冷間圧延率は核の生成、特定方位の選択成長性の両者に影響をおよぼしていると推定される。

またリムドおよび Al キルド鋼板の焼鈍後の深絞り性は、冷延率 50% から 70% に最大値があり、リムド鋼では約 60% が最適とされているが、深絞り性について圧延面に完全に平行な (111) 集合組織のみと結び付けて冷延率との関係をみた場合、実際の絞り性とは一致しなくなる。しかしながらこれらについては (111) が圧延面になし 30°~40° 傾いた範囲内にある方位は大体 R 値が良好で、(100) が 30°~40° 傾いた方位は R 値が劣ることが求められており、(111) 以外の集合組織を含めて深絞り性との関係を求めれば、これらの矛盾はなくなってくる。

ハ) 巻取り温度の影響

巻取り温度を変えることで、同一結晶粒度で比較した場合の (111) intensity には差が現われている。すなわち巻取り温度は特定方位の選択的成長性に効いているといえ、巻取り温度が低いほど効果的である。

ニ) 熱延温度 (F.D.T.) の影響

仕上げ圧延温度は巻取り温度と同様に特定方位の選択的成長性に効いている。この場合仕上げ温度が Ar_3 を切るような低温圧延では、結晶の成長とともに (111) 集合組織は減少する傾向を示し、前述のごとくこの場合の深絞り性はきわめて悪い。

このように熱延諸条件は焼鈍後の冷延鋼板の集合組織に大きな影響をおよぼすが、理論的な説明はまだなされていない。

IV. 結 言

冷延鋼板の深絞り性におよぼす熱延、冷延焼鈍効果にかんし、主として圧延面に平行な (111) の挙動について調査し、熱延温度、巻取り温度は (111) の選択的成長性に影響をおよぼしており、冷延率は核の生成および選択的成長性の両者に影響をおよぼしていることがわかつた。ま

焼鈍時の脱炭はたんに結晶粒の成長速度に影響をおよぼしていることがわかった。

文 献

- 1) R. S. BURNS & R. H. HEYER: Sheet Metal Industries, April (1958), p. 261~275
- 2) D. B. CLAY: J. of Metals, May (1962), p. 378~379
- 3) 本大会同時発表講演論文: Part I

(102) 高速衝撃ねじり試験機の試作

東京工業大学

工博 作井 誠太・工博○中村 正久

A New High Speed Impact Torsion Testing Machine.

Dr. Seita SAKUI and Dr. Tadahisa NAKAMURA.

I. 緒 言

われわれは、さきに大型の回転円板を用いた高速衝撃張試験機によつて、いろいろの変形速度および温度の合せのもとにおいて、変形抵抗と延性の変化を最も単

純な応力、すなわち 1 軸引張応力のもとにおいて調べた 1 連の研究について報告した¹⁾。材料の変形抵抗は加工機械ならびに装置の設計などの点より重要な数値であるが、与えられた加工装置を用い実際に変形加工を行なう場合、最も必要とされる数値は、材料の変形能であろう。すなわち材料を割れることなく変形加工するためには、加工温度および変形速度の組合せによるいろいろの条件のもとにおいて、材料の変形能を知り加工度を決定するとか、あるいは最も能率のよい加工温度や変形速度を決定しなければならない。

加工性があまりよくない材料の変形能は、引張試験において、試験片の破断後の絞りの値から推定が可能である。しかし加工性がよく、変形能が大なる材料は絞りの値がほとんど 100% に近く、引張試験ではその相異を見出すのが困難となる。

変形能の比較法として近年とくに衝撃ねじり試験が注目されているのは周知のとおりである。しかし現在一般に用いられている衝撃ねじり試験機は、熱間加工のみを対象としているため容量も小さく、また変形速度も遅い。われわれは広汎な試験条件に応じることが出来る大容量かつ高速の衝撃ねじり試験機を計画し、製作を完了し、若干の実験結果を得たので、その概要について報告する。

① Main motor of the capacity of 50 H.P. and 3000 rpm., ② Torque converter, ③ Brake, ④ Fly wheel, ⑤ Lubrication pump, ⑥ Crutch, ⑦ Test piece and heating furnace or cooling tube, ⑧ Gear device for giving tensile deformation, ⑨ Torque load cell, ⑩ Load cell for measuring axial stress generated in test piece during its revolution.

Fig. 1. General view of the impact torsion testing machine designed by the authors.

II. 試験機の概要

Fig. 1 に新たに設計、試作した衝撃ねじり試験機の概要を示した。①は主電動機 (50HP 2 極, 最高回転速度 3000 rpm) であり, ②はトルク・コンバータで電動機の動力が無理なく, なるべく大きいトルクで後段のフライホイール装置に伝達されるように設けたものである。④は直径 1000mm, 厚さ 200mm, 重量約 1.2t のフライホイールで, ここに貯えられるエネルギーによつて試験片が切断できるように設計してある。⑥はクラッチ装置である。クラッチは動力側の爪の位置と同期させて, 全ねじり速度にわたつて, 1 動作で, 操作盤の押ボタン・スイッチにより連結できるように設計されているとともに高温の実験の場合などにおいて, 任意のねじり回数のおち同様の遠隔操作により連結をはずしたり, また続いて連結も可能なように計画してある。⑦は試験片の設置部分であり, 抵抗電気炉にて高温の実験を, 液体窒素の冷却槽により低温の実験ができるようになっている。⑨の部分にはロード・セルが組込まれている。また, この装置はクラッチ部から回転を取り出し, ⑧の歯車箱に導いて, 試験片軸のネジ棒を移動することによつて, 試験片にねじりのほかに同時に引張力が与えられるように設計してあり, 複合応力のもとにおける実験もできるようにした。

試験にかかるトルクは⑧の部分に, 試験片に直列に設けたロード・セルを置き, その表面に貼り付けた針金歪計の出力を電磁オシログラフ, またはブラウン管オシログラフ上に記録する。このほか試験片に生じる軸方向引張力もしくは圧縮力は⑩のロード・セルで検出できるようになっている。

この試験機的能力は回転速度によつて異なるが, 1000 rpm の回転速度の場合 100 kg m であり, 回転速度は以上に述べた概要からわかるごとく, 2500 rpm まで無段変速になつており, この間の任意の速度の実験が可能である。標準の試験片としては平行部の直径が 15mm のものを予定して設計した。

III. 実験方法

この実験に用いた試料の化学組成を Table 1 に示した。試料として, 熱間加工領域において $\alpha \cdot \gamma$ の 2 相の混相がかなりの温度範囲に現われ, 加工においてきずが出やすいとされている 13Cr ステンレス鋼および軟鋼を用いた。いずれも焼鈍材である。

ねじり試験は, -196° ないし 1200°C の温度領域について行なつた。いずれの試験温度においても, 所定の温度に 15min 間保持した後実験した。試験片は平行部直径 15mm, 長さ 15mm および 30mm のものを用い, 形状の影響をあらかじめ確かめた。また平行部の長さ 30mm のものに対して, 500rpm および 1500rpm の回転速度を選んだので, 歪速度はそれぞれ 13 および 39/sec で実験した。

	C	Si	Mn	P	S	Cr
13Cr steel	0.14	0.18	0.37	0.023	0.007	12.94
Mild steel	0.15	0.21	0.44	0.013	0.009	—

IV. 実験結果

Fig. 2 は 13Cr 鋼の試験温度対最大剪断強さおよび最大剪断変形量の関係を示す。この鋼の状態図によれば約 800° ないし 900°C および 1100°C ないし 1200°C に α および γ 相の混在状態が生じる。最大剪断変形量 (この実験においては, 上に述べたごとく, 寸法の異なる試験片を用いたので, 捩回値は試験片表面の最大剪断変形に換算して比較した) は 800°C を越えた温度で著しく低下し, さらに温度が上昇すれば, 最大剪断変形量は上昇に転じ, 変形加工が容易となる温度となるが, 1100°C 付近から再び低下している。この最大剪断変形量の低下し始める温度は上に述べた状態図上から 2 相混合領域に入る温度とよく一致する。一方最大剪断強さは常温より試験温度の上昇とともに次第に低下するが, 800°C ないし 900°C においてわずかな上昇がある。このことは $\alpha \rightarrow \gamma$ の変態において一般に認められるところである²⁾。同じ試料の引張試験の結果はすでに報告したが, この実験の最大剪断強さの変化は引張強さの変化とよく一致する。一方最大剪断変形量は, 静的引張試験における伸びおよび絞り変化とは一致するが, 衝撃引張試験のそれは全く異なつていた。さきに報告した衝撃引張試験における歪速度は, この実験に比し約 2 倍であるが, 両衝撃試験における延性を表わしている両数値の挙動の相異は単にこのような歪速度の相異のみから理解ができない。衝撃ねじり試験はこのように最大剪断変形量の変化から,

Fig. 2. Results of impact torsion tests on 13% chromium steel in the temperature range from room temperature to $1,250^{\circ}\text{C}$.

Fig. 3. Results of impact torsion tests on mild steel in the temperature range from liquid nitrogen temperature to $1,100^{\circ}\text{C}$.

熱間加工温度領域の変形能をよく評価できることを示している。

Fig. 3は軟鋼の同様の結果を示した。軟鋼においては低温脆性に対する剪断応力の影響、青熱脆性に対する変形速度の影響、および $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態における挙動などに注目して実験した。

低温脆性は切欠きを有しないねじり試験においても2, 3の報文⁴⁾があり、この実験においても明らかに認められているが、破壊応力の上昇が、さきの著者らの報告の引張試験の結果ほど大きくない。この点については目下薄肉試験片をもつて確認を進めている。青熱脆性は最大剪断強さの変化よりは約 500°C に現われており、この実験の歪速度の変化では出現温度には変化が認められていない。一方最大剪断変形量曲線では 350°C ないし 400°C に現われ、明らかに歪速度の大なる実験では高温に現われており、さきの著者らの報告の引張試験の結果とよく一致した⁵⁾。 $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態に応じた最大剪断強さの変化は、 700°C ないし 800°C の間において、曲線上のわずかな異常として現われたが、最大剪断変形曲線にはほとんど認められなかった。

V. 結 言

新たに設計、製作せる大型衝撃ねじり試験機について、その機構の詳細について報告するとともに2, 3の実験結果を、主として著者らの従来の衝撃引張試験の結果と対照して述べた。

(1) 新たに計画した衝撃ねじり試験機は、熱間加工および脆性破壊のすべての破壊を対象としたため、100

kg-m、回転速度最高2600rpmという大型のものとなつたほか、変形の断続、ならびに引張力を加えた複合応力のもとにおける実験を可能にするなどいろいろの工夫を加えたものである。

(2) 衝撃ねじり試験は引張試験より、熱間加工の変形能をよく評価することができた。すなわち、13Cr鋼の2相混合温度域における変形能の低下などをよく表わした。

(3) 軟鋼の低温脆性における破壊応力は、剪断強さの変化は引張強さの変化ほど著しくなかった。

以上のほか、衝撃引張試験によつた著者らの低温脆性に関する研究結果と比較した実験結果についても報告する。

文 献

- 1) 作井, 中村, 大森, 布村: 鉄と鋼, 47(1961), p. 200; 48(1962), p. 28;
: 49(1963), p. 55, p. 996
- 2) 作井, 佐藤: 鉄と鋼, 46(1960), p. 322
- 3) 作井, 中村, 大森: 鉄と鋼, 48(1962), p. 1441
- 4) 横堀: 日本機械学会誌, 64(1961), p. 1013
美馬, 堀: 日本金属学会講演概要, (51回広島大会)(1962), p. 12
- 5) 作井, 中村, 布村: 鉄と鋼, 48(1962), p. 28

(103) 大型鏡板の爆発成形

日本製鋼所, 室蘭製作所

工博 小野寺 真 作
○小野内 善 一
工博 徳 田 昭

Explosive Forming of Large End Plate.

Dr. Shinsaku ONODERA, Yoshikazu ONOUCHI
and Dr. Akira TOKUDA.

I. 緒 言

熱処理高張力鋼板が各種構造物, 圧力容器などに利用されるようになってきたが, 多くの利点を有するこの種の鋼板も熱間で成形加工を行なうことが困難なため, 鏡板などの成形については加工能力に大きな制約を受け, その用途拡張に一つの障碍となつている。

一方優れた冷間成形法の一つとして, 爆発成形法が最近注目を集め, 幾多の研究結果が国内でも発表され¹⁾, 実用化も進められている。

筆者らは爆発成形法を用いて熱処理高張力鋼板の鏡板の工業的製造法を確立するため実用化試験を行ない, 製作した鏡板の性状を調査した結果, 爆発成形法により実用範囲の鏡板は高張力鋼板を用いて精度のよい製品を製造しうることを, その鏡板の性状が実用上十分満足すべきものであることを確認するとともに, 爆成鏡板を使用した圧力容器の破壊試験を行ない, 鏡板の強度を確認した。本報告でこの調査結果の概要を述べる。

II. 鏡板の爆発成形

鏡板を爆発成形する方法はいろいろあるが, 筆者らは最も一般的と思われる雌型使用の水中爆発成形方式²⁾を