

669.141.241.4-122.2-415: 669.15-194
 : 539.388.24: 548.23

第 7 会 場 (加 工 ・ 鑄 造 ・ 溶 接 ・ 分 析 ・ 熱 処 理 ・ 表 面 処 理 ・ 腐 食)

(165) 極低炭素鋼冷延リムド鋼板の深絞り性、機械的特性におよぼす集合組織の影響

(極低炭素鋼板のプレス加工性に関する研究-I)

川崎製鉄, 千葉研究部 工博 神崎 文 暁
 ○伊藤 庸

Effect of the Crystallographic Orientation on the Deep-Drawability and Mechanical Properties of Extra-Low Carbon Rimmed Steel Sheets.

(Study on the press formability of extra-low carbon steel sheets-I)

Dr. Fumiaki KANZAKI and Yō Itō.

1. 緒 言

近年冷延鋼板の深絞り性におよぼす集合組織の影響について少なからぬ研究がなされており、集合組織とLankford値(R値)、限界絞り比、あるいは深絞りのさいに発生する耳(earing)などについて理論的に、あるいは実験的にこの間の関係が明らかとなつてきている。筆者らは先に冷延鋼板の深絞り性におよぼす結晶粒の形状および集合組織の選択方位の影響、さらにこの集合組織の選択方位におよぼす圧延、焼鈍条件の影響について報告したが、本報においては集合組織の深絞り性、機械的特性におよぼす影響を純粋な形で取り出すという目的で、まったく同一の熱延母板から3種類の異なる方位の集合組織を有する極低炭素冷延鋼板を作成し、試験を行なつた結果について報告する。

2. 試 料

取鍋分析でC: 0.08%, Si: trace, Mn: 0.40%, P: 0.007%, S: 0.012%の一般低炭素リムド鋼のhot coilの鋼塊中央相当部から採取した熱延板が本研究の母材として使用された。この熱延板は3種類の工程を通り板厚0.53mmの冷延板に仕上げられ、最終焼鈍においては同一熱サイクルで残留炭素量が0.005%となるまで脱炭された。

試験片は板巾方向の中心部から採取しリム層の影響を除いた。試験はすべて焼鈍のままの状態で行なつた。化学分析値、異相粒子の分布状態はこれらの試料について試験を行なつた結果、差が認められなかつた。

Table 1. Main component of preferred orientation, grain size and L. D. R. of the steels tested.

Steel	Main component of preferred orientation	Intensity	Grain shape	Grain size in ASTM No.	L. D. R.
LCR-A	(111) [110]	Strong	Equi-axed	5.0	2.475
LCR-B	(110) [001]	Moderate	Equi-axed	4.3	2.125
LCR-C	(100) ± 10° to plane, [011] ± 25° to R. D.	Strong	Equi-axed	4.0	2.025

3. 実 験 結 果

3種類の試料は積分極点ゴニオメーターを有する島津X線回折装置を使用して極点図を作成し、その集合組織の選択方位を決定した。これらの集合組織の主方位と試料のフェライト粒度をTable 1に示す。

引張試験は圧延方向と0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°の角度をなす方向の5方向についてJIS 5号試験片を採取して行なつた。応力-歪曲線はX-Yレコーダーで記録し、一樣伸びを最高荷重の終点において測定した。全伸びは50mm 標点について破断後に測定し、局部伸びは全伸びと一樣伸びの差として計算した。加工硬化係数(n値)はひずみ10%, 20%の応力から計算した。R値は体積一定の条件を用いて15%引張り後の伸びと標点間の平均巾から計算した。下降伏点、抗張力、全伸び、一樣伸び、局部伸び、n値、R値、および試験片の破断角度について試験は2回ないし4回くりかえしたがこれらの値に意味ある差は認められなかつたのでTable 2に平均値として記載した。

ポンチ直径40mmの高速カップテスターによつて限界絞り比を測定した結果をTable 1に示す。この場合の試験条件は平底ポンチ(rp=4.5mm)を使用し、ポンチ速度20m/min、しわ押さえ圧力0.7tで潤滑剤として#120機械油を用いている。また深絞り時の耳の生成傾向を絞り比2.0のカップ比較した結果をFig. 1に示す。

4. 考 察

4.1 深絞り性-R値-n値-集合組織

引張り試験における塑性異方性に関しては(111)[110]

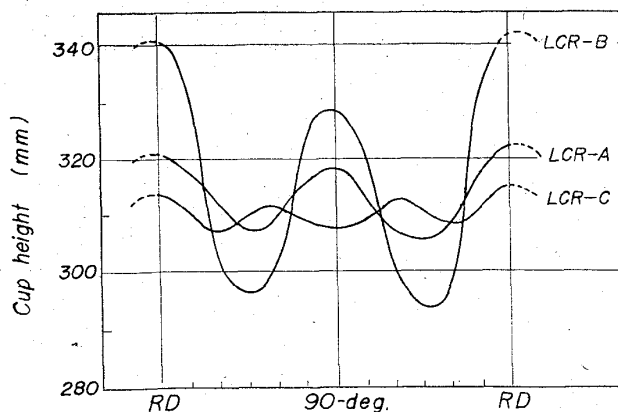


Fig. 1. Earing of drawn cups.

Table 2. Mechanical properties of steels tested.

Properties	Steel	Angle from the rolling direction					\bar{X}	Δ	Test numbers
		0°	22.5°	45°	67.5°	90°			
L. Y. P. (kg/mm ²)	LCR-A	10.7	10.8	11.2	11.2	11.1	11.0	0.5	$n = 4$
	B	10.4	10.7	11.4	11.3	10.9	11.0	1.0	
	C	10.9	10.8	11.1	11.3	12.1	11.2	1.2	
T. S. (kg/mm ²)	LCR-A	24.7	25.7	26.4	25.9	25.6	25.8	1.7	$n = 4$
	B	24.3	24.6	26.1	25.8	24.5	25.2	1.8	
	C	24.7	24.9	25.3	25.6	26.2	25.3	1.5	
T. E. (%)	LCR-A	49.3	48.0	47.8	49.8	53.3	49.2	5.5	$n = 4$
	B	44.0	41.5	33.0	43.5	52.5	41.6	19.5	
	C	44.0	44.5	38.3	44.3	48.0	43.3	9.7	
U. E. (%)	LCR-A	36.5	36.5	35.0	35.5	36.0	35.8	1.5	$n = 2$
	B	37.0	38.0	26.0	33.5	38.0	33.8	12.0	
	C	39.0	39.5	32.5	36.5	36.5	36.6	7.0	
L. E. (%)	LCR-A	13.5	13.5	14.0	15.5	16.5	14.5	3.0	$n = 2$
	B	8.0	5.5	3.5	11.5	19.0	8.5	15.5	
	C	8.5	7.0	5.0	9.5	12.5	8.0	7.5	
L. Y. P./T. S. (%)	LCR-A	43.3	42.0	42.4	43.2	43.4	42.7	1.4	$n = 4$
	B	42.8	43.5	43.7	43.8	44.5	43.7	1.7	
	C	44.1	43.4	43.9	44.1	46.2	44.1	2.3	
n-value	LCR-A	0.312	0.299	0.304	0.299	0.313	0.304	0.014	$n = 2$
	B	0.316	0.319	0.298	0.309	0.292	0.308	0.027	
	C	0.315	0.303	0.323	0.298	0.308	0.309	0.025	
R-ratio	LCR-A	1.86	1.72	1.88	2.18	2.70	2.02	0.98	$n = 2$
	B	1.00	0.62	0.61	1.82	3.18	1.29	2.57	
	C	0.57	0.62	0.58	0.81	1.15	0.72	0.58	
Fracture Angle θ (degree)	LCR-A	57	57	57	57	54	56.6	3	$n = 4$
	B	63	62	65	56	56	60.6	9	
	C	62	63	62	59	58	61.0	5	

集合組織を有する LCR-A 鋼はもつとも高い R 値を示し、平面異方性 ΔR は小さい。この鋼板の深絞り性は在来のものよりも非常に優れており、これは BURNS, HEYER²⁾の結論とまったく一致している。(110)[001]集合組織は 90° 方向では非常に高い R 値を示すが平均値 R はむしろ小さく、特有の大なる平面異方性を有している。LCR-B 鋼のカップ試験結果からは(110)[001]近傍の方位の集合組織は深絞り成形に対して有利には作用しないことが結論される。LCR-C 鋼は (100) ± 10° to plane, [011] ± 25° to R.D. 近傍の集合組織を有し、これは本質的には(100)[011]の cube-on-face 集合組織と類似の効果をもたらすと考えられる。したがってこの試料は非常に R 値が低く深絞り性が劣っている。山田³⁾によれば深絞り性の基本要因としては n 値と R 値が重要であることが明らかになっている。しかしこれらの 3 種類の試料における n 値あるいは降伏比の差はわずかでありこれから半定量的に深絞り性への効果を推定しても本実験においては一応 n 値からの影響は無視してよいほど小さいと考えられる。

4.2 耳- ΔR -集合組織

プレス加工における耳の問題は R 値の平面異方性 ΔR

や磁気トルク曲線などに関連してかなり検討されてきている。本試験においても深絞りカップの耳の大きさは一応 ΔR の大小と関係があり、(110)[001]集合組織の LCR-B 鋼はもつとも大きい耳が生じた。しかしこの場合 Table 2 と Fig. 1 を比較して明らかなように、詳細には耳の最高部と R_{max} の方向は一致していないし、さらに LCR-C 鋼は 60° 間隔に非常に小さい耳を生じこれも R 値の平面異方性とはあまりよい対応は示さない。したがってプレス加工時の耳の発生は本質的には鋼板の集合組織に起因することは確定的といえても、これをただちに一軸応力下の R 値の異方性と単純かつ直接的に結びつけることは若干の飛躍が感じられる。

4.3 引張り試験値-R 値-集合組織

本試験における 3 種類の試料は同一化学成分で結晶粒度も大体同程度であるために、降伏点と抗張力は平均値的にはほとんど等しい。しかし引張特性の平面方向性は Table 2 に示すように非常に顕著である。一般的にいつて 45° 方向の試験片は降伏点、抗張力が高く、伸びが劣る傾向があるが cube-on-corner 集合組織の LCR-A 鋼はこの方向の延性の減少はもつとも少ない。極端に悪い傾向を示すのは cube-on-edge 集合組織の LCR-B 鋼

である。LCR-C鋼は例外的に90°方向においてもつとも高い降伏点、抗張力を示し最少延性の45°方向との不一致が認められる。

延性の方向性は他の強度特性、すなわち降伏点、抗張力、降伏比、および n -値などに比して大きいようである。Table 2において全伸びとR値の間には明瞭な正相関が存在する。しかし一様伸びについてはこのような相関関係は存在せず、またLCR-B、LCR-C鋼の45°方向は著しく他の試験片とはずれた傾向を示す。結局全伸びとR値の間の正相関は局部伸びがR値に依存するからであり、この理由として引張試験片の寸法形状効果と材料の異方性の交互作用が考えられる。すなわちR値の高い試験片は一様伸びをすぎてもなお巾方向に収縮しやすく、R値の低い材料は板厚方向にneckingを起こしやすいと考えれば前者の場合のほうが寸法効果的に局部伸びが大なることは容易に推論することができよう。

(110) [001] 集合組織のLCR-B鋼と、(100) $\pm 10^\circ$ to plane, [011] $\pm 25^\circ$ to R.D. 近傍の集合組織を有するLCR-C鋼における45°方向の一様伸びの異常減少については明確な説明をつけることはできなかった。かりにそれがPやSの偏析、あるいは介在物分布の方向性に起因しているものであれば、LCR-A鋼についても同様な現象が認められなければならないはずである。この現象をも含めてあらゆる機械的特性と集合組織の関係を検討するにあたっては、一つには塑性変形にさいしてのmechanical fibreと集合組織の交互作用、一つには強い集合組織を有する材料におけるすべり方向と最大剪断応力の方向の差角の問題といった観点からの説明が今後必要であろうと考えられる。

5. 結 言

(111)[110]: cube-on-corner, (110)[001]: cube-on-edge, および(100) [011] 集合組織の[011]軸が圧延方向に対して左右25°振れ、(100)面が圧延面に対して約10°傾いたcube-on-face類似の集合組織という3種類の試料を同一の母材より製作し、化学成分、異相粒子、内部歪の状態はまったく同じで結晶粒度も大体同程度という条件のもとに深絞り試験、引張り試験を行なった結果次のことが明らかとなった。

(1) 集合組織は深絞り性を左右する非常に大きな要因の一つである。

(2) プレス加工時の耳生成にかんしては集合組織がその基本的な要因であるが、一軸引張り試験における ΔR との対応関係についてはさらに詳細な検討を必要とする。

(3) 深絞り性のみならず機械的特性も、特に伸びなどが集合組織の影響を強く受けることが明らかとなった。この場合寸法形状効果および異相欠陥との交互作用は常に重要視しなければならないと考えられる。

文 献

- 1) 神崎, 中里, 伊藤: 鉄と鋼, 50 (1964) 4, p. 588, 591
- 2) R. S. BURNS & R. H. HEYER: Sheet Metal Ind. 35-372 (1958), p. 261
- 3) 山田: 日本機械学会誌, 67-542 (1964), p. 453

(166) 極低炭素鋼冷延リムド鋼板の張り出し性におよぼす集合組織、結晶粒度の影響

(極低炭素鋼板のプレス加工性に関する研究—II)

川崎製鉄, 千葉研究部 工博 神崎 文 暁
○伊藤 庸

Effect of the Crystallographic Orientation and Grain Size on the Stretchability of Extra-Low Carbon Rimmed Steel Sheets.

(Study on the press formability of extra-low carbon steel sheets—II)

Dr. Fumiaki KANZAKI and Yō ITŌ.

1. 緒 言

冷延鋼板の張り出し性にかんしては化学成分、結晶粒度、内部歪(調質度)および異相粒子(非金属介在物、炭化物、窒化物)などの要因が大なる影響をおよぼすことが一般的に理解されている。しかし集合組織についてはこれらの他の要因が除去されているような試料の作成が困難であつたためこの効果は確認されておらず、むしろ無視されてきたのが現状であるといえよう。前報¹⁾に引続いて本報では鋼板の張り出し性におよぼす集合組織の影響を純粋に取り出すという目的でまったく同一の熱延母板から異なる集合組織を有する極低炭素冷延鋼板を作成し試験を行なった結果について報告する。これとともに鋼板の結晶粒度との交互作用についても検討を加えた。なお張り出し性の試験のさいに常に問題となる形状効果にかんしてもせまい範囲ではあるがポンチ直径を変化させてその影響を調べている。

2. 試 料

前報¹⁾とまったく同様の手法により化学成分、異相粒子、内部歪の状態が同一で集合組織の選択方位が異なる極低炭素冷延鋼板を焼鈍後の状態で準備した。本報の試験では前報で試験した(111)[110]: cube-on-cornerのLCR-A鋼、(110)[001]: cube-on-edgeのLCR-B鋼(100)[011]集合組織の[011]軸が圧延方向に左右25°振れ、(100)面が圧延面に対して約10°傾いたcube-on-face類似の集合組織のほか結晶方位が不規則に近いLCR-D鋼も一部の試験では比較に用いた。結晶粒度を変化させるための手段として最終焼鈍の条件を変えているので、このさい若干集合組織の強度が変動することはやむを得ないが、これが定性的な意味のみならず定量的にも試験の目的に十分な範囲の変動でしかないことをX線反極点図法によつて確かめている。

3. 実験結果および考察

3.1 張り出しドームの歪分布—集合組織

直径40mmの球底ポンチによる張り出しカップ試験における歪分布の状態を割れ発生前(張り出し限界の約85%)のポンチストローク140mmにおいて調べた。同心円および放射状に標線を1mm間隔で焼付け、張り出し後に $\pm 1/100$ mmの精度でコンパレータによつて歪量をもとめた。結果をFig. 1に示す。

プレス部品の歪分布は加工硬化係数(n 値)によつて本質的に決定されるということは定説であるが、この試