
極めて良好なプレス成形性を有する超高 r 値冷間圧延鋼板

Cold Rolled Steel Sheets with Ultra High Lankford Value and Excellent Press Formability

西村 恵次(Keiji Nishimura) 福井 義光(Yoshimitsu Fukui) 川辺 英尚(Hidetaka Kawabe)

要旨：

熱間圧延でのフェライト域潤滑圧延が $\{111\}$ 集合組織の発達に効果的であることは研究室規模ではよく知られている。この冶金的原理を工業的段階で実現させるために、川崎製鉄は千葉製鉄所でエンドレス熱間圧延技術を初めて確立し、フェライト域でストリップ全長に渡り十分な潤滑を安定して施して熱間圧延することに成功した。この技術により得られる熱間圧延母板から冷間圧延された鋼板は、焼鈍後に極めて高いランクフォード値 (r 値) を示す。今回開発した冷間圧延鋼板は、主として複雑かつ厳しいプレス成形をとまなう自動車部品などへの適用が見込まれる。

Synopsis：

It is well known at the laboratory scale experiments that lubricated ferrite rolling in hot-rolling is effective in developing $\{111\}$ texture. In order to apply this metallurgical principle to an industrial scale mill, Kawasaki Steel developed an endless hot-rolling process at Chiba Works, making it possible to employ heavily lubricated hot-rolling over the full length of hot bands with stable operation. With the application of hot band having $\{111\}$ texture obtained in this manner, an extremely high Lankford value (r -value) of 3.0 is achieved after cold-rolling and annealing. The newly developed steel sheet shows excellent drawability compared with that of conventional EDDQ steels. The new steel is expected to be applied mainly in automotive parts which are subjected to complex and heavy press deformation.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

極めて良好なプレス成形性を有する 超高 r 値冷間圧延鋼板*

川崎製鉄技報
31 (1999) 3, 161-164

Cold Rolled Steel Sheets with Ultra High Lankford Value and Excellent Press Formability



西村 恵次

Keiji Nishimura

千葉製鉄所 管理部薄
板管理室 主査(課長)



福井 義光

Yoshimitsu Fukui

千葉製鉄所 熱間圧延
部熱間圧延課 主任部
員(掛長)



川辺 英尚

Hidetaka Kawabe

技術研究所 薄板研究
部門 主任研究員
(掛長)

要旨

熱間圧延でのフェライト域潤滑圧延が {111} 集合組織の発達に効果的であることは研究室規模ではよく知られている。この冶金的原理を工業的段階で実現させるために、川崎製鉄は千葉製鉄所でエンドレス熱間圧延技術を初めて確立し、フェライト域でストリップ全長に渡り十分な潤滑を安定して施して熱間圧延することに成功した。この技術により得られる熱間圧延母板から冷間圧延された鋼板は、焼鈍後に極めて高いランクフォード値 (r 値) を示す。今回開発した冷間圧延鋼板は、主として複雑かつ厳しいプレス成形をとまなう自動車部品などへの適用が見込まれる。

Synopsis:

It is well known at the laboratory scale experiments that lubricated ferrite rolling in hot-rolling is effective in developing {111} texture. In order to apply this metallurgical principle to an industrial scale mill, Kawasaki Steel developed an end-less hot-rolling process at Chiba Works, making it possible to employ heavily lubricated hot-rolling over the full length of hot bands with stable operation. With the application of hot band having {111} texture obtained in this manner, an extremely high Lankford value (r -value) of 3.0 is achieved after cold-rolling and annealing. The newly developed steel sheet shows excellent drawability compared with that of conventional EDDQ steels. The new steel is expected to be applied mainly in automotive parts which are subjected to complex and heavy press deformation.

1 緒 言

高ランクフォード値 (r 値) を有する冷間圧延鋼板は深絞り用途に最も適した材料として自動車業界で広く使用されている。川崎製鉄における深絞り冷間圧延鋼板の r 値改善の歴史を Fig. 1 にまとめたり。現在工業的に使用されている冷間圧延鋼板で最も r 値の高い鋼板は、C 量を約 20 ppm まで低減し、さらに Nb, Ti で固定した IF (interstitial free) 鋼を連続焼鈍工程で製造する EDDQ (extra deep drawing quality) 材で r 値は約 2.2 である。EDDQ 鋼板は特に深絞り特性が要求される自動車の部位に広く適用されている。

しかしながら、オイルパンやサイドパネルアウターなどのようなより複雑、より広幅の一体化パネル用途には従来の EDDQ 材以上に高い r 値が要求されるようになってきた。このような要求に応えるために川崎製鉄は世界で初めて 2.9 以上の r 値を可能にする「潤滑フェライト域熱間圧延工程」を開発かつ工業化に成功した²⁾。

この「潤滑フェライト域熱間圧延工程」の実現において、最大の課題はストリップが強潤滑の仕上げ圧延機に噛込む際、いかにスリ

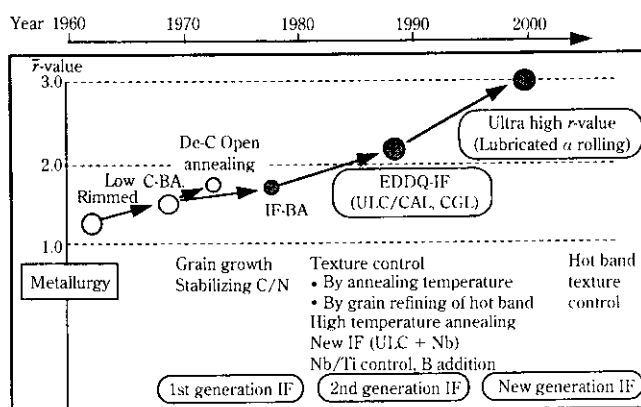


Fig. 1 History of development of deep drawable cold-rolled steel sheet

ップ現象を回避するかであった。Fig. 2 に川崎製鉄千葉製鉄所で 1995 年に稼働した新熱間圧延工場のレイアウトを示す。新熱間圧延ではシートバーを粗ミルと仕上げミル間で溶接することにより完全連続エンドレス圧延を達成した³⁾。このエンドレス熱間圧延はコイル全長にわたり安定して強潤滑を施すことを可能にした。

* 平成 11 年 6 月 16 日原稿受付

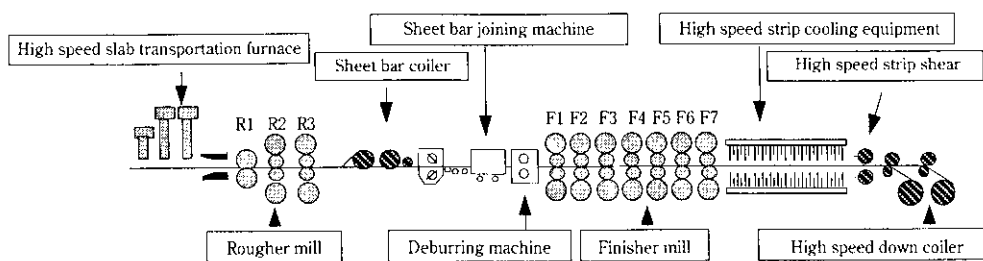


Fig. 2 Layout of new endless hot strip mill at Chiba Works of Kawasaki Steel

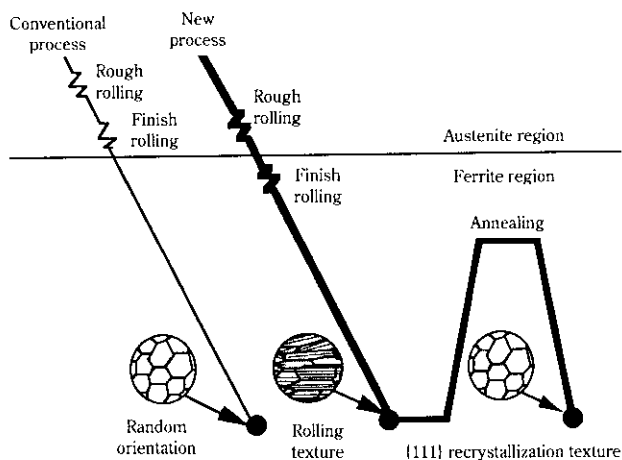
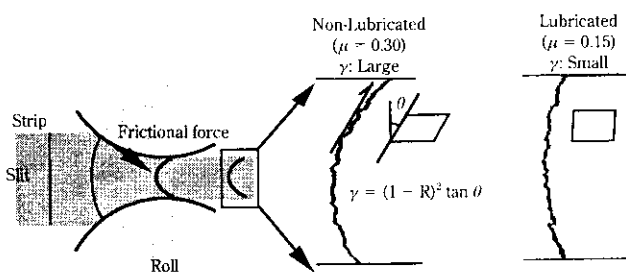


Fig. 3 Comparison of mechanism of {111} texture development in lubricated ferrite rolling process with conventional one

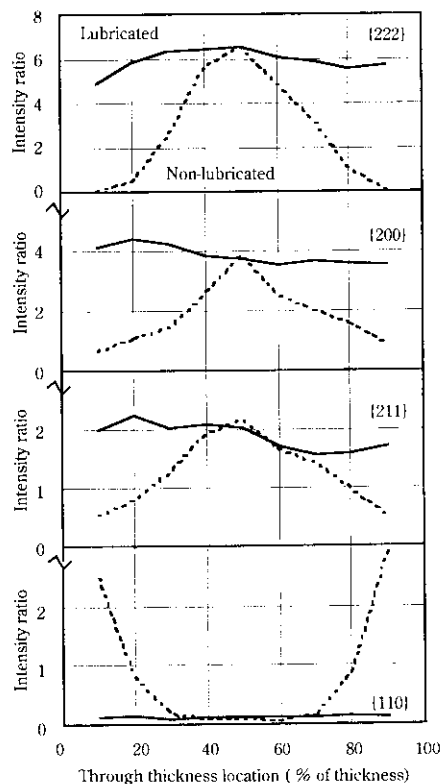
Fig. 4 Effect of lubrication on reduction of shear strain of hot band (μ : friction coefficient, γ : additional shear strain, R : reduction ratio)

本論文は「潤滑フェライト域熱間圧延工程」の冶金原理を概説するとともに、この技術を活用して今回新しく開発した鋼板の成形性について述べる。

2 潤滑フェライト域熱間圧延工程の冶金原理

鋼板の深絞り性が集合組織、結晶方位に強く依存すること、かつ {111} 方位の成長が r 値を改善するのに最も有効であることはよく知られている⁹⁾。

Fig. 3 に新熱間圧延工程での「潤滑フェライト域圧延」が {111} 結晶方位を形成させる機構を通常の熱間圧延工程との比較で示す。通常の熱間圧延工程では完全に再結晶させる必要性から A_r 変態点以上の仕上げ温度を確保する必要があるため、{111} 集合組織は発

Fig. 5 Effect of lubrication on the texture of hot band (lubricated: $\mu = 0.1$, non-lubricated: $\mu = 0.2$)

達せずランダムな結晶方位となる。一方、新プロセスでは、熱間圧延仕上げ温度を α 域とすることにより、熱間圧延後に {111} 集合組織を形成し、さらに鋼板表面の強い剪断変形を低減させるために、仕上げミルで強潤滑を施すことにより、板厚方向全域にわたり {111} 集合組織を発達させることができる。この再結晶組織は熱間圧延後の焼鈍工程により顕著に発達し、続く冷間圧延、焼鈍工程後非常に高い r 値を示す。

板厚方向全域にわたり均一な圧延組織を得るためには潤滑が必要となる。熱間圧延仕上げミルでの潤滑の有無による剪断歪の差を Fig. 4 に示す。潤滑のない状態 ($\mu = 0.3$) ではメタルフローの傾斜角 ($\tan \theta$) が大きく、剪断歪が大きくなる⁹⁾。一方、強潤滑状態 ($\mu = 0.15$) では板厚方向にほぼ直線的なメタルフローとなり、同一圧下率でほとんど無視できる程度の剪断歪となる。Fig. 5 に示すように、無潤滑圧延で発生する剪断歪は <110>//ND 集合組織を助長し、深絞り有効な {111} 集合組織を減少させる。

焼鈍後の熱間圧延鋼板の集合組織を潤滑と無潤滑の場合について EBSD (electron back scattering diffraction) を用いて測定した結果を

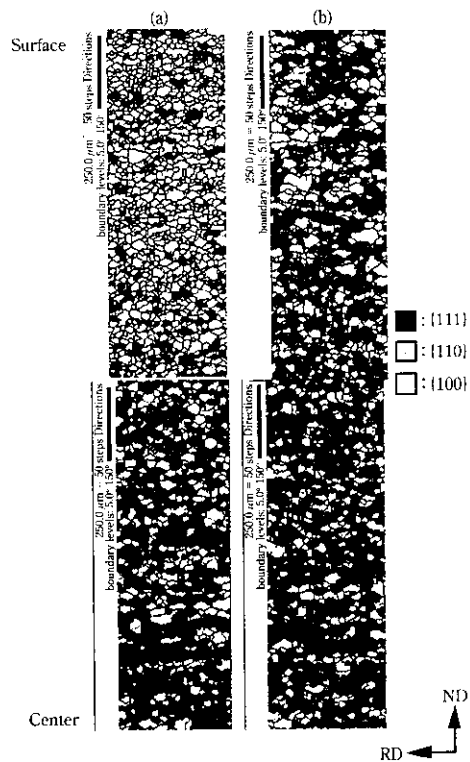


Fig. 6 EBSD map showing effect of lubrication on texture of hot band after 750°C × 5 h annealing: (a) non-lubricated: $\mu = 0.3$, (b) lubricated: $\mu = 0.1$

Table 1 Typical mechanical properties of newly developed cold rolled steel sheet ($t = 1.2$ mm)

YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$\bar{r}$	Δr
140	280	55	3.0	0.4

Fig. 6^{a)}に示す。無潤滑の場合は、すでに報告されている⁷⁾ように鋼板表面に熱間圧延時に形成された<110>/ND集合組織が焼鈍後も残り、深絞りには有効な{111}方位を発達させることができない。一方、潤滑を施した場合は、反対に焼鈍後に{111}方位が強く発達している。

3 開発鋼板の成形性

新しく開発したフェライト域強潤滑熱間圧延母板を用いて冷間圧延、焼鈍した鋼板の、典型的な機械的性質をTable 1に示す。この新プロセスで製造された冷間圧延鋼板の r 値を通常のIF鋼と比較しFig. 7に示す。フェライト域強潤滑熱間圧延工程で製造した鋼板は、従来鋼板に比較し r 値が著しく改善され、世界最高レベルの値(平均:3.0)を示す。Swiftカップ試験により得られたLDR(限界絞り比)を用いて、鋼板の r 値と深絞り性の関係を整理してFig. 8に示す。本開発冷間圧延鋼板(r 値:2.9)と従来冷間圧延鋼板(r 値:2.5/ベスト値)の最大成形高さを比較してPhoto 1に示す。 r 値の高い鋼板ほど深絞り特性が優れること、開発鋼板は従来鋼板よりも深絞り特性に優れることがよくわかる。

今回開発した超深絞り冷間圧延鋼板は、自動車のサイドパネルやオイルパンなどのような、特に絞り特性が要求される部位への適用が見込まれる。自動車の実部品の成形性は鋼板の降伏点、引張り強

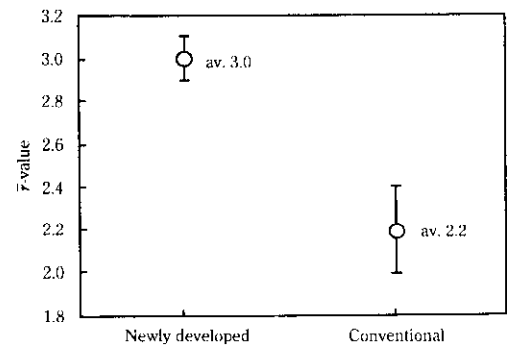


Fig. 7 Comparison of $\bar{r}$ -value of steel sheets in newly developed process with conventional one

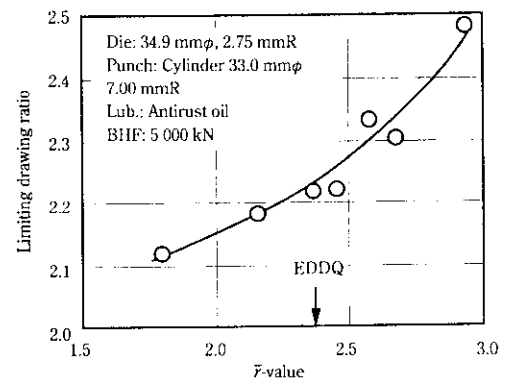


Fig. 8 Effect of $\bar{r}$ -value on drawability

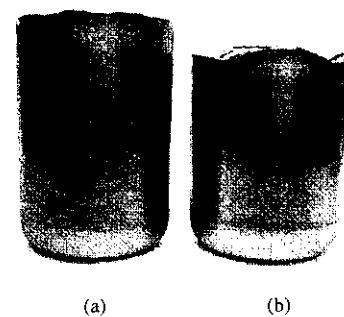
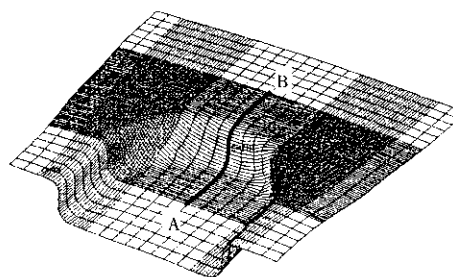


Photo 1 Comparison of maximum height of cup (a) developed ($\bar{r} = 2.9$), (b) conventional steel sheets ($\bar{r} = 2.5$) (Deep drawing condition are shown in Fig. 8)

さ、延性、表面粗度など多くの特性の影響を受けるため、 r 値のみの効果を整理することは困難であるが、開発した超高 r 値冷間圧延鋼板の r 値が成形性に及ぼす効果を明確にするためにコンピュータシミュレーションを実施した。一例として非線形有限要素法モデル(LS-DYNA)を用いてリアフロアパネルを対象に解析した結果をFig. 9に示す。Fig. 9のA-Bラインに沿った板厚変化を各種の r 値をもつ鋼板について解析した結果をFig. 10に示す。Photo 2に示すように割れが発生しやすい壁部での板厚減少が r 値の高い鋼板を使用することにより改善され、特に r 値が3.0の鋼板の場合その効果が顕著である。この結果 r 値の高い鋼板ほど実プレス部品の成形性を改善できることが明確となった。



Name of FEM code: LS-DYNA version 940
 Number of nodes: 2 701 (sheet), 375 (tools)
 Number of elements:
 2 592 (sheet) Belytschko-Tsay shell element, 300 (tools)
 Hardware: SUNW, Ultra-I
 Punch diameter: 600 mm
 Radius of punch shoulder: 50 mm
 Radius of die shoulder: 40 mm
 Sheet thickness: 0.7 mm
 Yield strength: 140 MPa

Fig. 9 Model of rear floor panel and analysis conditions

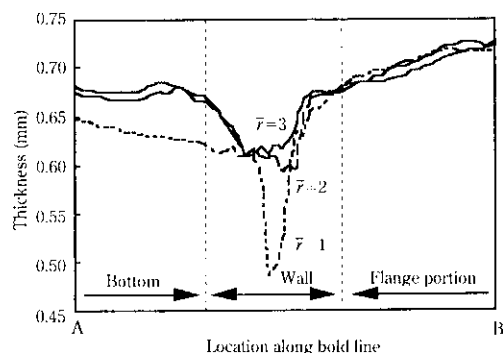


Fig. 10 Effect of r -value on thickness change along line A-B in Fig. 9 calculated by LS-DYNA method

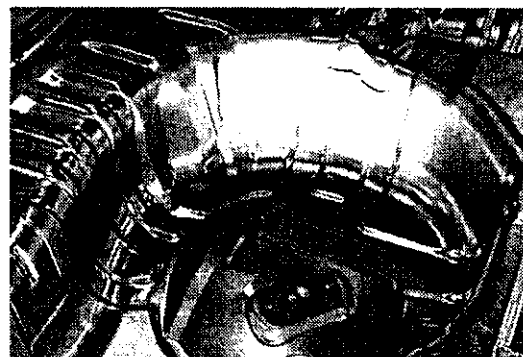


Photo 2 View of rear floor panel used for computer simulation, showing breakage in wall

4 結 言

川崎製鉄は、世界で初めてエンドレス熱間圧延技術を確立し、ストリップ全長にわたり安定的なフェライト域強潤滑熱間圧延を可能

にした。この熱間圧延母板を採用することにより、従来の EDDQ 材よりもさらに r 値の高い冷間圧延鋼板の製造に成功し、複雑でより深絞り特性が要求される自動車の部位に採用されつつある。

本技術は冷間圧延鋼板のみならず各種表面処理鋼板、高張力鋼板への適用も可能である。

参 考 文 献

- 1) T. Obara and K. Sakata: Proc. of 39th Mechanical Working and Steel Processing Congress, Indianapolis, (1997), 307
- 2) K. Sakata, S. Matsuoka, T. Obara, K. Tsunoyama, and M. Shiraishi: *Materia Japan*, **36**(1997), 376
- 3) Y. Ogawa, T. Nakamura, and N. Kitao: *Kawasaki Steel Giho*, **27**(1995)3, 131
- 4) S. Nagashima: "Shugososhiki", (1984), 268, [Maruzen]
- 5) K. Kato: *Nihon Kinzoku Gakkai Ho*, **23**(1984), 996
- 6) K. Okuda, Y. Kawabata, K. Sakata, and T. Obara: Proc. of 39th Mechanical Working and Steel Processing Congress, Indianapolis, (1997), 297
- 7) S. Matsuoka, T. Obara, K. Tsunoyama, T. Sakai, Y. Saito, and K. Kato: Proc. of the 1986 Autumn Meeting of JIM, (1986), 136