

(解説)

加工性に優れた新型残留 鋼板の開発

The Development of New Excellent Formability Residual Steel Sheet

鹿島高弘
Takahiro Kashima向井陽一
Youichi Mukai由利 司
Tsukasa Yuri

Recently, in response to a growing demand for lighter, safer automobile bodies, the importance of high strength steel sheets with high formability has become significant. Although conventional residual steel sheet is known for its excellent elongation properties as the highest property among high strength steel sheets, the stretch flangeability is not sufficient for automotive parts forming. Kobe Steel developed a new residual steel sheet with excellent elongation and high stretch flangeability. Especially, the newly developed residual steel sheet controlled residual morphology to lath-type through the application of the Hot-CAL process.

まえがき = 自動車のプレス部材の材料として薄鋼板は非常に重要な素材であり、薄板分野においてもその売上の40%近くが自動車用鋼板で占められている。この自動車には、環境対策面から燃費向上のための車体の軽量化が求められている。このため、自動車部材の材料として用いられる薄鋼板についても、高い強度の鋼板が必要とされるようになってきている。また、安全性向上のために高剛性、耐衝撃特性を備えた形状も求められており、高強度の薄鋼板を採用するには従来の低強度の鋼板と同等の加工性がなければならず、薄鋼板には高強度化とともに高い加工性が必要であり、これまで使用されてきた低強度材と同等レベルの加工性が目標となると考えられる。

各種ハイテン（高強度鋼板）のなかでも、残留鋼板は加工誘起変態（TRIP）効果という特異な伸び発現の特徴^{1)~7)}を持つために、極めて優れた伸び特性を有し、次世代高加工性ハイテンとして有望である。しかし、プレス部品によっては、穴広げなどに代表される伸びフランジ加工が必要な成形部分があり、この特性については従来の残留鋼板では十分に満たしていない。本解説では残留鋼板の当社の取組みの一例として、従来型とは異なる新しい組織形態による高強度残留鋼板の高加工性、とりわけ伸びフランジ性の向上のための検討について紹介する。

1. 当社における残留鋼板開発への取組み

これまでにハイテンの高強度化と高加工性を両立させるため、種々の組織による強化機構が検討開発されてきた。図1には各種高強度鋼板の組織強化機構と伸びの関係を示す。図1でもわかるとおり、ハイテンのなかでも残留鋼板は極めて高い延性を示すことから高強度高加工性鋼板として適用拡大が予想される。当社においても

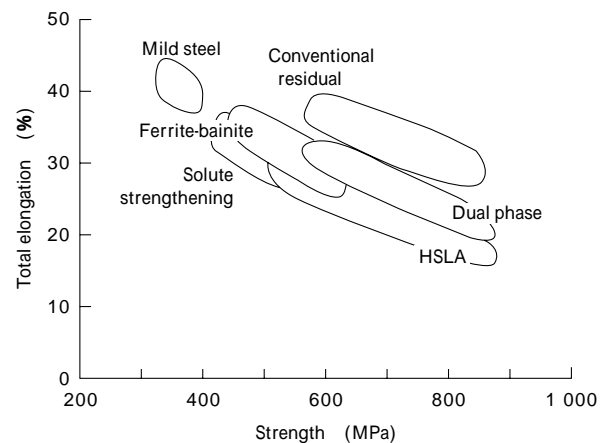


図1 各種ハイテンの強度と全伸びの関係

Fig. 1 Relationship between strength and total elongation of several high strength steel sheets

表1 現行残留熱延板の特性の一例

Table 1 The properties of conventional residual steel sheets

	Thickness (mm)	YP (MPa)	TS (MPa)	EI. (%)	(%)
Hot roll	2.9	450	605	35	91
Cold roll	1.2	389	609	37	66

従来型の残留鋼板については、研究開発を継続して行い実用化を達成している。表1に当社の残留鋼板の機械的性質の一例を示す。熱延製品としては、使用部材が伸びフランジ加工性を必要とする足回り部品関係が主体になることを考慮し、伸び(EI)特性とともに伸びフランジ()性をできるだけ確保するという設計を取入れ、また冷延製品としてはできるだけ高い伸び特性を付与することに重点をおいている。さらにGA(合金化溶融亜鉛めっき)製品の開発にも着手しており、熱延、冷延、GAの全品種においてメニュー化をめざしている。

そのほか、780MPa級以上の高い強度化にも対応でき

るように、従来とは異なった組織形態を用いて残留鋼板の伸びフランジ性向上を検討しており、この開発経緯について紹介する。

2. 開発の考え方

伸びフランジ性に関する因子については、従来より組織の均一化が重要とされている。例えば第2相が粗大であったり、第2相と母相硬度の差が大きい場合には、変形を受けた際にこれらの界面でポイドが生成しやすく伸びフランジ性が劣化することが報告されている^{9)~12)}。この点を従来残留鋼板組織について見てみると、従来型の組織にはポリゴナル・フェライト母相中に塊状残留が存在しているため、塑性変形を受けると残留が歪誘起変態によって硬質の塊状マルテンサイトになり、軟質フェライト母相との界面でポイドが生じやすい。そこで、我々はこのポイド発生を抑えるために、残留そのものの形状に着目して^{9),11),12)}開発を行った。図2には、従来の残留の組織と開発鋼の組織の比較を模式図で示す。つまり、残留を塊状からラス状(針状)形態とすることによって、第2相としての残留がより微細化することや変形の際の母相塑性の流れに沿って残留が移動変形し、母相界面とのポイド生成を抑えることができる。このほかにも、このラス状形態には塊状形態とは異なった空間拘束が生じて、引張変形後期で有効なTRIP効果を発揮できる可能性があり、従来残留より高い伸び特性も期待できる。すなわち、残留の形態を塊状からラス状にすることで、伸びフランジ性と伸びの向上が可能である。

3. 基礎的検討

図3には実験室において生成させたラス状残留組織と従来の残留組織の写真を示す(白色部分が残留)。このラス状残留組織は、あらかじめ熱延にて焼入マルテンサイト組織を造っておき、+2相域温度の焼鈍後、およそ400のオーステンパ処理を施して生成させることができる。

ラス状残留が生成する理由は、あらかじめ熱延後の焼入組織にはラス境界をもったポケットといわれる下部組織があり、この境界が核生成起点となってラス状残留が生成するためである。

実験室にて熱延及び連続焼鈍を模擬して、図4に示す条件にて実験を行なった。熱延条件图中的(M),(B),(F+P)は、それぞれマルテンサイト、ベイナイト、フ

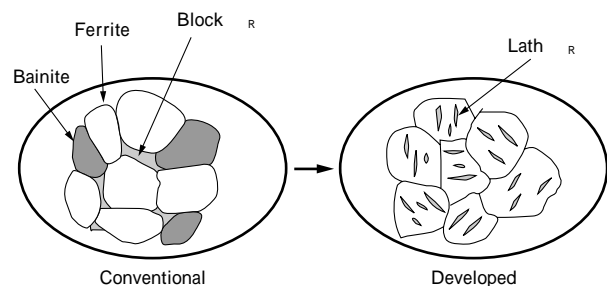


図2 新型残留鋼板の残留形態のコンセプト
Fig. 2 Concept of the developed residual steel sheet

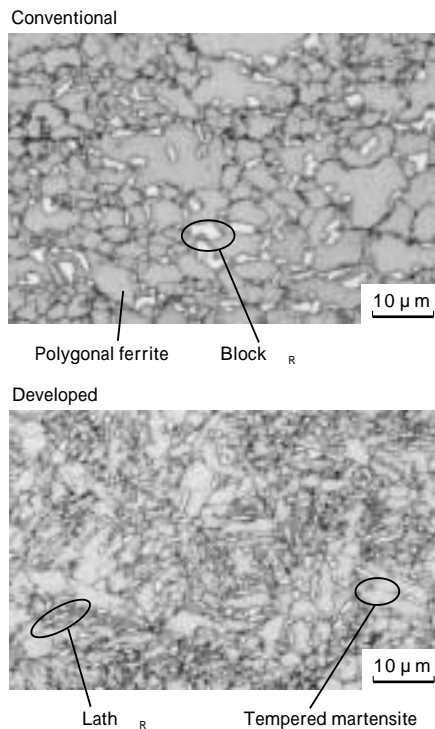


図3 従来残留組織と新型残留組織
Fig. 3 Microstructures of conventional and developed residual

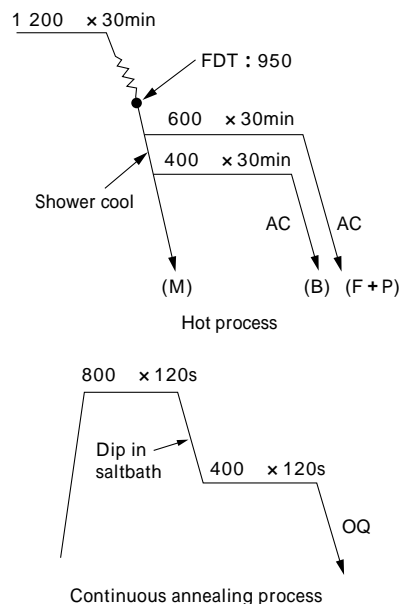


図4 熱延及び連続焼鈍処理シミュレーション
Fig. 4 Simulation of hot process and continuous annealing process

ェライト・パーライト組織となったことを示している。図5と図6には機械的特性の結果を示す。熱延組織がフェライト・パーライト組織の場合は、従来型の塊状残留の形態を示すが、ベイナイト組織やマルテンサイト組織ではラス状残留が生じる。母相中にラス状残留がある場合には、伸びフランジ性(値)やさらにはEI特性も向上し、TS - EIバランスやTS - バランスも良好なことがわかる。

4. 開発鋼の特性

4.1 製造条件

上記の実験室での知見に基づいて表2に示す化学成分を用い、780MPa級を目標に工場試作を行なった。熱延

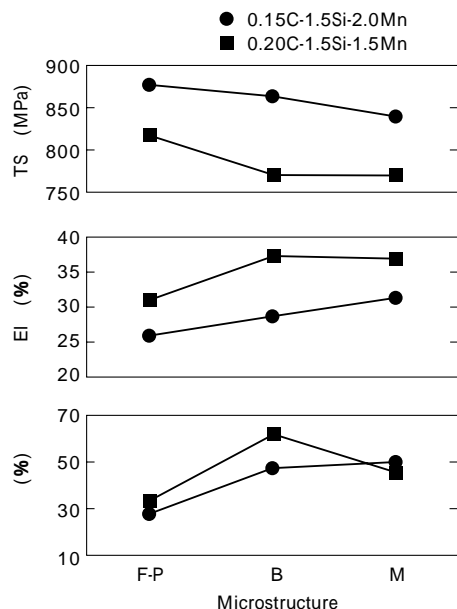


図5 機械的特性に及ぼす熱延組織の影響
(F-P: フェライト・パーライト, M: マルデンサイト, B: ベイナイト)
Fig. 5 The effect of hot band on mechanical properties
(F-P: ferrite/pearlite, M: martensite, B: bainite)

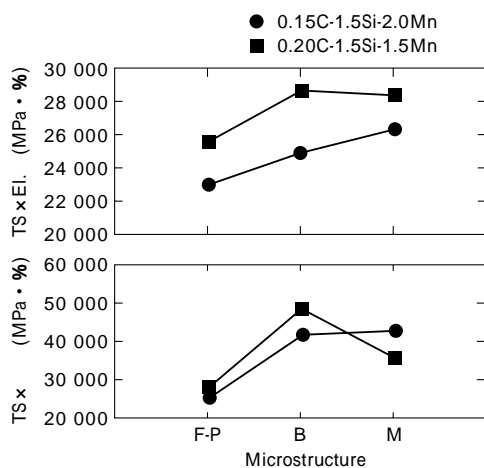


図6 TS x バランス, TS x EI. バランスに及ぼす熱延組織の影響
(F-P: フェライト・パーライト, M: マルデンサイト, B: ベイナイト)
Fig. 6 The effect of hot band on TS x balance, TS x EI. balance
(F-P: ferrite/pearlite, M: martensite, B: bainite)

の仕上げ温度 (FDT) は 域で終了するように 900 以上とし、その後 400 以下まで急速冷却してその温度にて巻取を行った。熱延工程のあと、連続焼鈍工程を用いて 830 の均熱後、過時効温度 400 にてオーステンパ処理を行った。図 7 には、このようにして工場試作した開発鋼の組織を示す。ラス状残留 が組織内に生成していることがわかる。

4.2 機械的特性

表 3 には、従来鋼と開発鋼の特性の一例を、図 8、図 9 には、従来の各種ハイテンと今回の開発鋼の TS - バランス及び TS - EI バランスを示す。開発鋼はこれらハイテン鋼板のなかでも最も高いバランスを示し、従来残留鋼よりも伸びと伸びフランジ特性とも高くなっている。図 10 に 780MPa 級強度について、各種ハイテンの EI と 値を示す。開発鋼の加工性は従来利用されてきた残留鋼板より高い EI と を有しており、値は高伸び

表 2 開発鋼成分の一例

Table 2 Chemical compositions of the developed steel

	(wt%)						
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ca
	0.15	1.3	2.00	0.014	0.0008	0.045	added

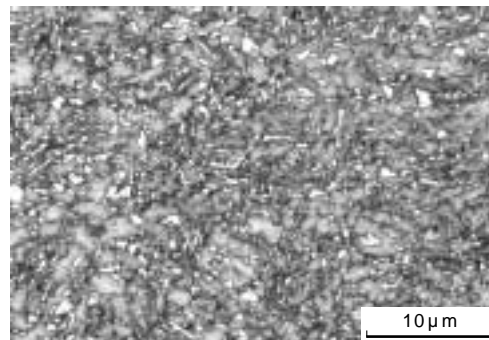


図7 工場材の組織(780MPa級)
Fig. 7 The microstructure of the manufacturing product

表 3 開発鋼の機械的特性の一例 (2.0t)

Table 3 Mechanical properties of developed steel sheet (2.0t)

	YP (MPa)	TS (MPa)	EI. (%)	(%)
Developed	554	785	31	51
Conventional	551	780	28	25

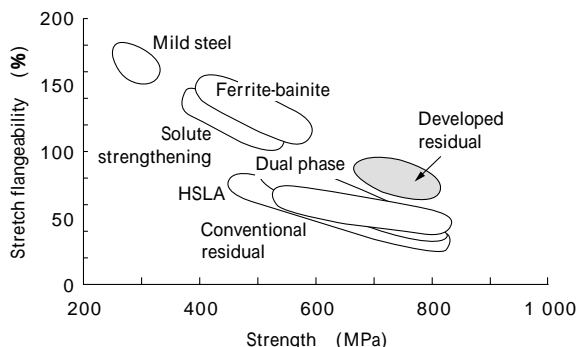


図8 開発鋼と各種ハイテンの強度と伸びフランジ性
Fig. 8 The strength and stretch flangeability of several high strength steels with developed residual

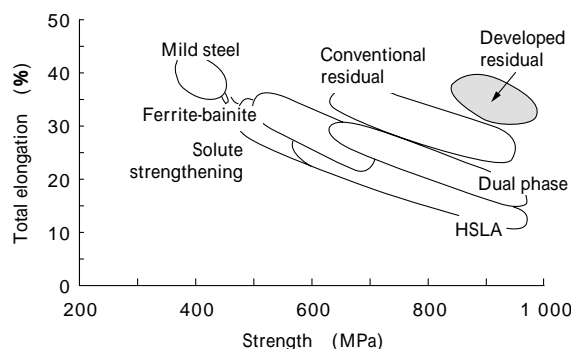


図9 開発鋼と各種ハイテンの強度と全伸び
Fig. 9 The strength and total elongation of several high strength steels with developed residual

フランジ性鋼板と言われるフェライト・ベイナイト鋼板に近い特性が得られた。この開発鋼の加工性レベルは、780MPa 級の場合はもちろん、ほぼ 590 MPa 級の複合組織 (DP) 鋼板と同等以上のレベルとなっている。

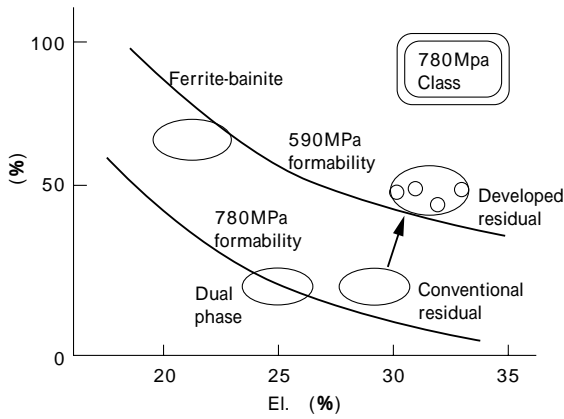


図10 新型残留 鋼板の加工性
Fig.10 Formability of developed residual

4.3 その他の特性

図11には、開発鋼を用いた張出し成形試験結果を示す。同等強度のDP鋼板がH=18mm (rp=25)であるのに対し、開発鋼はH=27mm (rp=25)を示す。また、図12には、深絞り成形性を示す。DP鋼板ではLDR=1.9であるのに対して、開発鋼ではLDR=2.2と高い値を示す。

図13には、780MPa級開発鋼の母材疲労特性を示す。疲労強度も従来型残留鋼が高い疲労特性を有するのと同様に¹³⁾、開発鋼もDP鋼板より高い値を示している¹⁴⁾。図14には、P処理性についての結果を示す。全面すきなく付着しており、付着量などにも問題がない。

むすび=残留鋼板の高強度かつ加工性向上のため、従来と異なった新しい組織形態による伸びフランジ性向上の検討を紹介した。残留の組織形態を制御することによって、従来残留鋼板の欠点とされてきた伸びフランジ性の向上と、従来より高い伸び特性が達成できた。新組織を有する開発鋼板は部品メーカーにおいてプレストライを行い、高い評価も受けている。今後さまざまな難成形品の加工に適應できるものと予想される。そのほかにもより高い980MPa級への適應も目指しており、自動車部材の高強度軽量化に対応する次世代高加工性鋼板として有望と考えられる。

参考文献

- 1) V. F. Zackay et al. : Trans. ASM, 60 (1967) p.252.
- 2) O. Matumura et al. : ISIJ,27 (1987) p.571.
- 3) K. Sugimoto et.al. : ISIJ Int.,32 (1992) p.1311.
- 4) K. Sugimoto et.al. : ISIJ Int.,35 (1995) p.1407.
- 5) S. Hiwatashi et al.:J. Jpn. Soc. Tech. Plasticity,35(1994) p.1109.
- 6) Y. Hirose et al. : J. Jpn. Soc. Technol. Plast.35 (1994) p.1071.
- 7) K. Sugimoto et al. : ISIJ Int.,39 (1999) p.56.
- 8) 長坂明彦ほか：鉄と鋼 Vol.84, No.3 (1998) p.218.
- 9) K. Sugimoto et al. : ISIJ Int.,40 (2000) p.920.
- 10) K. Sugimoto et al. : ISIJ Int.,40 (2000) p.902.
- 11) 神田明宣ほか：CAMP-ISIJ,13 (2000) p.1267.
- 12) R. Kikuchi et al. : Annual Meeting of JIM and ISIJ in Toyama, (2000) p.84.
- 13) 杉本公一ほか：日本機械学会論文集 (A編), Vol.63, No.608 (1997) p.717.

Punch : 50 、 rp = 10, 25
Die : 56 、 rd = 10
BHF = 5ton

H_{max} :
18mm (rp = 10)
27mm (rp = 25)
cf : 780MPa DP
18mm (rp = 25)



図11 開発鋼の張出し成形性
Fig.11 Bulging formability of the developed steel

Punch : 50 、 rp = 10
Die : 56 、 rd = 10
BHF : 1ton
Lubricant : noxrust

LDR = 2.2
cf : 780MPa DP (LDR = 1.9)



図12 開発鋼の深絞り成形性
Fig.12 Deep drawability of the developed steel

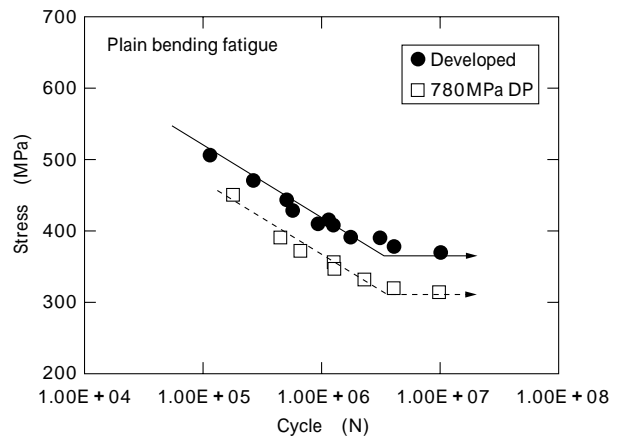
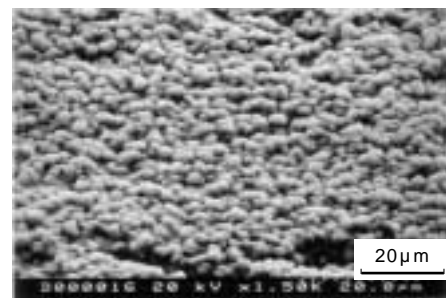


図13 開発鋼の母材疲労特性
Fig.13 Fatigue property of the developed steel



(Coating weight 3.0g/m²)
Treatment solution SD - 5000

図14 開発鋼のリン酸塩結晶
Fig.14 Phosphate crystals of the developed steel

- 14) 宋 星武ほか：材料, Vol.50, No.10 (2001) p.1091.