

高性能新複合ロールの開発

Newly Developed High Performance Composite Type Rolls

薄板圧延に用いられるロールは、胴部表面の耐摩耗性や耐圧延事故性に対する要求の高まりとともに、適用材質の高級化が進められてきた。さらに近年、板の高品質化と連続圧延による高生産性に対応する圧延関連設備の開発が進み、特にワークロールについては、飛躍的な高耐摩耗性と同時に軸部を含めた構造上の高強靱化が必須(す)となっている。

これらのニーズに対応して画期的な複合構造ロール「Hi-NCロール」および「HINEXロール」を開発した。これらはいずれも強靱な鍛鋼を軸材とし、胴部を耐摩耗性に優れた高合金鋼で複合化したもので、それぞれ冷間圧延および熱間圧延で、過酷な負荷に対する高い信頼性と、従来ロールの数倍の長寿命化を実現した。

鎌田俊夫*	Toshio Kamata
下村修**	Osamu Shitamura
児玉英世***	Hideyo Kodama
近藤保夫****	Yasuo Kondō
佐野義一*****	Yoshikazu Sano
大畑拓己*****	Takumi Ôhata

1 緒言

鋼板圧延の分野では板厚精度、表面性状などの製品品質の向上、および高圧下・連続圧延による生産性向上や省エネルギーなどに対する要求がますます増大している。これらのニーズに対応する圧延設備や圧延技術の開発は、近年目覚ましいものがあり、使用されるロールの高性能化も必須(す)の要件となっている。

従来、ワークロールについては冷間圧延用には鍛鋼一体焼入れロール、熱間圧延用には遠心鑄造複合ロールが主に使用されている。しかし、それぞれの製法上の制約から適用材質の高級化には限界があり、大幅な性能向上を図るためには新しいロール製造法の開発が必要となった。

そこで、ロール外層部を高合金耐摩耗鋼、軸部を強靱な合金鍛鋼材で構成する複合構造ロールとして、主に冷間圧延用ワークロールにはESR(Electro-Slag Remelting)を適用した外層肉盛法による「Hi-NCロール」、熱間圧延用には連続肉盛法による「HINEXロール」を開発し、ロール性能の飛躍的な向上に成功した。

本稿では、これらのロールの特性の概要と使用実績について述べる。

2 冷間圧延用ワークロール

2.1 新複合「Hi-NCロール」の開発

2.1.1 複合プロセスの概要

冷間圧延用ワークロールには、従来、軸受鋼系やダイス鋼系の鍛鋼材が広く適用されてきたが、胴部表面の耐摩耗性をさらに向上させるためには、いっそうの高合金化が必要である。従来の鍛鋼一体構造ロールでは材質を高合金化するうえで、製鋼・鍛造・熱処理など製造技術上に一定の限界があり、また高合金化による軸部の靱性低下も問題となる。これらの制約を打破するため、ロール外層部を高合金耐摩耗鋼、軸部を強靱な合金鍛鋼材で構成する新しいタイプの複合ロール製造プロセスを開発した。

開発したプロセスは、ロール軸部となる円柱状の心材に対して同心円状に水冷鑄型を配置し、心材と鑄型の空間にロール胴部外層となる高合金鋼製の消耗電極を設置して、ESR法によってこの電極を溶解し、空間を連続的に肉盛充てんする方法¹⁾である。肉盛時に心材と鑄型を一定方向に回転することにより、**図1**に示すような同心性の高い融合層と健全な外層部を得ることができた。

2.1.2 複合プロセスの特長

このプロセスの主な特長として、以下のことがあげられる。

- (1) ロールに対する要求性能に応じて、心材と外層材の鋼種の組み合わせを広範囲に選択することができる。
- (2) ESR肉盛であるため、外層部はきわめて清浄性が高く、

* 日立製作所 素形材事業部 ** 日立製作所 勝田工場 *** 日立製作所 日立研究所 工学博士 **** 日立製作所 日立研究所
***** 日立金属株式会社 若松工場

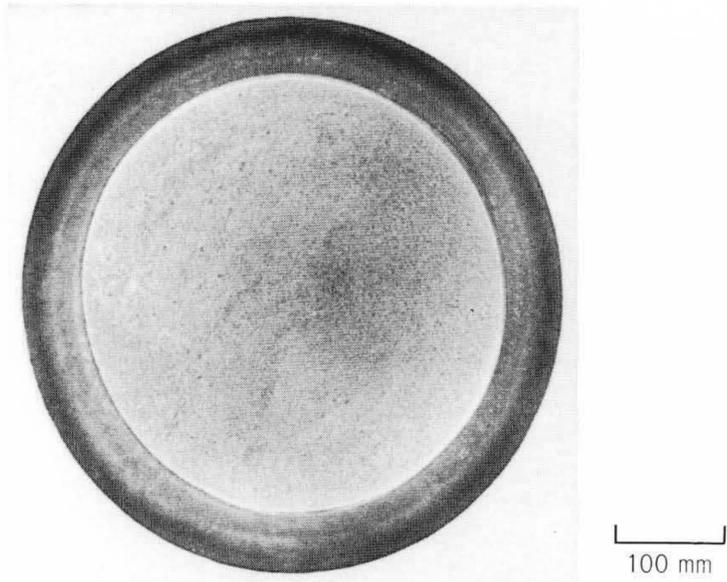


図1 Hi-NCロール鋼塊の断面マクロ組織 回転ESR(Electro-Slag Remelting)肉盛により、同心性の高い融合層と健全な外層部が得られた。

微細で健全な凝固組織を得ることができる。

(3) 心材と外層材の融合層の強度が高い。

このような特長を生かし、従来の鍛鋼一体構造では適用が困難であったハイス鋼あるいはセミハイス鋼などの、きわめて耐摩耗性に優れた材料を外層部とする、新複合ロールの製造が可能となった^{2)~4)}。

ESR肉盛法によって製造した複合鋼塊の一例を図2に示す。鋼塊は胴部直径460 mm、胴部長さ2,000 mm、全長3,700 mmで外層部厚さ60 mmのものである。

2.2 Hi-NCロールの品質

2.2.1 融合層強度の評価と高硬化深度

外層材に各種の高合金材を適用したHi-NCロールの融合層付近の断面ミクロ組織を図3に示す。融合層に偏析やき裂な

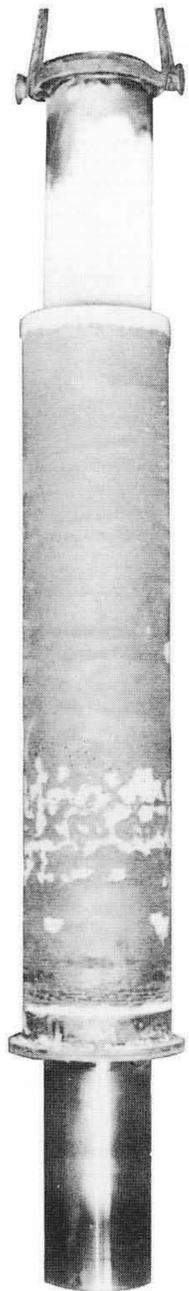


図2 Hi-NCロール鋼塊の外観
胴部直径460 mm、胴部長さ2,000 mm、全長3,700 mmで、外層部厚さは60 mmである。

外層材質	倍率	100 μm	25 μm
		(外層材) ↓ (心材)	融合層近傍
冷間 ダイス			
セミ ハイス			
高クロム 鋳鉄			
ハイス			

図3 心材と外層材の融合層のミクロ組織 融合層に偏析やき裂などの欠陥は認められない。

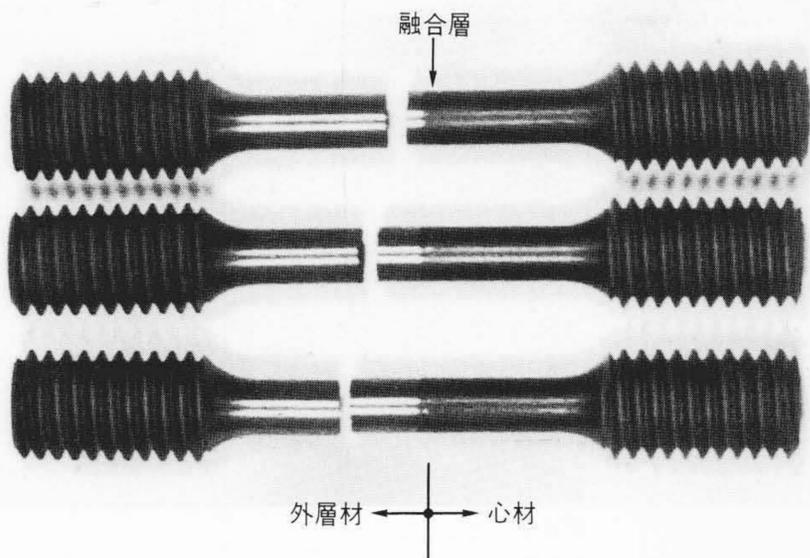


図4 融合層を含む引張試験片の破断結果 破断は外層部側で生じており、融合層の強度が高いことを示している。

どの欠陥は認められない。

心材と外層材(セミハイス鋼)の融合層を含む試料の引張試験結果を図4に示す。破断は外層部側で生じており、融合層はこれより高い強度を持っていることがわかる。したがって、大きな熱処理応力を伴う過酷な焼入れやサブゼロ処理が可能となり、外層部に高い硬さを付与できることもこのプロセスの大きな特長である。

水噴射焼入れ→サブゼロ処理を施したセミハイス複合ロールの表面硬さ、および外層部内の硬さ分布を図5および図6に示す。サブゼロ処理の適用により、従来にはなかった高硬化深度の大形セミハイス複合ロールが得られた。また外層材質の焼もどし特性により、500℃前後の高温での焼もどしが可能となり、圧延事故などによる熱的衝撃に強いことが期待できる。

2.2.2 高耐摩耗性

大形ロール転動摩耗試験機を用い、Hi-NCロールの耐摩耗性について実験した結果を図7に示す。従来ロールは転動数 10^7 回で転動面にピッチングを生じ、大きな摩耗量を示すのに対し、セミハイス複合ロールの摩耗量はその $\frac{1}{10}$ である。また、約3,000 MPaの高ヘルツ応力下でもスポーリングなどの事故は発生せず、開発ロールの優秀性が実証された。

2.3 Hi-NCロールの使用実績

これまでに冷間圧延用ワークロールとして、胴部直径250~600 mmの各種複合ロールを約60本納入した。従来ロールに比べて耐摩耗性が大幅に向上し、顧客側の高い評価を受けている。

外層材がハイクロム鋼およびセミハイス鋼から成るHi-NCロール(胴部直径440 mm)を、冷間圧延タンデムミルの初段スタンドに組み込んで軟鋼板を圧延したときの結果を図8および図9に示す。どちらのHi-NCロールでも、研削回ごとのロ

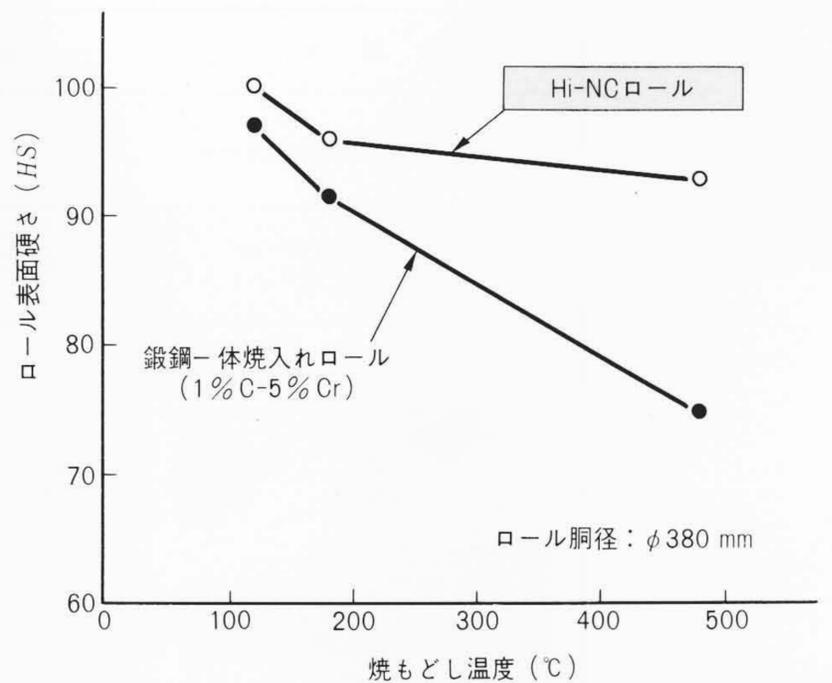


図5 Hi-NCロールの表面硬さと焼もどし温度の関係例 従来の鍛鋼一体焼入れロールに比較して、高温での焼もどしが可能となり、熱的に安定なロールが得られる。

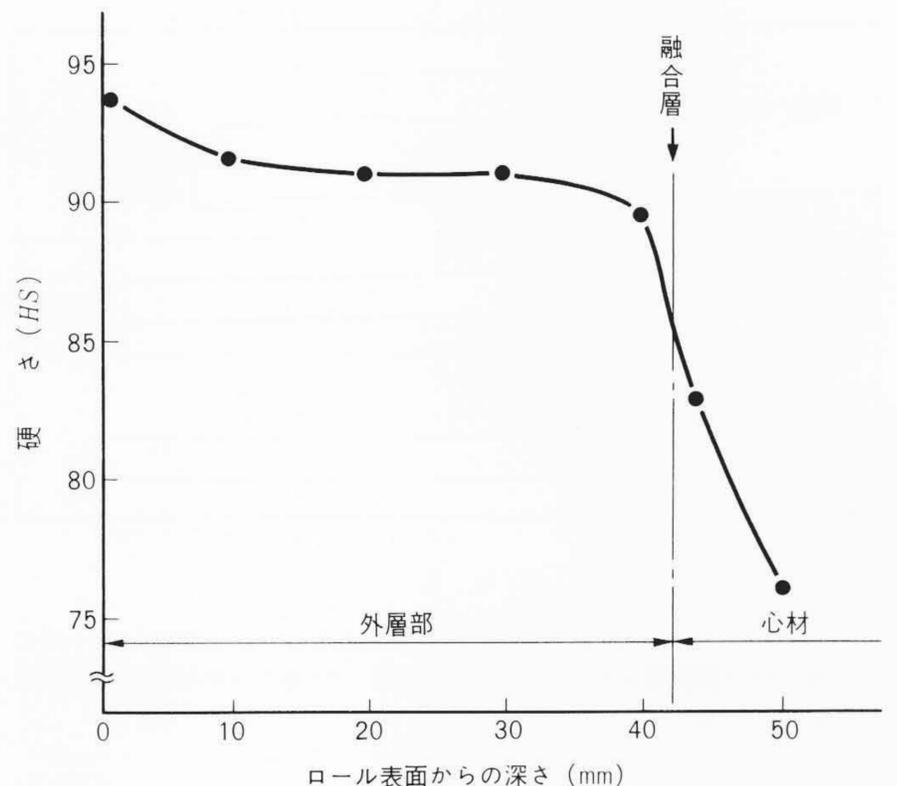


図6 Hi-NCロールの焼入れ硬化層の例 セミハイスを外層材としたHi-NCロールでは、約40 mmまでHS90以上の硬さが得られた(胴部直径385 mmのロールの例)。

ール消耗量は従来の鍛鋼一体形ロール(0.9% C-3% Cr鋼)に比べて約 $\frac{1}{2}$ であり、ロール消耗量1 mm当たりの圧延量は5倍以上に達している。また圧延中のHi-NCロールの胴部表面での粗度低下率は、従来ロールに比較して大幅に小さく、再研削が必要となるまでの圧延トン数を2倍以上にすることができた。タンデムミルでは特に圧延条件の安定性が重要であり、このためにはロール表面の粗度変化が少ないことが望ましいが、Hi-NCロールはこの点でも優れた特性を示すことが明ら

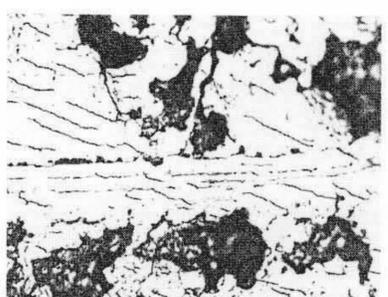
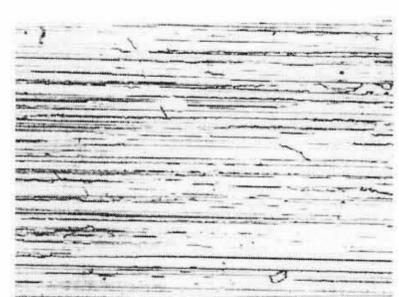
試験ロール	硬さ (HS)	摩耗減量の比較指数	
		0	100
鍛鋼一体焼入れロール	92	100	
Hi-NCロール (外層材：セミハイス)	92	10	
試験後のロール表面		試験条件	
 <p>鍛鋼一体焼入れロール</p>		 <p>Hi-NCロール</p>	
試験ロール胴径：φ170 mm ヘルツ応力：2,940 MPa 滑り率：0% 潤滑剤：なし 転動数：10 ⁷			

図7 従来ロールとの摩耗抵抗の比較 大形転動試験機による比較で、Hi-NCロールの摩耗量は従来ロールの $\frac{1}{10}$ を示した。

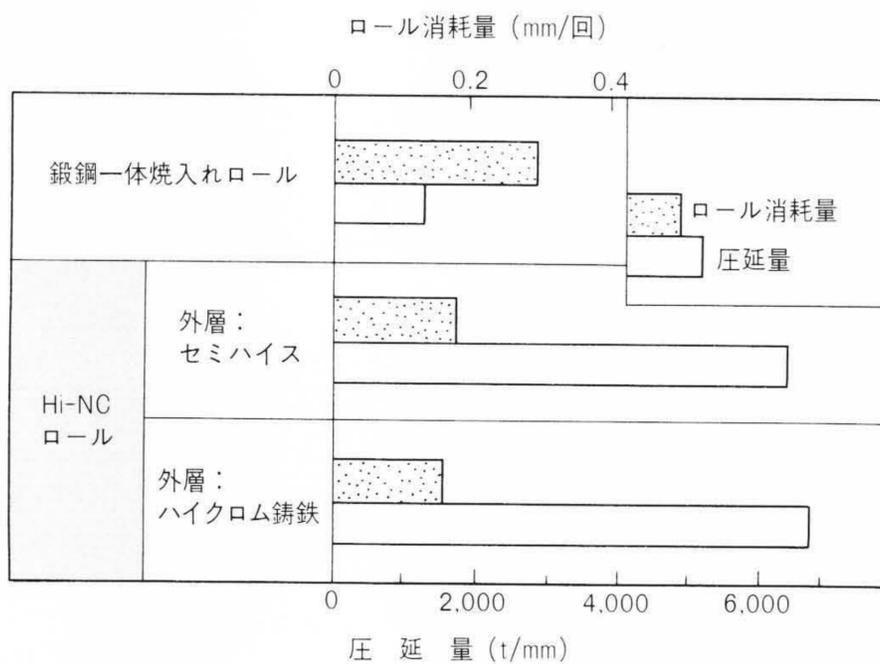


図8 Hi-NCロールの使用実績の例 従来ロールに比較し、1回の研削当たりの消費量は約 $\frac{1}{2}$ で済み、消費量1mm当たりの圧延量は5倍以上となっている。

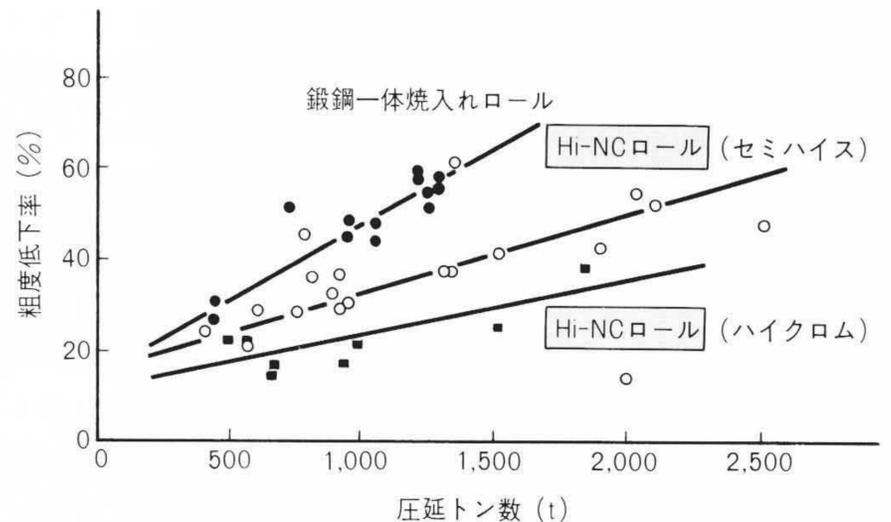
かになった。

さらにHi-NCロールは、展延性に劣る難圧延性鋼板の圧延にもその特性を発揮しており、ロール組み替えごとの圧延量が従来ロールの4倍以上となり、また圧延事故によるロール被害も大幅に軽減したという実績も得られている。

3 熱間圧延用ワークロール

3.1 新複合ロール“HINEX”の開発

ホットストリップミルに代表される鋼板の熱間圧延機に用いられるワークロールは、そのほとんどが鋳鉄系複合ロールであり、遠心鋳造法によって製造されてきた。これらのロールへの耐摩耗性、信頼性向上などのニーズにこたえるため、



注：粗度低下率(%) = $\frac{B-A}{A} \times 100$
 A；ロール表面研削後の粗さ (Ra)
 B；圧延後のロール表面粗さ (Ra)

図9 圧延中のロール表面粗度の低下率比較例 コールドストリップミルの初段スタンドで、軟鋼板を圧延したときのロール表面粗度の低下率を示す。

ロールの外殻層をハイス系鋼材とし、心部を強靱な鋼材で構成した新複合ロール“HINEX”の開発に成功した。在来の遠心鋳造法では、外層材の高合金化および軸部の強靱化に一定の限界がある。これに対しHINEXに適用した連続肉盛り法は、鍛鋼製心材の周辺に連続的に外層材を注入し溶着凝固させる方法で、次のような特長を持っている。

- (1) 心材に強靱な鍛鋼を用いることができる。
- (2) 外層材の重力偏析がなく、高合金化および組織の微細化が可能である。
- (3) 境界の溶着は健全で心材が強靱なため、外層部の圧縮残留応力を大きくしても十分な信頼性が保証できる。

3.2 HINEXロールの特性

HINEXロールの代表的な材質仕様を表1に示す。

3.2.1 金属組織と硬さ

HINEXロールの外殻層を形成する高炭素ハイス系鋼材の金属組織を図10に示す。硬質のMC系(HV3000)とM₆C系(HV1500)が主体の炭化物が晶出し、マルテンサイト主体の基地中に微細な二次炭化物が析出した組織となっている。硬さは表面でHS80~90、50 mm内部での硬さ低下は図11に示すようにHS3以内である。

3.2.2 耐摩耗性

耐摩耗性の評価には図12に示す熱間圧延摩耗シミュレータを用いた。実験後の摩耗プロファイル例を図13に示す。HINEXは従来の合金鋳鉄材である合金グレンに対比して、約4倍の耐摩耗性を持っている。

3.2.3 軸材および境界の強さ

HINEXロールの心材である鍛鋼は、遠心鋳造ロールの軸材としては最も強い球状黒鉛鋳鉄の引張強さ390~540 MPaに対し約1.5倍以上の685~880 MPa、伸びも0.3~1.0%に対して10~15%と強靱性に富んでいる。HINEXロールの内外層境界の強さは、境界を含んだ引張試験片で、前記在来ロールの1.5倍以上(540~640 MPa)を示し、破断位置は図14に示すように境界の外層側に生じ、境界は健全な金属結合状態にあることがわかる。

表1 HINEXロールの材質仕様の代表例 RZ30は棒、線材中間仕上げで多数の納入実績があり、熱間薄板仕上げ用にも使用中の代表的な材質である。

材質	特徴	硬さ	心材	用途
RZ30	耐摩耗性 耐肌荒れ性	HS80~90	鍛鋼	熱間板仕上げ 棒・線材中間仕上げ

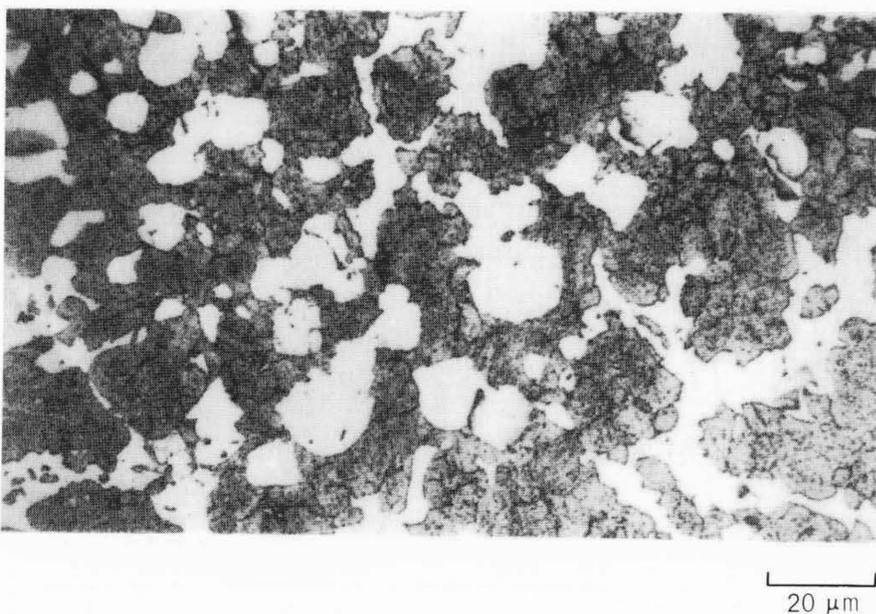


図10 HINEXロールの外殻層を形成する高炭素ハイス系鋼の金属組織 マルテンサイト主体の基地中に硬質のMC系、M₆C系の炭化物が分布している。

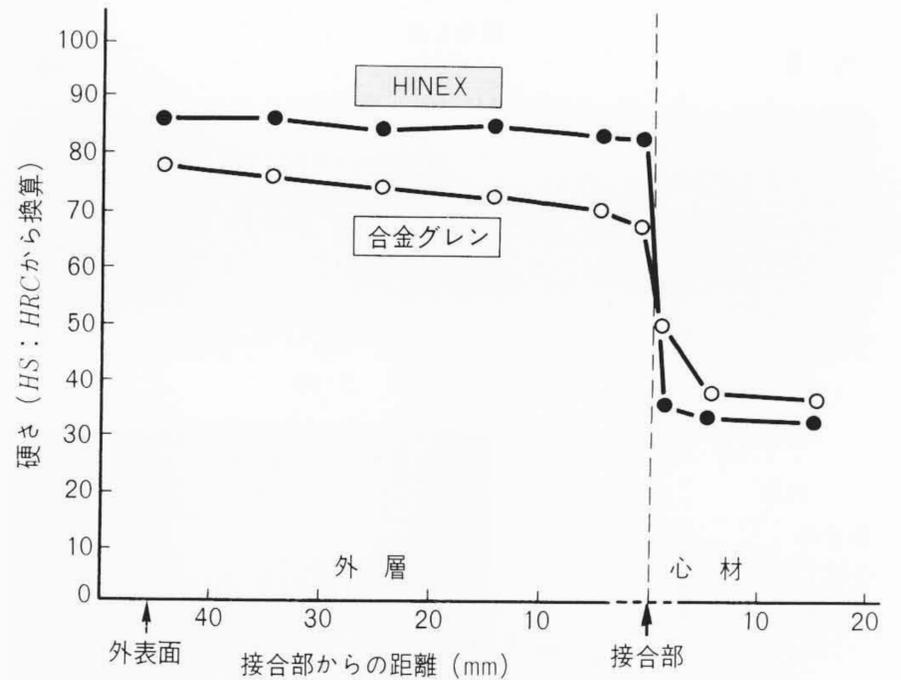
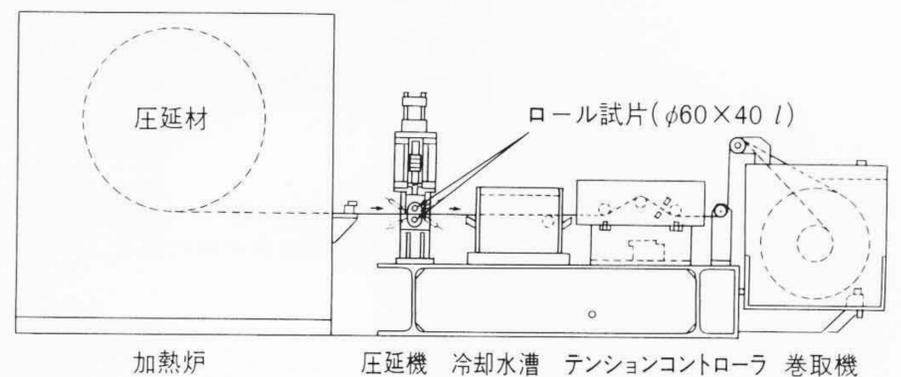


図11 HINEXロールの半径方向硬さ分布 HINEXロールは在来の遠心鋳造製の合金グレンロールより高硬度で、外層部内の硬さ低下はHS3以内である。



試験条件

圧延圧力	60~65 kg/mm ²
圧延温度	900 ± 5 °C
圧延速度	150 m/min
圧下率	25~30%
冷却水	ロール入側: 0.4 l/min ロール出側: 4.0 l/min
圧延材	材質: SUS304 寸法(mm): (厚み 1.0) × (幅 15.0) × (長さ 2.0 × 10 ⁵)

図12 熱間圧延摩耗シミュレータ模型図 加熱炉を出たコイルは二重式圧延機で圧下され、テンションコントローラによって一定の張力を受けて巻き取られる。

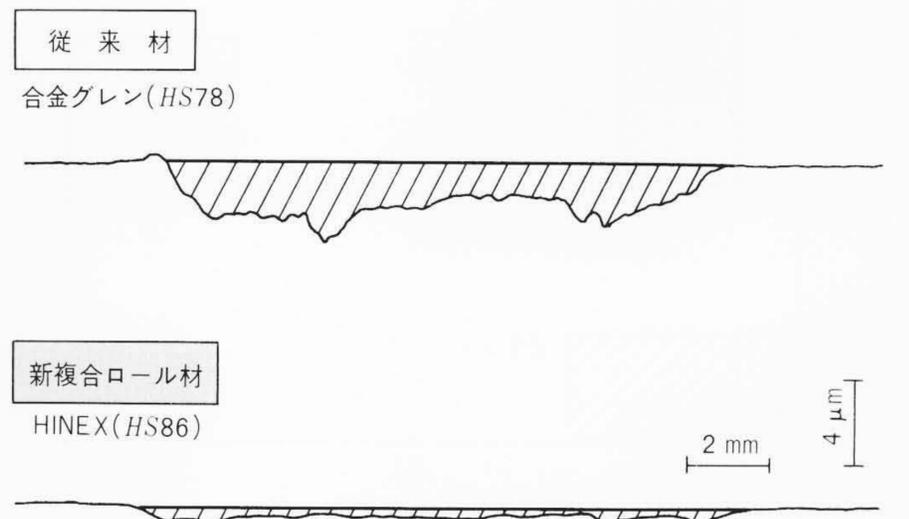


図13 熱間圧延摩耗シミュレータを用いた試験ロールの摩耗プロファイル例 HINEXは従来材合金グレンに対比して、約4倍の耐摩耗性を持っている。

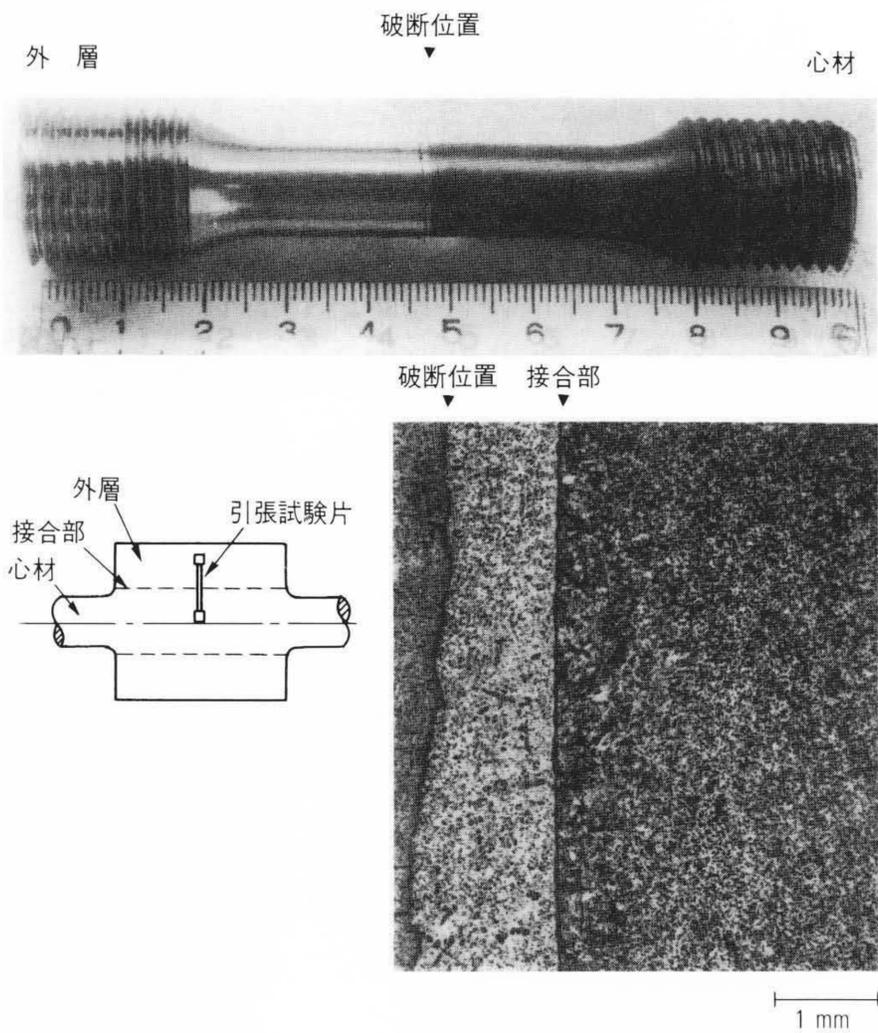


図14 HINEXロール接合部引張試験片の破断状態 破断位置は接合部の外層側で生じており、境界は健全な金属結合状態にある。

3.2.4 耐熱き裂性

HINEXロールの外層の引張強さおよび耐事故性の指標となる靱性値 K_{Ic} を、在来ロール材質⁵⁾と対比して図15に示す。HINEXは低炭素のアダマイト材を除く在来材質と同水準の靱性を示し、しかも高い引張強さを持つ。熱間圧延で表面に生じる熱き裂に対しては、ロール表面の圧縮残留応力が大きく

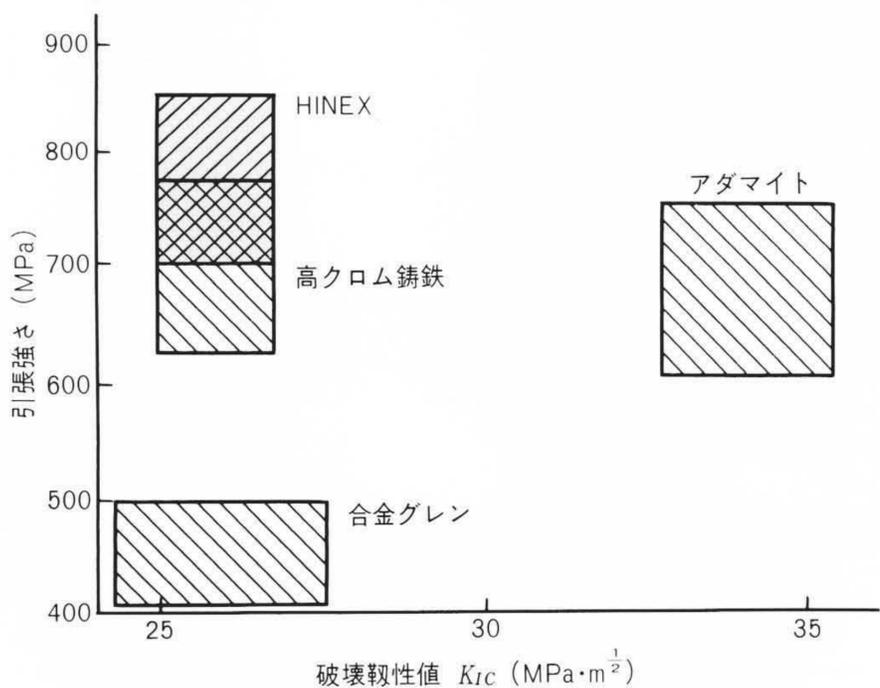


図15 各種ロール材の引張強さと破壊靱性値 HINEXロールは、従来材よりも高い引張強さと、従来材(アダマイトを除く)と同程度の破壊靱性値を示す。

影響することが知られている⁶⁾。このHINEXロールは心材との接合境界が強靱であるので、在来ロールよりも大きな圧縮残留応力を外層に付与することができる。HINEXロールの残留応力分布の測定例を図16に示す。外層に200~295 MPaの圧縮応力が付与されていることにより、耐熱き裂性の改善が期待できる。

このようにHINEXロールは、耐摩耗性と耐事故性を両立させた特性を持っている。

3.3 HINEXロールの使用実績

1990年1月現在、フープミルを含むホットストリップミル用ワークロールとして14本のロールが稼動中であるが、どちらも従来ロールに対比して4倍以上の耐摩耗性が確認されている。

3.3.1 耐摩耗性と耐肌荒れ性

熱間板仕上用後段ロールでの摩耗量を在来ロールと比較した結果を図17に、またそれらの摩耗プロファイルを図18に示す。在来の合金グレンと対比して耐摩耗性は4倍で、偏摩耗もみられない^{7),8)}。

圧延後のロール表面肌は図19に示すように在来ロールと比較して美しく、粗さも約 $\frac{1}{2}$ である。この結果、圧延製品の表面品質も改善された。さらに、ロール表面の微細な熱き裂を含むロール肌荒れ深さは図20に示すとおりで、表面粗さと同

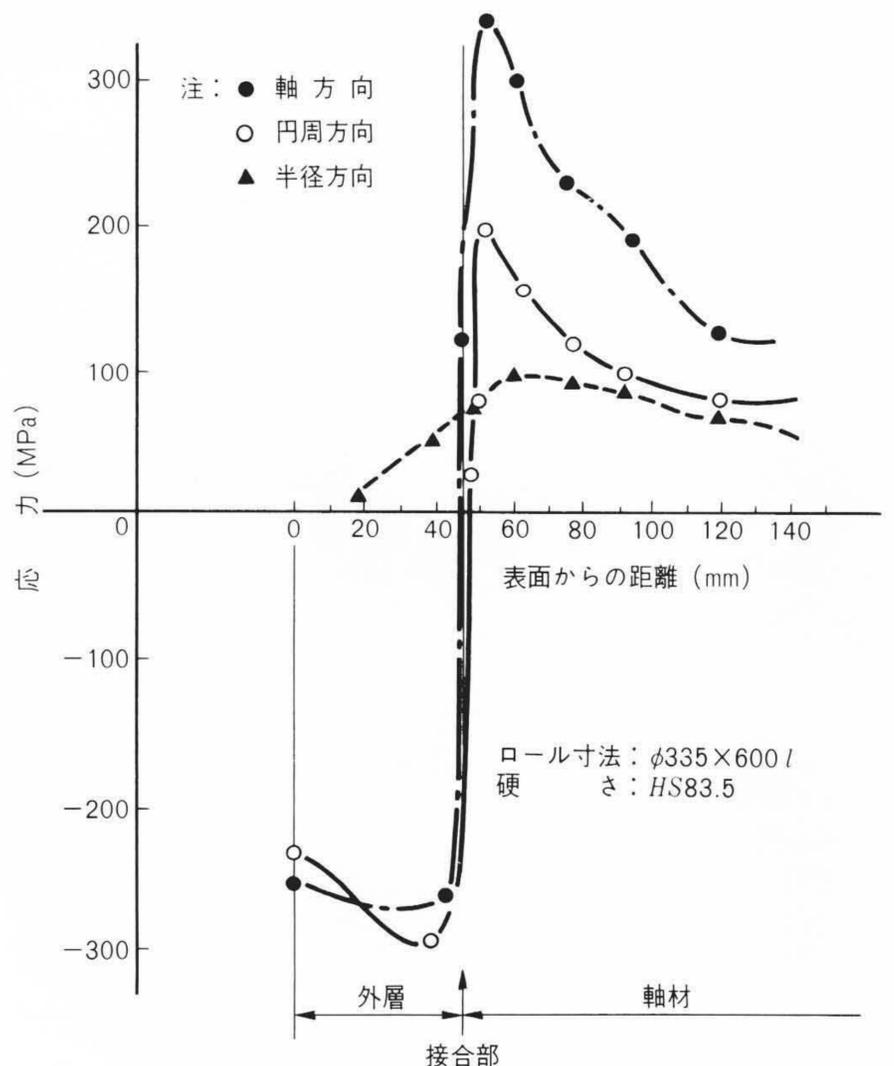


図16 HINEXロールの残留応力分布の測定例 外層側に200~295 MPaの圧縮残留応力が付与されている。

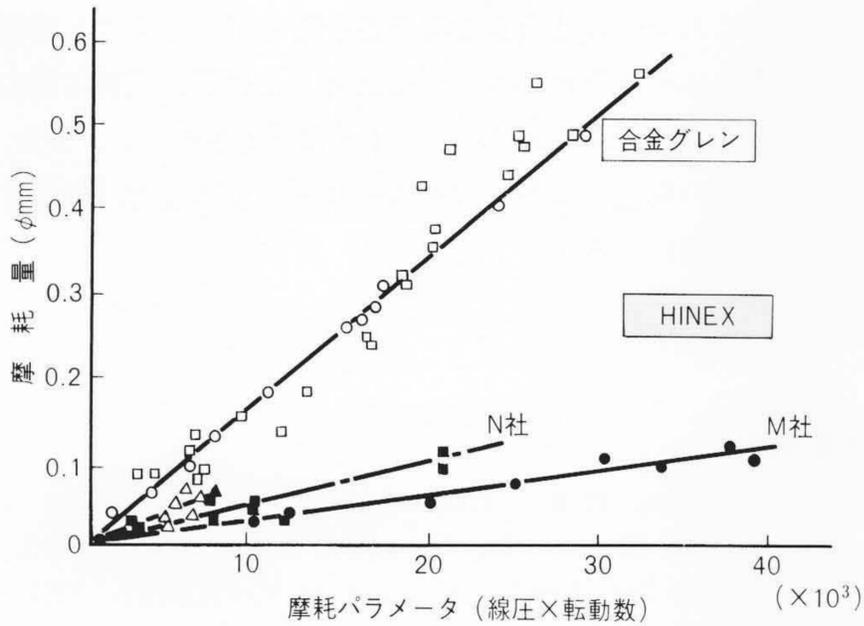


図17 圧延後のロール表面摩耗量の比較 HINEXは合金グレンの約4倍の耐摩耗性を示す。

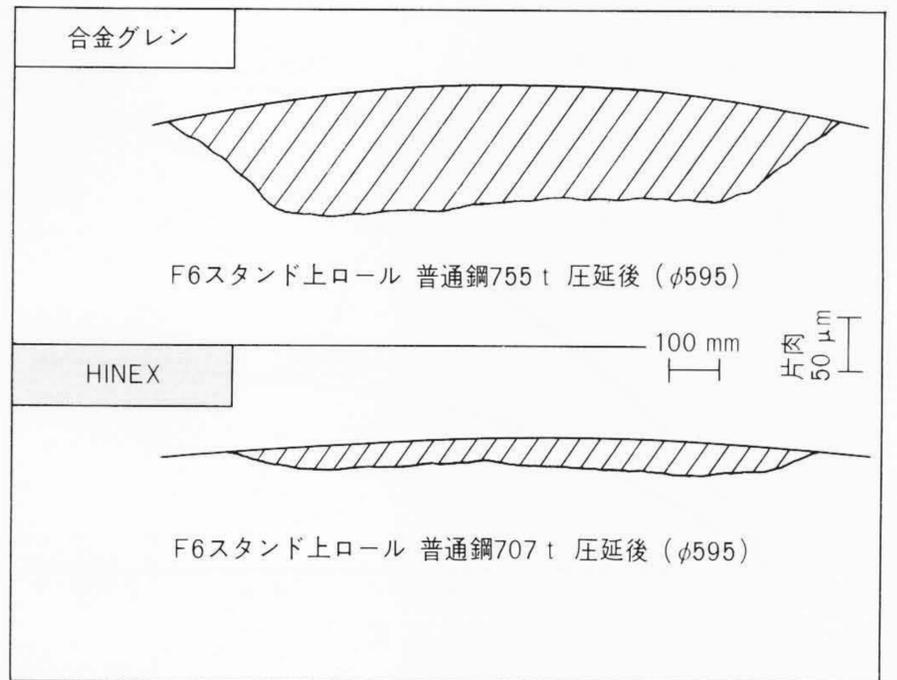


図18 ロール表面摩耗プロファイルの比較 HINEXは、在来の合金グレンロールと対比して摩耗量は約 $\frac{1}{4}$ で、偏摩耗もみられない。

様に合金グレンに比べ半減している。

3.3.2 耐事故性と信頼性

HINEXロールの絞り込み事故などの圧延トラブルによる消耗量は、合金グレンと同程度である。また、折損・スポーリング⁹⁾などの破壊事故は発生していない。一方、ロールに最大

2 mmのたわみを加える極小径ロール圧延でその強靱性が確認されるとともに⁷⁾、板端部エッジドロップが大幅に改善され、次世代ロールとしての期待に十分対応できることが実証された。

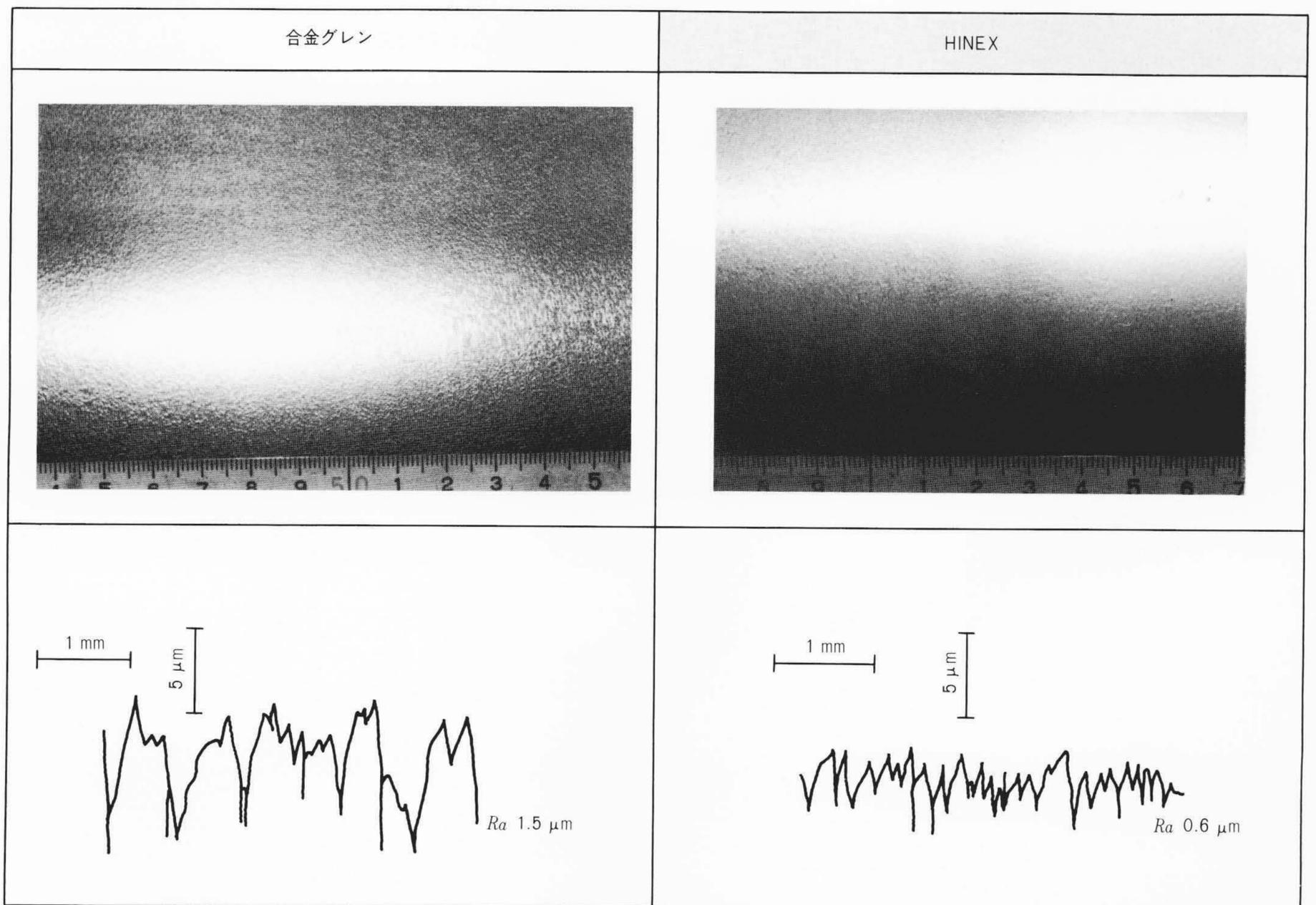


図19 圧延後のロール肌荒れ状況(F5スタンドの例) HINEXは在来ロールに比較して美しく、粗さは約 $\frac{1}{2}$ である。

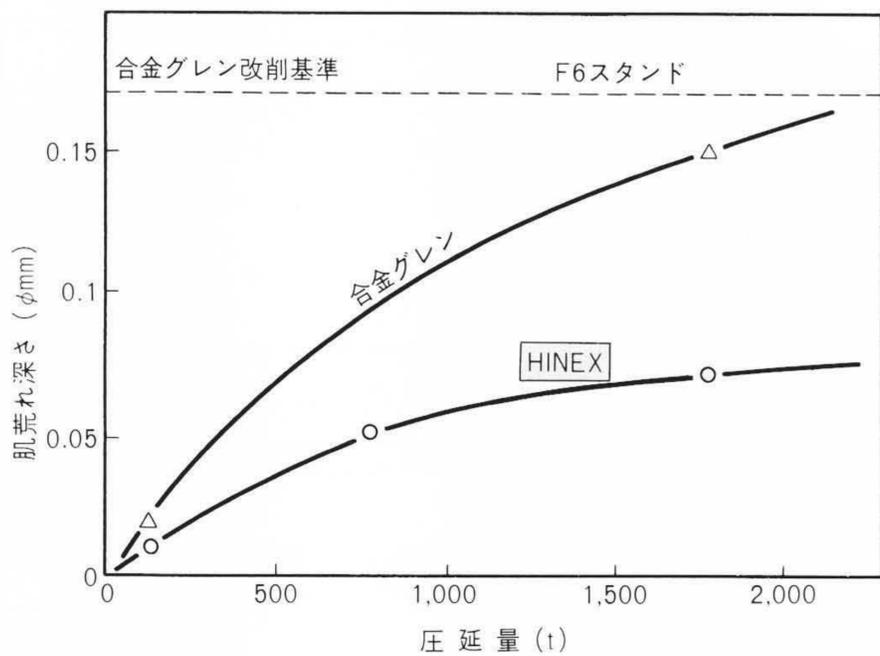


図20 ロール肌荒れ深さの比較 HINEXは、亀(きつ)甲き裂深さで代表される肌荒れ深さも、合金グレンに比べて半減している。

4 結 言

鉄鋼をはじめとする圧延産業は「量から質の時代」へ、さらに「プロセス革新の時代」へと進展している。これに対応して、圧延に直接かかわるワークロールの革新の必要性もますます高まってきた。新たに開発に成功した2種類の複合構造ロールは、どちらも従来ロールの常識を破る性能を持つものである。板の表面品質に対する要求は今後も高度化、多様化することは必至であり、これらの要求にこたえられるロール

として、このロールは大きな将来性を持っているものと確信する。今後はそれぞれのニーズに適合した材質の開発に努力し、複合構造ロールのメリットを十分に発揮させたい。また、ロール品質の向上には不可欠なユーザー各位の協力、援助を引き続きお願いする。

参考文献

- 1) H. Kodama, et al.: Properties of Clad Rolls by a Rotational Electro-Slag Remelting Bimetallic Method, Proc. 8th Int. Conf. on Vacuum Metallurgy, 1207~1219(1985)
- 2) 近藤, 外: 高クロム鉄複合ロールの特性, CAMP-ISIJ, 1(1988)1556
- 3) 近藤, 外: セミハイス複合ロールの特性, CAMP-ISIJ, 1(1989)1516
- 4) 甲賀, 外: 回転付与ESR法による極小径熱間ワークロールの開発, CAMP-ISIJ, 2(1989)1478
- 5) 福沢, 外: 熱延仕上後段用ワークロールの靱性に及ぼす鑄造組織の影響, 鉄と鋼, 72(1986)S306
- 6) 佐野, 外: 最近の熱間薄板圧延機用作業ロール, 日立評論, 67, 4, 303~308(昭60-4)
- 7) 倉橋, 外: 極小径新材質ワークロールの開発とその実機性能について, CAMP-ISIJ, Vol.2(1989)490
- 8) 栗田, 外: 熱延後段スタンドへのハイスロールの適用, CAMP-ISIJ, Vol.2(1989)491
- 9) 佐野, 外: ホットストリップミル仕上後段作業ロールに生じるスポーリングの統計的解析, 鉄と鋼, 73(1987)78