

冷間圧延機用ロール

Rolls for Cold Rolling Mills

冷間圧延機の高性能化及び圧延技術の進歩に伴い、使用される圧延用ロールの製造技術や性能も飛躍的に向上している。特に最近では厳しい圧延条件下で使用される一方、圧延能率を上げ、コストは下げねばならないので、ロールの性能向上が圧延での重要な因子になっている。

ここでは冷間圧延機用各種ロールの具備すべき条件と、近年のロール製造技術及び最近の冷間圧延機用ロールのもつ性能を、実験データなどにより取りまとめ報告する。

1 緒言

最近の圧延設備と圧延技術には著しい進歩が見られるが、これに使用されるロールの製造技術や性能も飛躍的に向上している。

一般に、冷間圧延では、製品板厚が薄く、しかも硬いものが求められる傾向にあり、品質の面では寸法精度、平坦度あるいは製品肌の改善などに対しても要求が強まっている。一方、圧延能率を上げ、コストを引き下げること不可欠な課題となっているが、これには、ロールの性能の向上が重要である。

現在、耐事故性、耐摩耗性、高硬度・高硬化深度、健全性の向上など、信頼性に富む優れたロールが開発されるに至ったが、本稿では代表的な冷間圧延機に使用される各種ロールにつき、その具備条件、製法、特性などを中心に述べる。なお、ロール材質名は、日立ロール材質名で呼称した。

2 作業ロール

4段圧延機及びHC-MILL、UC-MILLのような6段圧延機用作業ロールに要求される性質の主なものは、

- (1) 表面及び内部にわたって清浄かつ健全であること。
- (2) 地の硬さが高く、かつ硬化深度が大きいこと。
- (3) 耐肌荒れ性、耐摩耗性に優れていること。
- (4) 耐熱衝撃性に優れ、十分な靱性、強度をもっていること。
- (5) 圧延性に優れていること。

などである。Crは組織の基地硬さを上げ、耐摩耗性を増すとともに、焼入れ性も向上する効果をもっているため、その含有量は3～5%程度のものが一般的になりつつある。今後、ロール表層の研削技術やダル加工技術が進歩するに従い、更に高合金鋼化指向が強まることが予想される。

2.1 ロール材質

一般に使用されている作業ロールの材質を表1に示す。合金元素の調和ある添加により、硬化層深さは従来材の場合より大きく向上している。

2.2 清浄度及び内部健全性

清浄かつ健全な鋼塊を製造するための特殊技術として、真空脱ガス法、とりべ精錬脱ガス法、エレクトロスラグ再溶解(以下、ESRと略称する。)法などを独自に開発し、ロールの用途に応じてこれらの製鋼法を選択し、駆使している。

図1に大気、真空脱ガス法などの製鋼法で製造された4鋼

吉岡一郎* Ichirō Yoshioka

佐藤研一* Ken'ichi Satō

畠山 尚* Hisashi Hatakeyama

石川敏典* Toshinori Ishikawa

種についての非金属介在物清浄度を示す。

ESR法では、凝固条件の変動が少ないので、鋼塊外層では特に密な凝固組織が得られる。また鍛造性に優れているため、この密な鋼塊外層部をロールの利用径層に有効に活用できる。しかも、従来ロールでの2倍以上に当たるロール直径の30%の範囲まで実用上問題のない健全性が確保できるなど多くの利点があり、高品質ロールの製造に適用範囲を拡大している。

表1 作業ロールの材質と硬さ 合金元素の調和ある添加により、硬化層深さは大きく向上した。

材質 (ロールタイプ)	主要化学成分(%)				胴部硬さ Hs	硬化層深さ
	C	Mn	Cr	Mo		
FH-11(従来材)	0.90	0.40	3.00	0.25	93~97	胴径40mm減少で Hs90
FH-13(KDH-30)	0.90	0.40	4.20	0.25		胴径60mm減少で Hs90
FH-14(KDH-40)	0.90	0.90	4.50	0.25		胴径80mm減少で Hs90

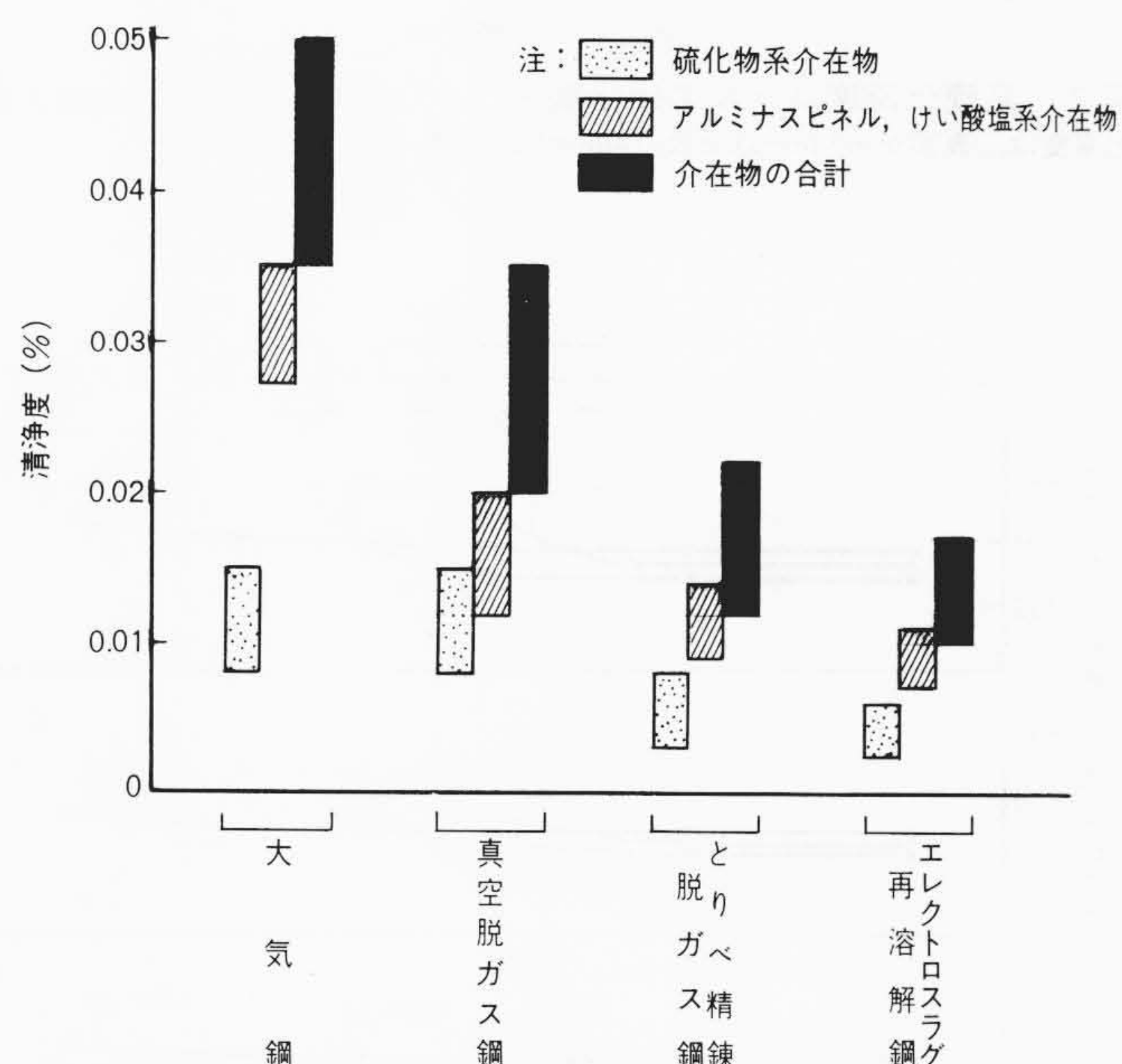


図1 製鋼法による清浄度比較 製鋼技術の向上により、大気鋼に比較して清浄度は極めて良くなった。

* 日立製作所勝田工場

2.3 硬化深度

硬化深度を増大させるため、Cr含有量を増すとともに、DHT(Differential Heat Treatment)法とサブゼロ処理法を実用化した¹⁾。

このDHT法は、有効外層を低周波誘導により急速に加熱し、噴水で冷却する漸進焼入法であり、硬化深度の増大や残留応力の低減に効果的である。また、タンデムミルでは各スタンドによって求められる硬さ値が異なるので、これを配慮した硬化層分布をもつロールの製造が可能で、例えばスリップ現象の多い第1スタンドで耐事故性が要求される場合などは、このDHT法は極めて有効である。各種ロールの硬化層分布例を図2に示すが、材質の特性がDHT法により十分に発揮された深い硬化層が得られている。

高硬化深度ロール²⁾の実用化により、従来径小に至るまでに必要とされていた再焼入れを省略することも可能となった。

なお、最近の要求にこたえ、胴径580mmのロールで外表面から深さ50mmでショア硬さ(以下、単にHsと称する。)90を確保するロールを開発した。

2.4 焼入硬化部の靱性

サブゼロ処理は $-150\sim-20^{\circ}\text{C}$ で行なわれるが、この処理で懸念される点は靱性低下である。しかし、適切な熱処理法の選定により改善している。焼入硬化部の曲げ靱性値を図3に示す。

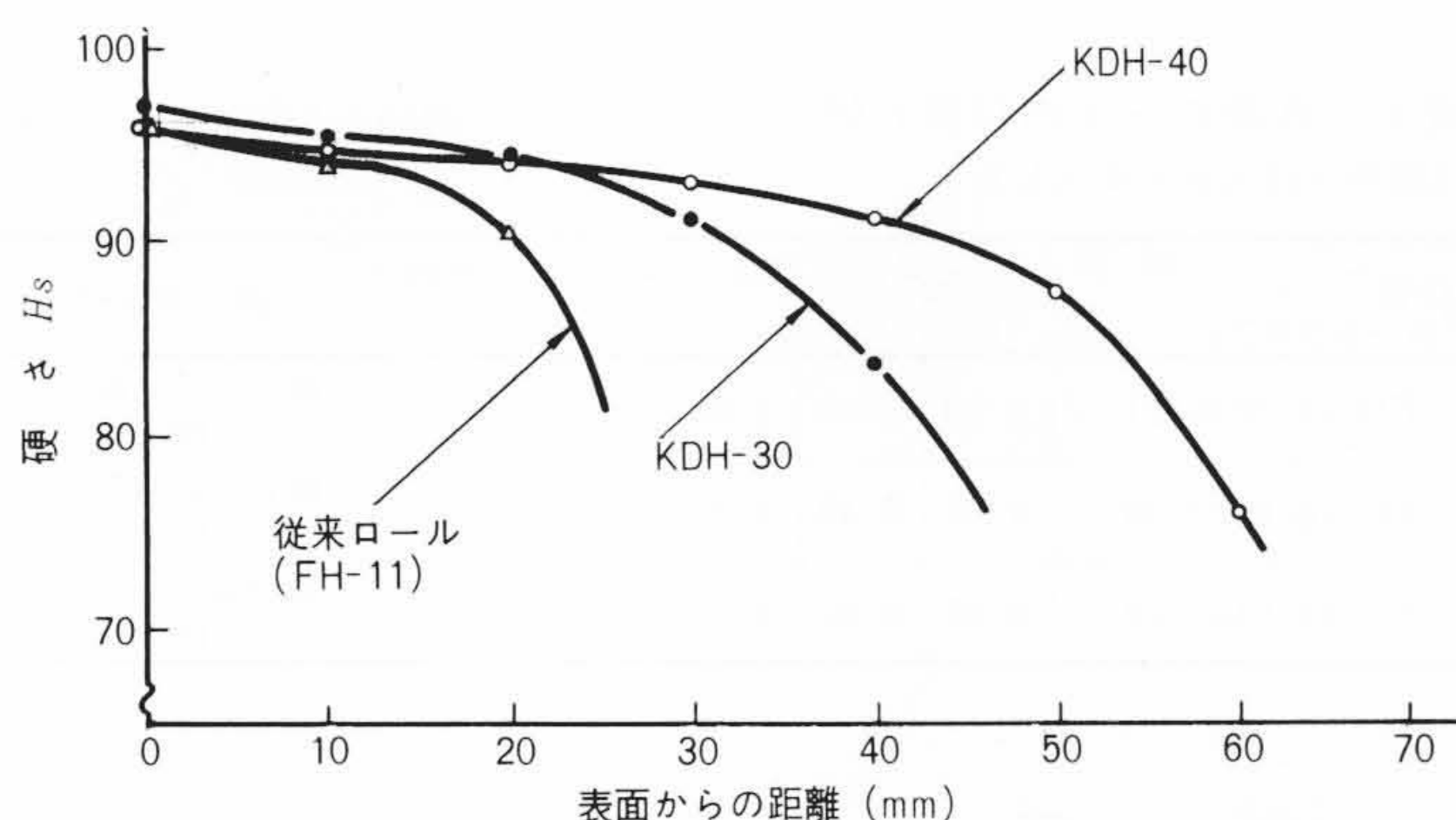


図2 高硬化深度ロールの硬化層分布 KDH-30及びKDH-40の焼入硬化深度は、表面から30mm以上及び40mm以上である。

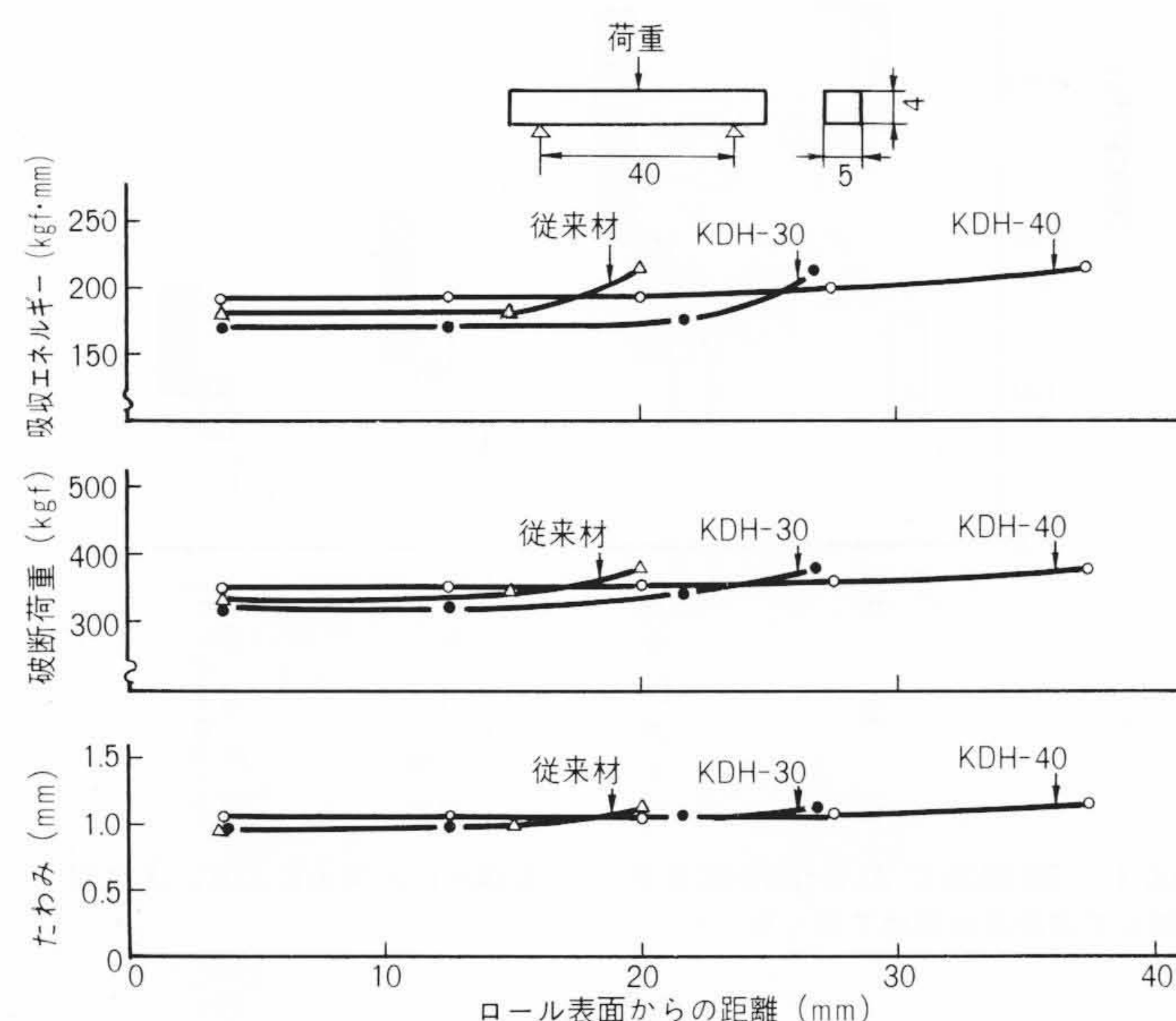


図3 焼入硬化部の曲げ靱性値 適切な焼入・焼戻し温度の選定により、懸念された靱性の低下は解消されている。

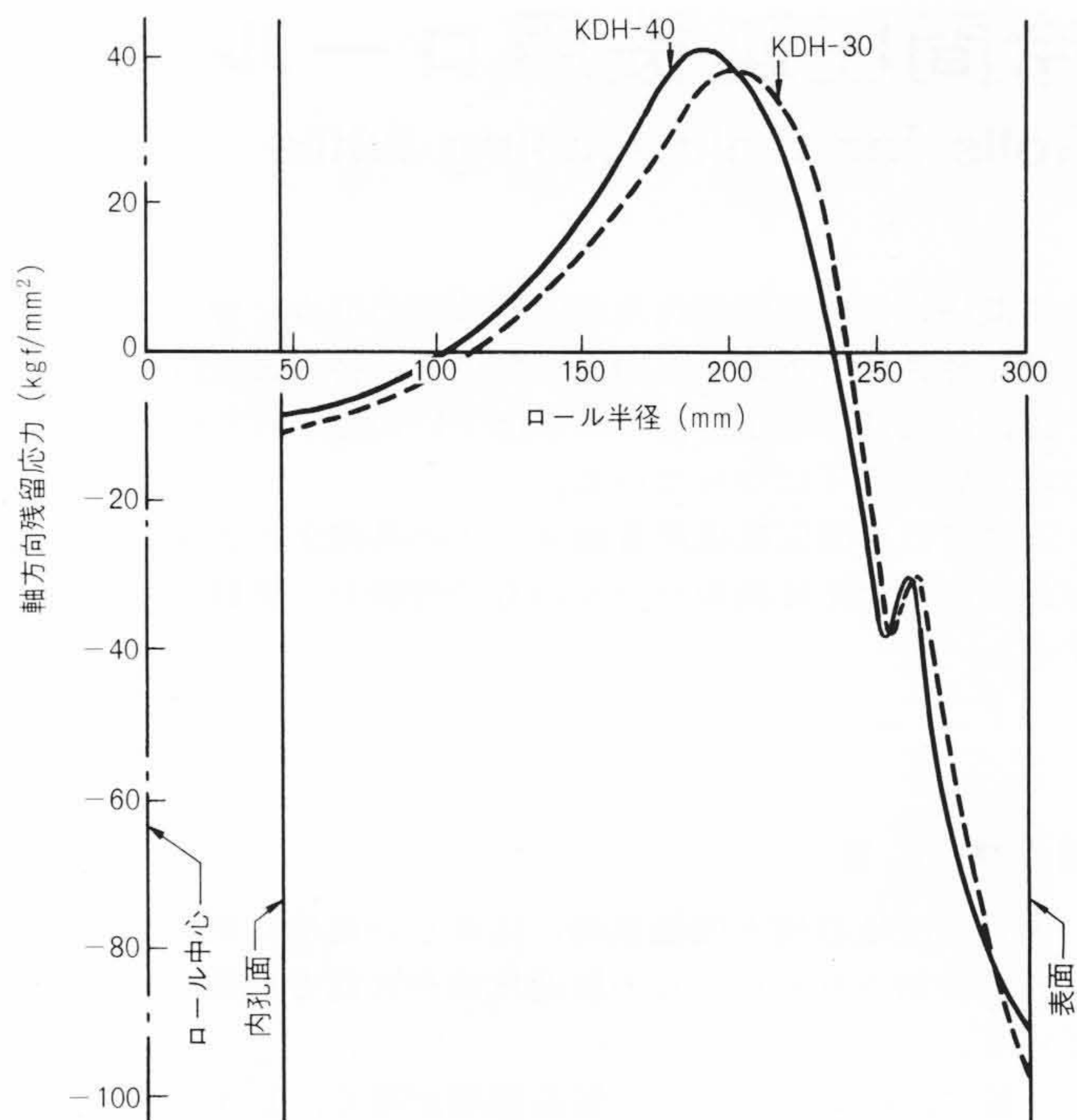


図4 高硬化深度ロールの残留応力分布 DHT法の適用により、表面では $90\sim100\text{kgf/mm}^2$ の圧縮残留応力に、内部では約 40kgf/mm^2 の引張残留応力にとどめられている。

2.5 耐熱衝撃性

絞り込み、板破断、スリップなどの不可避的な圧延事故に遭遇した場合の熱衝撃抵抗については、焼入層の靱性向上、焼戻し抵抗の増大及び変態時の膨脹・収縮を少なくするような元素の添加によって改善を図っている。この耐事故性は高周波熱サイクル試験機による熱衝撃試験で従来材とほぼ同等の水準であることを確認している。

2.6 熱処理残留応力

DHT法による漸進焼入ロールは、表面の圧縮残留応力及び内部の残留応力が従来の全体加熱焼入法による場合に比較して小さいので、圧延事故に対する抵抗だけでなく、ロール破損に対しても信頼性が高い。胴部直径600mmのロールの残留応力分布を図4に示す。表面では $90\sim100\text{kgf/mm}^2$ (全体焼入法では $110\sim130\text{kgf/mm}^2$)の圧縮応力に、内部では約 40kgf/mm^2 (同 $60\sim80\text{kgf/mm}^2$)の引張応力になっており、残留応力の面でも大きく改善されている。

3 中間ロール

HC-MILL及びUC-MILLなど6段圧延機用中間ロールには、主として次の性質が要求される。

- (1) 転動疲労強度が優れていること。
- (2) 耐摩耗性、耐肌荒れ性に優れていること。
- (3) 板耳チップなど異物の埋め込み性があり、作業ロールの肌を痛めないこと。
- (4) 胴部表面に塑性流動を生じないこと。

3.1 ロール材質と硬さ

表2に代表的なロール材質と硬さを示す。中間ロールの硬さは作業ロール表面にダル加工を付けたダルロールの場合と研削面のままの状態を使用するスミースロールの場合とに区分され、前者の場合にはダル頂部の微視的範囲での接触圧力が極めて大きくなることから、作業ロールの硬さに接近したレベルのロールが採用され、中間ロールに発生するピッチングを防止している。なお、径小時点での硬さは、両者とも初

めの硬さから $Hs5$ 以内の低下であることが望ましい。また、中間ロールは作業ロールの凹みきずや肌荒れ防止の観点から、作業ロールより $Hs10 \sim 20$ 程度低いものが使用される(作業ロールがスームスの場合)。

3.2 材力強度

一組込み当たりの中間ロールの稼動時間は、一般に作業ロールの10倍程度が要求されるので、転動疲労強度に優れ、かつ作業ロールと補強ロール双方との高い接触圧力に対し、胴部表層に塑性変形を生じてはならない。前述した作業ロールとの硬さの釣り合いとともに、これら要求される性能はその硬さレベルに大きく影響される。

中間ロールの転動疲労強度を図5に示すが、選定する硬さレベルは必要改削量の多少にも影響することを考慮しなければならない。

また、作業ロールと異なり、圧延中に軽微な損傷を表面に生じて、そのまま使用が横行されがちである。このため、損傷部を起点とした大きなスポーリングへと容易に進展させないためには破壊靱性値が大きいことが有利である。硬さと破壊靱性値との関係を図6に示す。

なお、中間ロールはその使命を全うした後、他種ロールに再生され、使用されることがある。このため、内部までの健全性とともに、従来は熱処理上必要とされていた中心孔の存在は稼動時に両張りの作用応力が1回転に2回作用するため、疲労強度上不利であることなどから、日立製ロールはDHT法の適用により中実ロール(無内孔ロール)として信頼性を高めている³⁾。

3.3 耐摩耗性

中間ロールをシフトする6段圧延機では、軸方向の線圧分布が不等分布となる。そして、線圧の大きい部分で中間ロールの摩耗が多いと圧延機の形状制御能力が低下することになる。ロールの材質、硬さと耐摩耗性の関係を図7に示すが、同じ硬さレベルの中間ロールでも材質を選定することで摩耗を少なくできることを示している。

3.4 内部健全性

清浄かつ健全なロール素材を得る特殊技術として、前述し

表2 中間ロールの材質と硬さ 中間ロールには作業ロールとほぼ同じ鋼種が用いられ、その硬さは作業ロールがダルの場合とスームスの場合とで選定される。

項目 材質	主要化学成分 (%)				胴部硬さ Hs	
	C	Mn	Cr	Mo	作業ロールダルの場合	作業ロールスームスの場合
FH-11	0.90	0.40	3.00	0.25	$Hs85 \pm 2$	$Hs75 \pm 2$
FH-13	0.90	0.40	4.20	0.25		

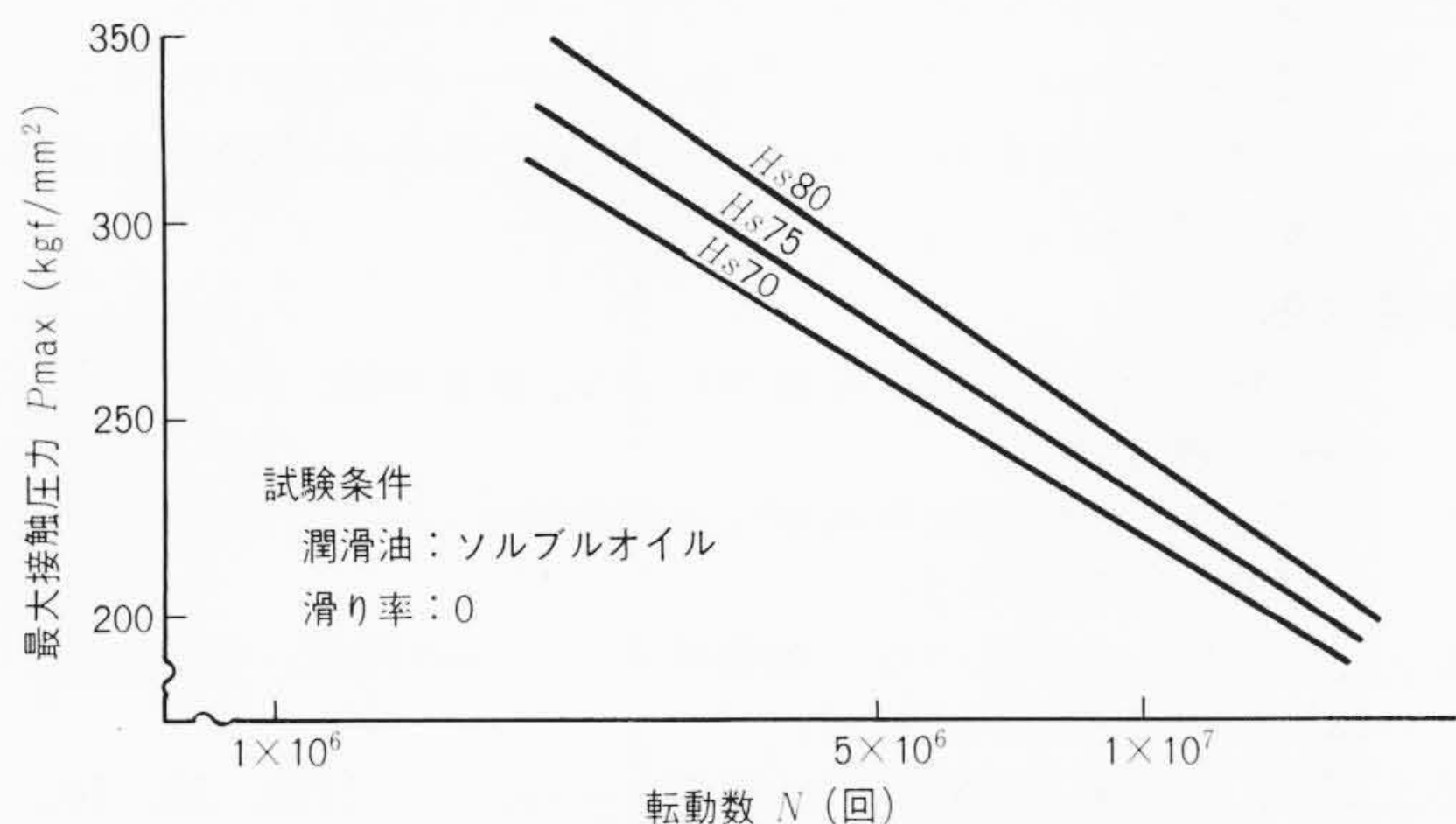


図5 中間ロールの硬さと転動疲労強度(西原式試験機) 硬さの選定によって接触圧力に応じた転動数が定まり、実機での中間ロールの必要削り量にも大きな影響を及ぼす。

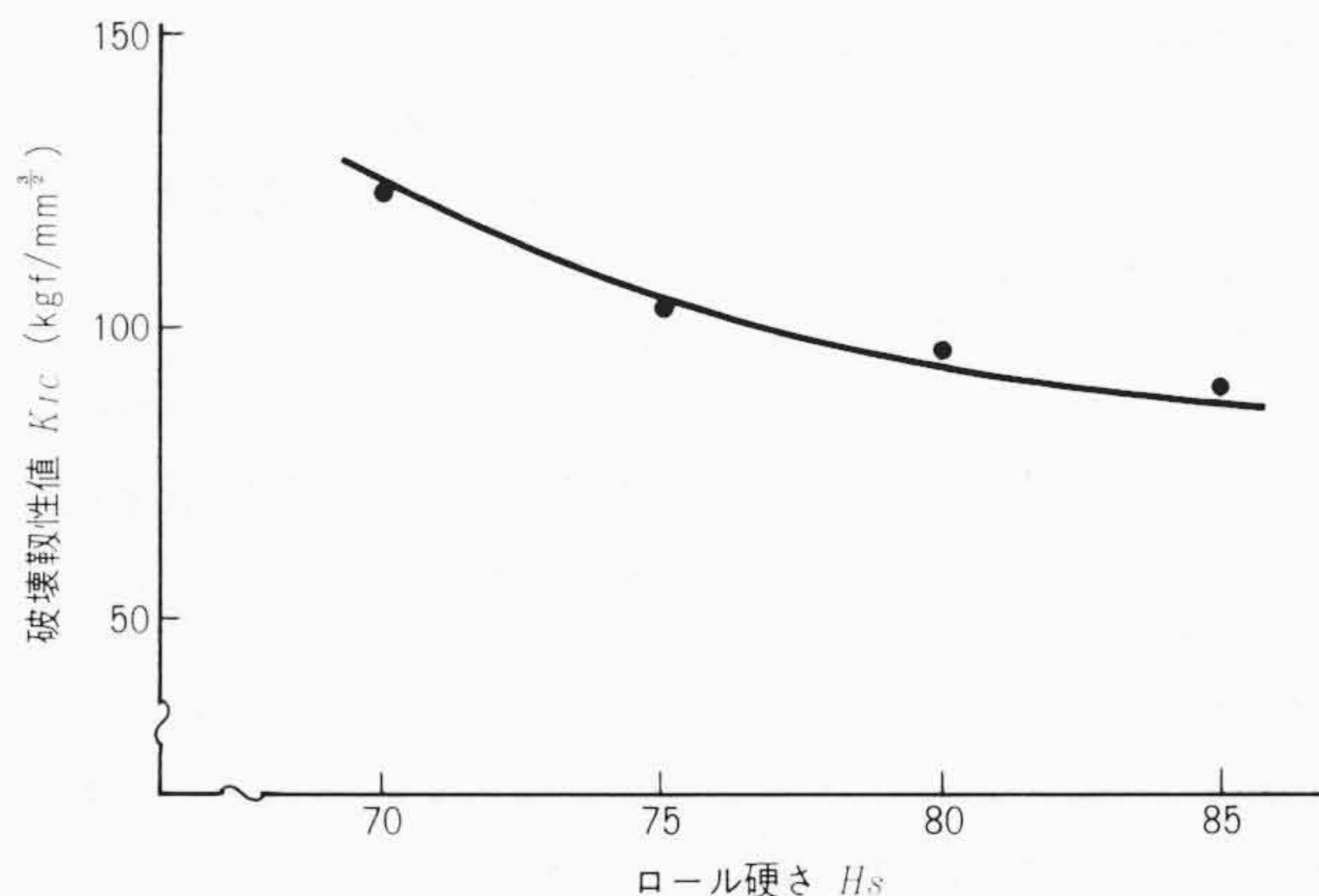


図6 ロールの硬さと破壊靱性値 いったん発生したクラックの進展性は破壊靱性値に依存する。破壊靱性値は当然硬さが高いほど低下する傾向にある。

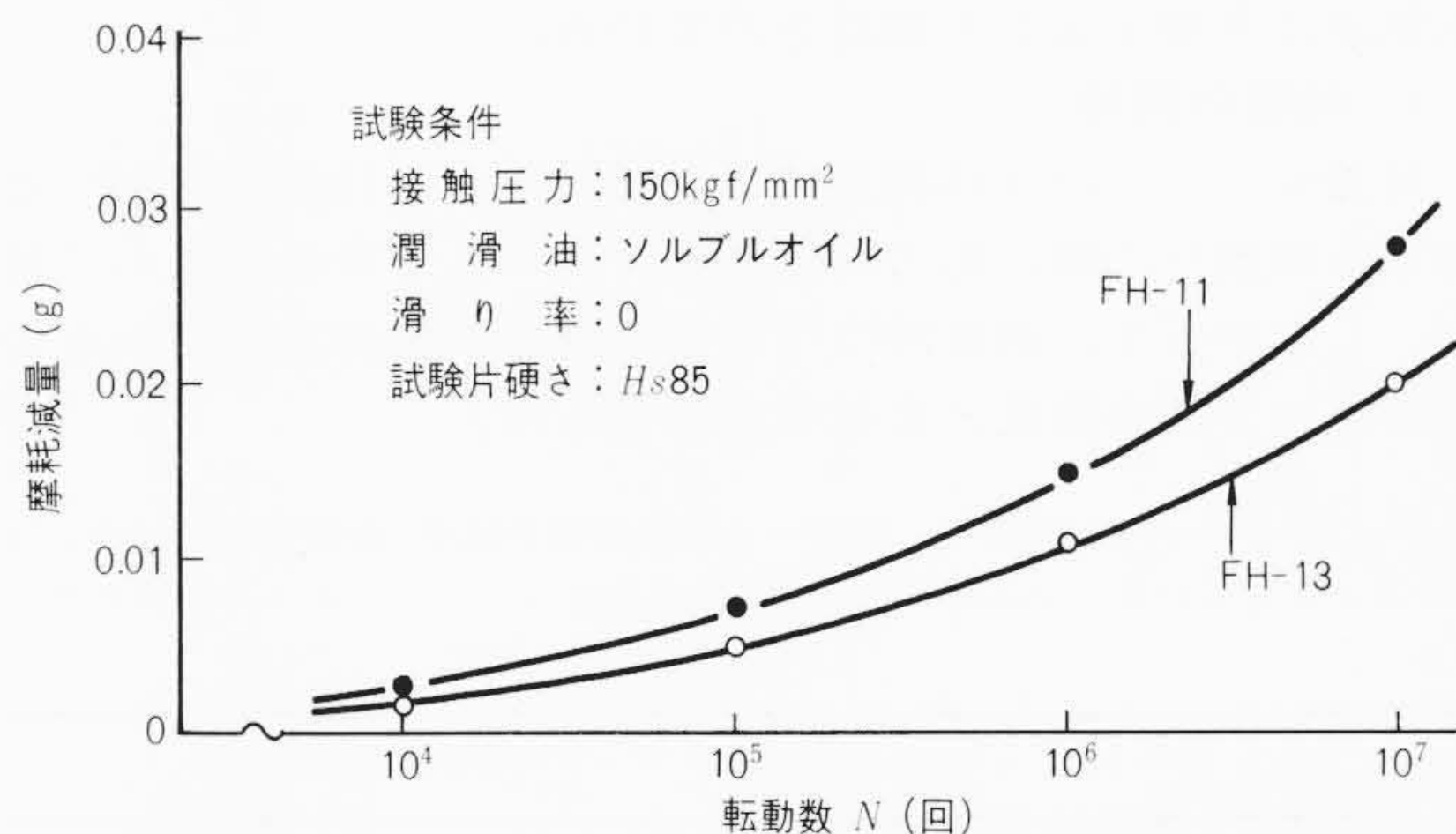


図7 中間ロールの材質による耐摩耗性の比較(西原式転動試験機) 同じ硬さでも中間ロールの材質によって耐摩耗性は異なる。これはロール材のマトリックスの硬さなどに依存するものである。

たとって精錬脱ガス法、ESR法などが用途に応じて駆使され、ロール直径の30%の範囲では実用上問題なく使用できる健全性が確保されている。

4 補強ロール

圧延製品の高品質化及びロール原単位の改善などから、補強ロールは耐スポール性、耐摩耗性に優れた高硬度のものが要求されている^{1),4)}。

両特性の改善には、硬さを上げることが最も一般的かつ効果的であるが、従来の低合金鋼では靱性を損なうため、高硬度ロールを得ることは不可能であった。このため、高硬度域でも靱性低下が少なく、しかも複合タイプのような不連続部のない高合金一体の素材と、独自に開発した焼入法を組み合わせ、DSロール(Double Structure Roll：高信頼性補強ロール)の製造技術を確認し、既に約1,000本の納入実績をもち広く好評を得ている。

4.1 製造法の特長

DSロールには、高合金鋼一体で、かつ無内孔の素材に50Hzの低周波誘導加熱を適用し、使用上必要な胴外層部だけを焼入れしている。このため、中心部の残留応力は割損の危険性が全くない低いレベルに抑えられている。中心部まで健全な素材を製造する技術が、熱応力的に過酷なこの焼入れを可能にし、硬化層が深く、耐摩耗性に優れた性能を付与している。一方、軸部及び胴内部の昇温は変態点より低く抑えられるので、調質時に付与した高靱性が維持できる。すなわち、高い性能をもちながら折損や割損に対しても高い信頼性をもっている。

4.2 ロール材質と硬化層分布

表3にDSロールの材質を、図8に硬化層分布例を示す。硬化層深さは用途に応じて深く付与することが可能である。

4.3 転動疲労強度

補強ロールには、優れた転動疲労強度をもっていることが求められる。図9に実験室的に得られたスポーリング発生までの硬さと転動数の関係を示す。同図からFB-5(3%Cr鋼)ではHs65~70, FB-6(5%Cr鋼)ではHs68~72の範囲で耐スポーリング性に優れていることが分かる。

4.4 耐摩耗性

耐摩耗性に優れることも補強ロールには重要な具備条件とされている。図10に、実機レベルに近似のヘルツ圧力を付与し、硬さをHs65一定として実験室的に求めた転動摩耗試験結果を示す。FB-5, FB-6では約 1×10^6 回転まで急速摩耗は見られず、FB-4との対比では約 $\frac{1}{3}$ の摩耗量となっている。この水準差は実機圧延でも確認されている。

4.5 軸部の靱性

補強ロールでは圧延荷重によってネック部(軸付け根部)に大きな両振りの曲げ応力が作用し、ロールの寿命も極めて長い。したがって、調質時に付与した靱性が保持されていることはネック部の強度に有利な効果をもつ。

表3 DSロールの材質 DSロールは転動疲労強度、耐摩耗性を加味した高Cr系となっている。Cr以外の成分はCr量に見合ってバランスよく調整されている。

材質	項目	主要化学成分(%)		
		C	Cr	Mo
FB-4		0.65	2.00	0.35
FB-5		0.45	3.50	0.70
FB-6		0.70	5.00	0.75

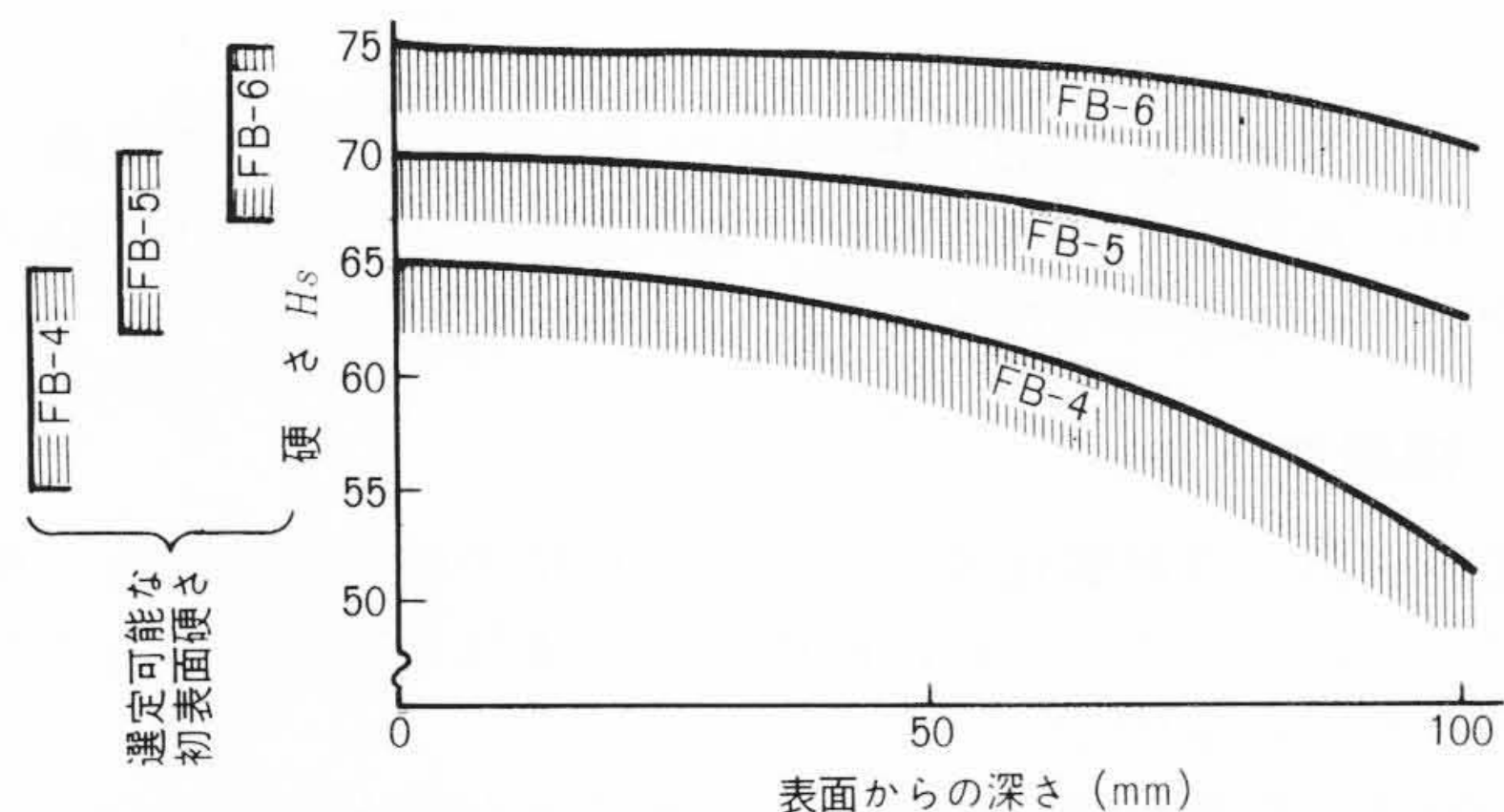


図8 DSロールの硬化層分布 FB-4に比べ、FB-5, FB-6は初硬度が高く選定でき、かつその硬度低下は極めて少ない。

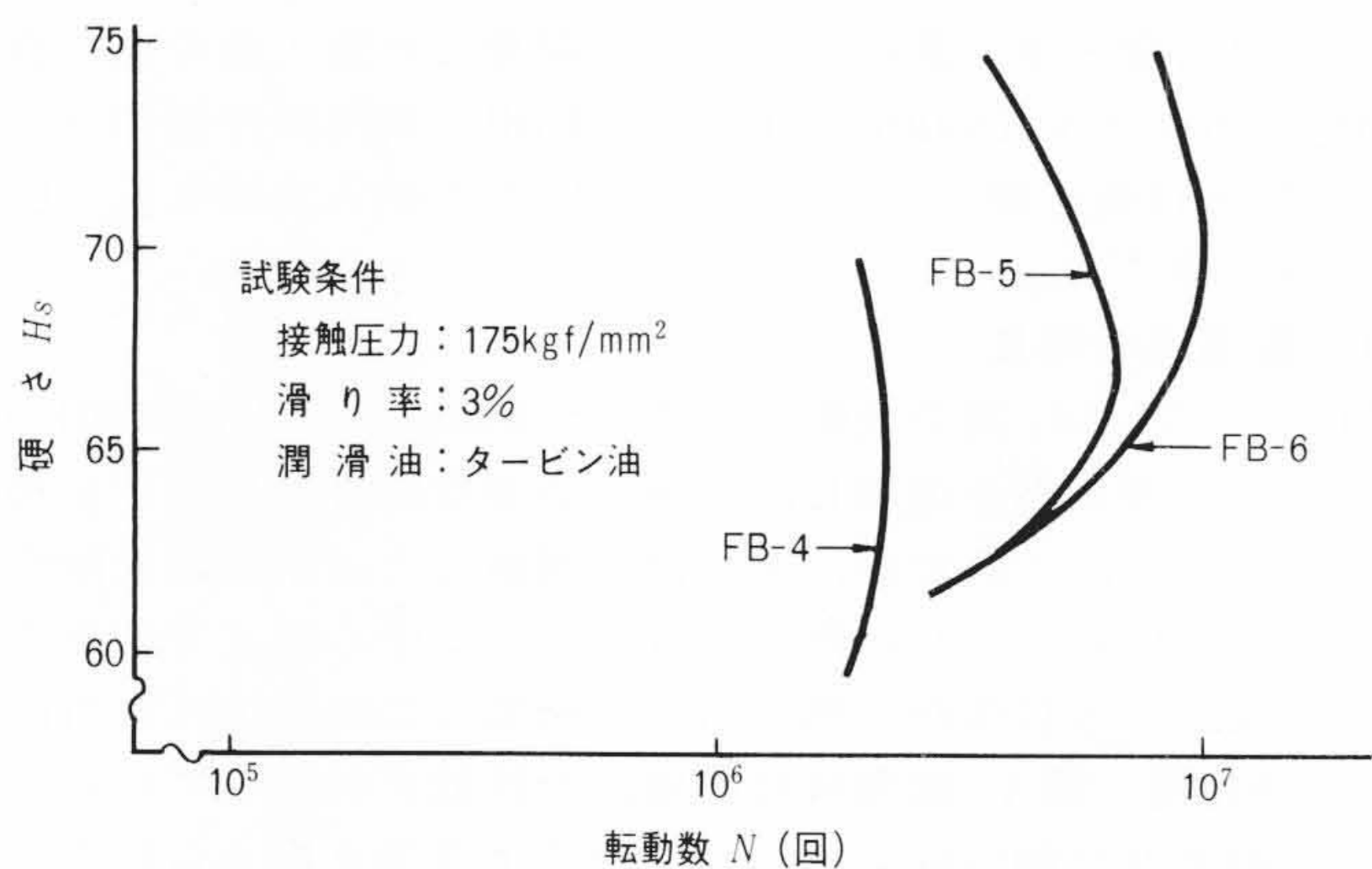


図9 スポーリング発生までの転動数と硬さの関係(西原式試験機) FB-5, FB-6はFB-4に比べ、スポーリングまでの転動数が大幅に延長されている。また、材質による最適硬さがよく示されている。

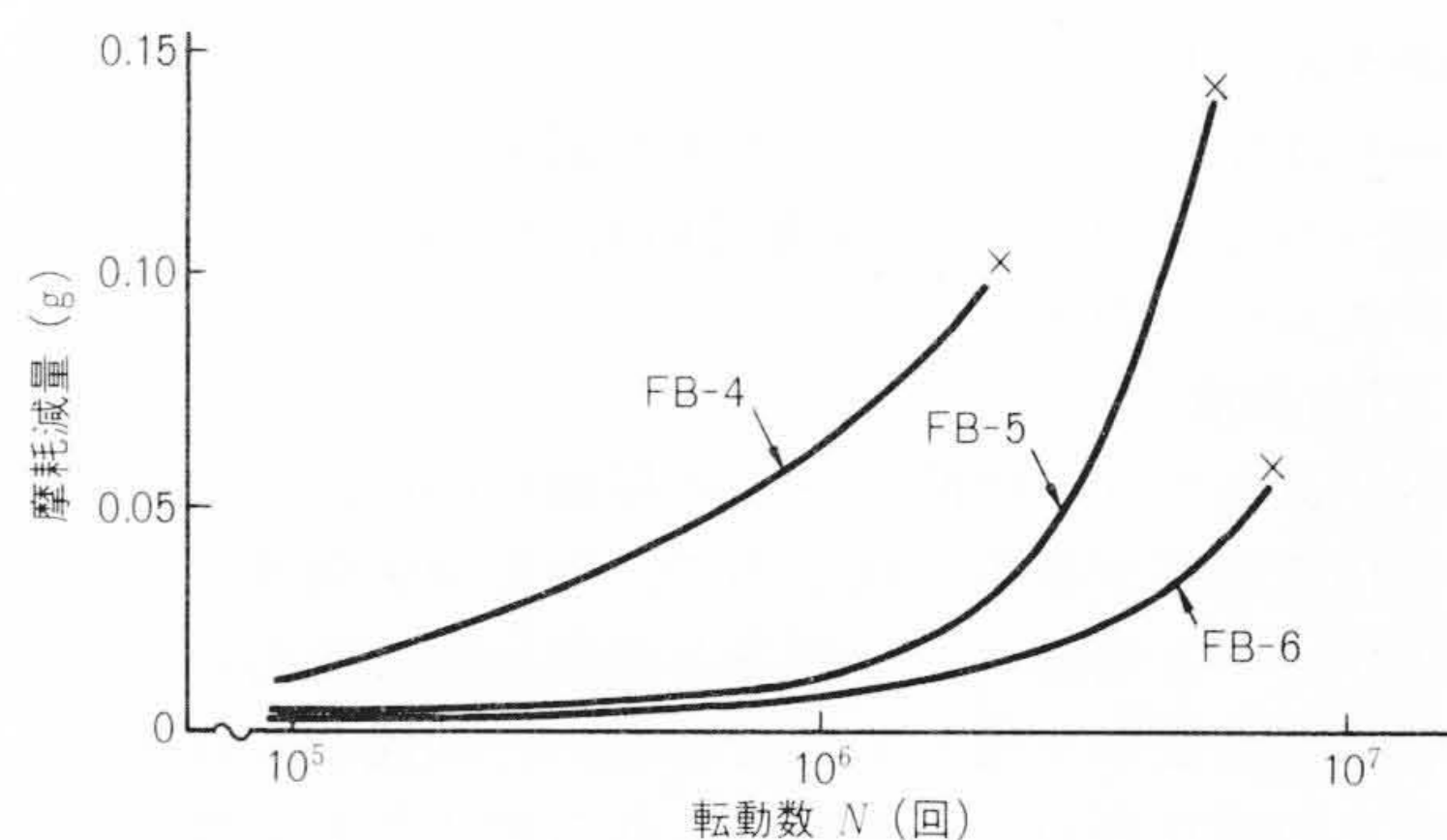


図10 転動数と摩耗量の関係(西原式試験機) FB-5, FB-6では約 1×10^6 回まで急速摩耗は認められず、FB-4に比較して優れた耐摩耗性をもっていることを示している。

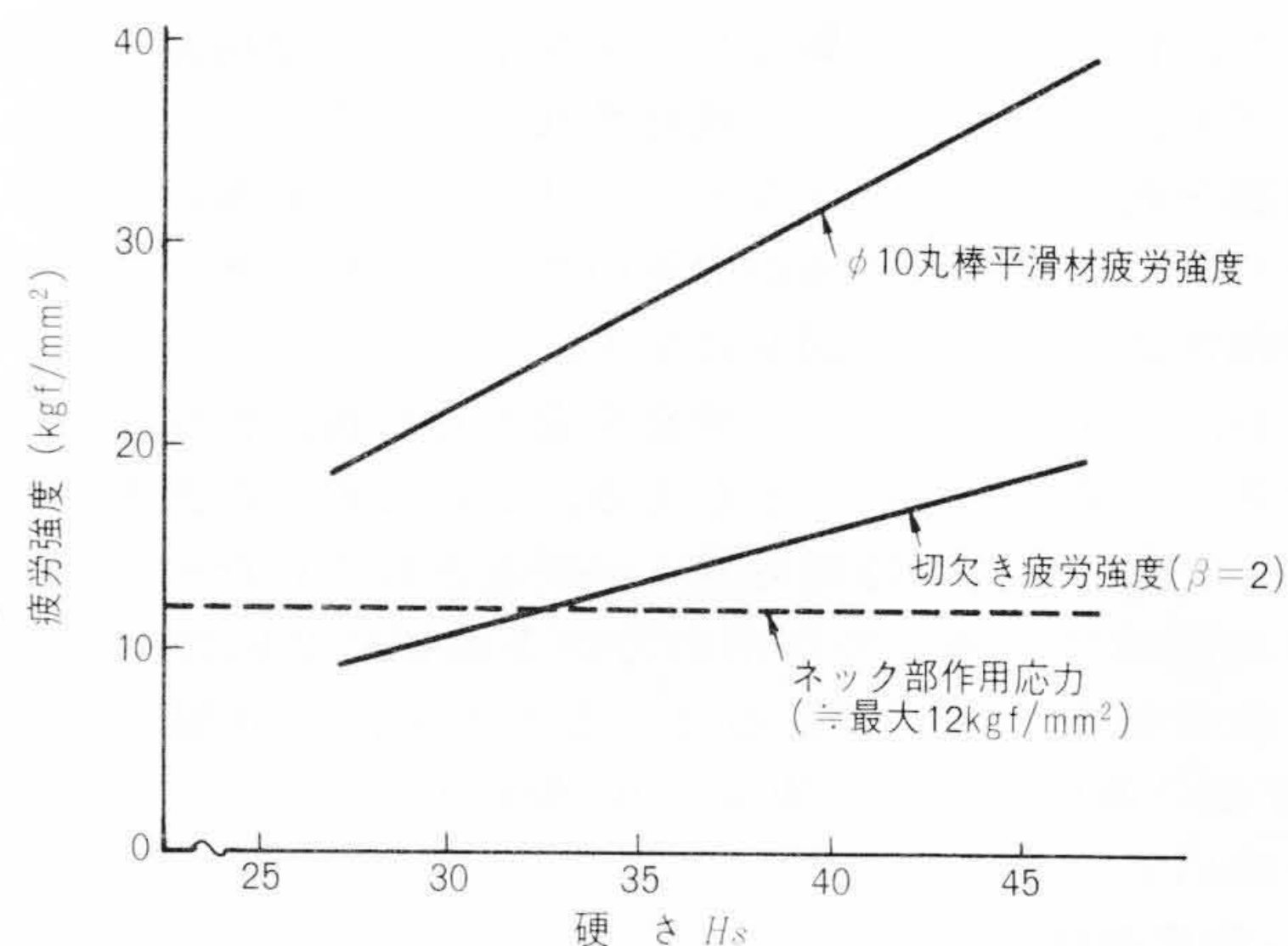


図11 軸部硬さと回転曲げ疲労強度の関係 一般にネック部には12kg/mm²の両振りの曲げ応力が作用する。本図から実ロールのネック部はHs35以上が望ましいことが分かる。

図11に軸部の回転曲げ疲労強度と硬さの関係を示す。ネック部に作用する曲げ応力は最大12kgf/mm²程度にあるので、ネック部の硬さはHs35以上が必要と言える。既納DSロールで、これまでネック折損事故は皆無であった。

5 結 言

冷間圧延機に使用される各種ロールは、圧延設備、圧延技術の進歩に呼応し、ロール製造技術の革新と、本稿では割愛した自動超音波探傷試験⁹⁾、渦流探傷試験など、非破壊検査のロール品質保証への適用技術の向上に支えられ、その品質は着実に向上し、かつ多岐にわたるロールが開発された。

しかし、ロール性能を十分に発揮させるには適切なロール仕様の選定と適切なロールメンテナンスが重要である。

今後もロールユーザーとミルメーカーとの協力を得ながら、より高い性能をもつロールの開発に努める必要性を痛感する次第である。

参考文献

- 1) 星, 外: 最近の冷間圧延機用ロール, 日立評論, **56**, 10, 995~999(昭49-10)
- 2) 赤堀, 外: 冷間圧延用高硬化深度作業ロール, 日立評論, **65**, 2, 131~136(昭58-2)
- 3) 中川, 外: 中心孔のない鍛鋼焼入ロールの開発, 日立評論, **63**, 4, 267~272(昭56-4)
- 4) 関本, 外: 最近の熱間圧延機用ロール, 日立評論, **56**, 10, 989~994(昭49-10)
- 5) 浅野, 外: 超音波自動探傷による圧延機用鋳・鍛鋼ロールの品質保証, 日立評論, **60**, 6, 469~474(昭58-6)