

四重圧延機用補強ロールの保守管理と寿命

Influence of Maintenance on Back-up Roll Life in Four High Mills

中川師夫* Nakagawa Mitsuo

四重圧延機用補強ロールの寿命は摩耗とスポーリングにより左右されるため、ロール関係者のこれらについての関心は高い。本稿は、ロールの仕様決定に当たって必要なロールの諸性質及びロールの形状と作用応力との関係、適正研削量の決定法、スポーリングの現象別発生要因とその防止対策など、ロールの寿命を延ばすために必要な保守管理の方法につき具体的にデータ及び事例をもって示した。

1 緒言

四重圧延機用補強ロール(以下、ロールと略す)は、作業ロールからの強大な圧延荷重を支えながら使用され、作業ロールとの接触面には圧縮力が繰り返し作用するので、ロールの胴部は一般に耐摩耗性と耐スポーリング性に優れていることが要求される。従って、ロールは高硬度のものが使用されるようになってきている¹⁾²⁾。しかし、ロールの選定に当たってはミルの特性、使用条件及び付帯設備などを勘案し、ロールの性能が十分に発揮されるように、その仕様を決めなければならない。

ロールの寿命は一般に納入径から廃却径までの累計圧延重量、又は一定量の圧延を行なうに要したロールの消耗量などにより評価されるので、摩耗とスポーリングはロールの寿命を支配する二大要因と考えることができる。すなわち、ロール胴部表面層は使用中に摩耗及び疲労するため、一定期間使用したのち研削により表面の形状を整えるとともに、疲労層の除去がなされる。研削量が少なく疲労層や表面きずの除去が不十分のまま使用されるとスポーリングを生じ、多量の改削を必要とするためロールの寿命は極度に短くなる。従って、ロールの保守管理で最も重要なことは、ロールに与える疲労被害を少なくするとともに、経済的にロール表面を研削しスポーリングを防止することである。

本稿では、ロールの仕様を決定するために必要なロールの諸性質、及びロールの形状と作用応力との関係、適正研削量の決定法、スポーリングの現象別発生要因とその防止対策など、ロールの寿命を延ばすのに必要な保守管理の方法について述べる。

2 ロールの選定

ロールの仕様を決定するのに必要なロールの諸性質は、一般に材質とカタさにより決まるが、国内外におけるこの種のロールは特殊なものを除き中炭素クロム鋼に属し、材質的な変化は少ないのでここではカタさだけについて考察する。

2.1 カタさと疲労強度

図1は代表的なロール材の疲労限のカタさによる変化を示したものである³⁾。すなわち、平滑材の疲労限はカタさの低い範囲ではカタさの上昇につれて上昇するが、ショアカタさ(以下、 H_s と称す)約70を頂点としてそれ以上カタさが高くなると逆に低下する。これに対して、き裂材の疲労限はカタさのいかにかわらず、カタさの上昇につれてしだいに低下する。

2.2 カタさと耐摩耗性

図2は二、三のロール材について、カタさと摩耗減量の関係を転動試験により求めたものである。これより、カタさの上昇につれて摩耗減量は急激に減少する。すなわち、カタさの上昇とともに耐摩耗性は向上する。

2.3 カタさと耐スポーリング性

図3は数種のロール材についてカタさと耐スポーリング性の関係を転動試験により求めた結果を示すもので、縦軸はスポーリングが発生するまでの転動数を示す。これより H_s 約65以下の範囲では、カタさの上昇につれてスポーリングに至るまでの転動数は増すが、それよりもカタさが高くなると寿命のばらつきが大きくなり、 10^7 回転動後においてもスポーリングが発生しないものと早期にスポーリングが発生するものとが現われる。

2.4 ロールカタさの選定

以上に述べたとおり、ロールの諸性質はそのカタさにより大きく変化する。従って、ロールカタさの選定に当たってはこれらの性質、更に設備や圧延計画などを勘案し、ロールの性能を十分発揮できるよう努めなければならない。

ここで大ざっぱに、ホットストリップミルとコールドストリップミル用ロールカタさの選定について表1にまとめて

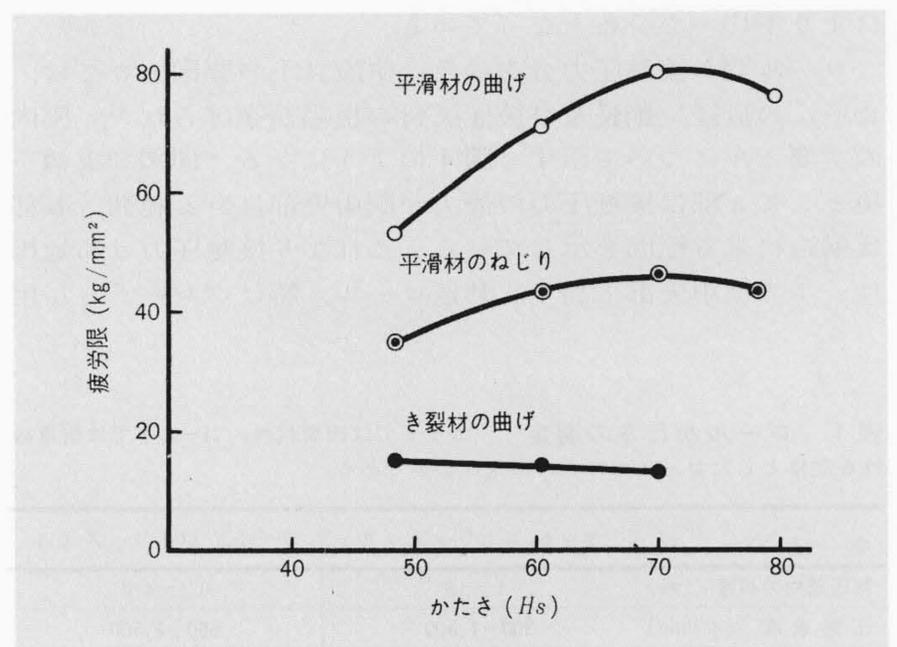


図1 カタさと疲労限の関係 平滑材の疲労限は、あるカタさで最高値を示し、き裂材ではカタさの上昇に従い低下する。

* 日立製作所勝田工場

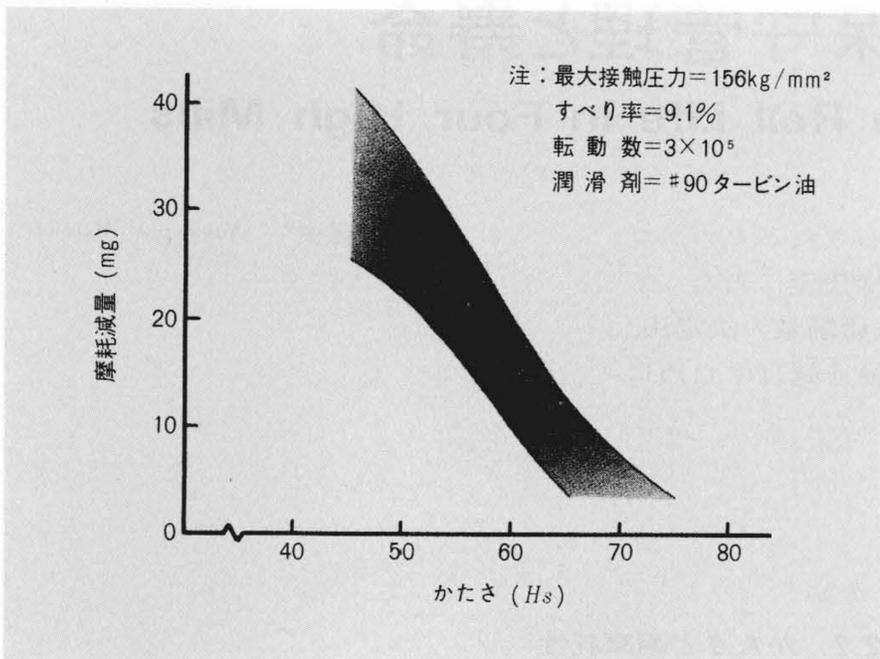


図2 かたさと摩耗減量との関係 摩耗減量のかたさの上昇につれて急激に減少する。

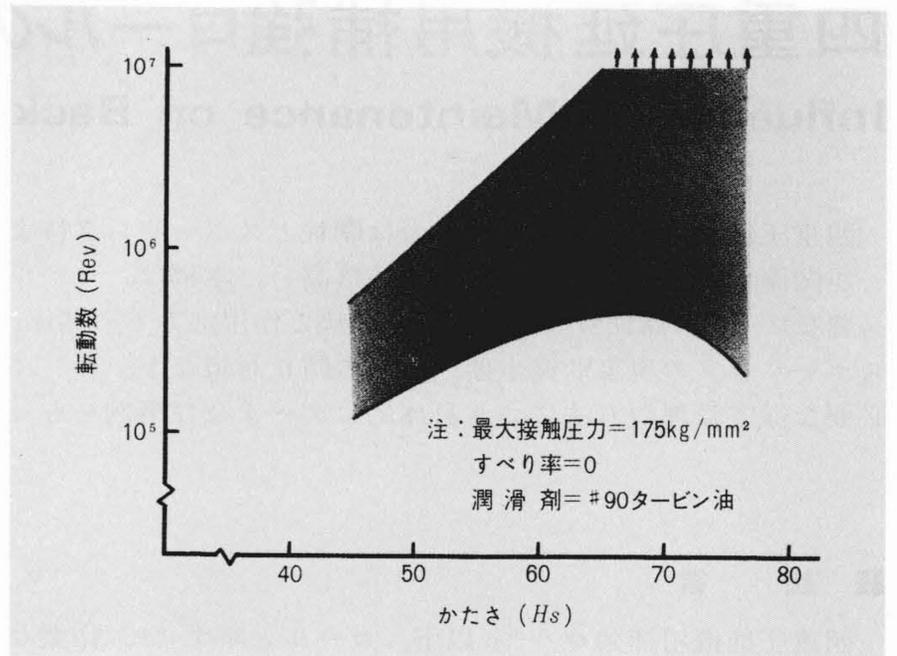


図3 かたさとスポーリング発生までの転動数の関係 かたさがHs65以上になると、寿命のばらつきが大きくなる。

示す。すなわち、ホット ストリップ ミルではコールド ストリップ ミルよりも高硬度のロールを選ぶことが望ましい。しかし、ホットの前段に高硬度ロールを使用する場合には、作業ロールとのバランスもあり、作業ロールのはだ荒れの原因となることもあるので注意が必要である。また、コールドでも接触圧力が高く、事故の少ない低速ミルでロールの使用期間が長い場合は、ホットよりも更に高いかたさを必要とする場合もある。

一般には高荷重で使用期間は長いですが、圧延事故が少なく研削スケジュールがよく守られている場合には高硬度のメリットが多い。しかし、圧延事故が多く、き裂を残した状態で使われる危険性が高く、また摩耗の少ない場合は低硬度とすることが望ましい。

3 ロール間の接触圧力分布

ロールにスポーリングが生ずる場合、一般には最大の接触圧力が作用する部分である。従って、ロール間に均一な接触圧力分布を与えることが必要であるが、実際には種々の要因により不均一な分布となっている。

ロール間の接触圧力分布に及ぼす設計上の要因としては、ロールの直径、胴長及び被圧延材の板幅が挙げられ⁴⁾、国内の主要ミルについて示すと図4のようになる。同図で実線を境としてa部は接触圧力の最大が胴中央部にある範囲、b部は胴端に来る範囲を示している。これより接触圧力は冷延用ロールでは中央部で高く、熱延ロール、特にプレートミル用

表1 ロールかたさの選定 ホットでは耐摩耗性、コールドでは耐事故性を主体としたロールかたさの選定が必要である。

| 項目 | ミル別 | ホット ストリップ ミル | コールド ストリップ ミル |
|----------------------------|-----|----------------|----------------|
| 被圧延材の板厚 (mm) | | 1~15 | 0.1~4.0 |
| 圧延速度 (m/min) | | 300~1,500 | 600~2,500 |
| 接触圧力 (kg/mm ²) | | 130~170 | 120~150 |
| 摩耗量 (mmφ/回) | | 0.3~0.6* | 0.01~0.1 |
| 事故頻度 | | 少ない | 多い |
| 要求事項 | | 耐摩耗性, 耐スポーリング性 | 耐事故性, 耐スポーリング性 |
| 適切なかたさ (Hs) | | 68~73* | 60~65 |

注：*仕上げスタンド

4 チャンファアの形状と応力

一般にロールの胴端部には、スポーリングを防止する目的でチャンファアが付けられており、その効果は大きい。しかし、その形状が不適切な場合には逆に胴部平面とチャンファ

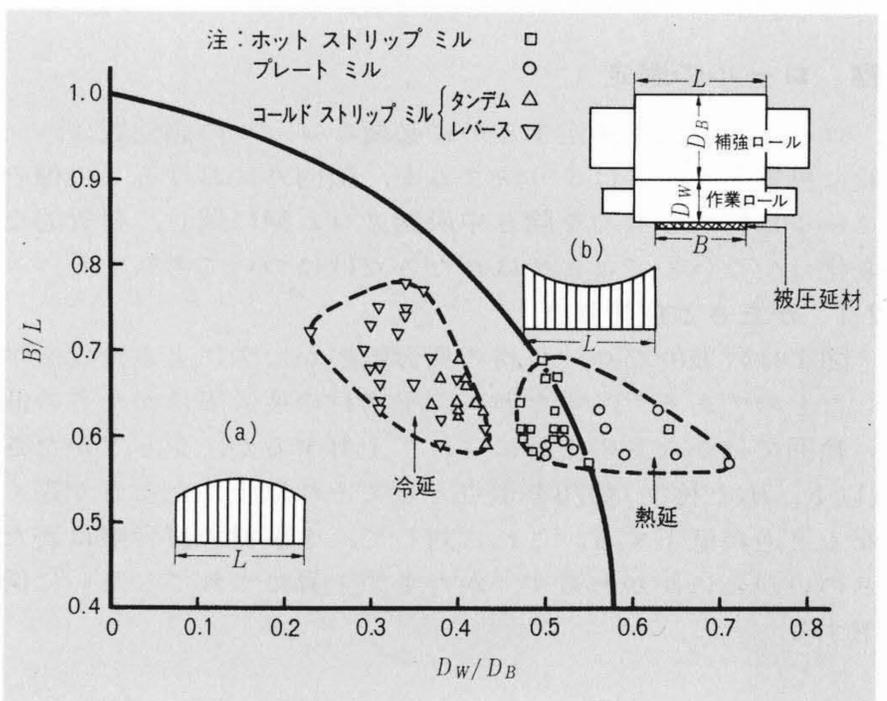


図4 設計上のロール間接触圧力分布 冷延では中央部、熱延ではロールの胴端部に最大の接触圧力が作用する傾向にある。

一との境界近傍に応力集中が起こるため、スポーリングを起こすことがある。チャンファの形状は製品の形状及び加工法による制約を受けるため、各社では永年の経験に基づき決定しており、ノウハウとされている。

ここではスポーリングを防止するという観点から、チャンファの形状と応力について述べる。

チャンファの形状としては段付き、0.5度及び1.0度のテーパ、500mm及び1,000mmの円弧とし、有限要素法により応力分布を計算している。図5はチャンファが付けられた場合の境界部における連続平面に対するせん断応力の割合を、応力集中度として示している。これより、0.5度以下のテーパ及び500mm以上の円弧であれば最大応力集中度はほぼ1であり、平面とチャンファの境界部における応力集中は無視してもよい。1,000mmの円弧の場合は約0.8と応力集中度は少ないが、1.0度のテーパを付けた場合は1.45となり、更に段付きの場合は非常に大きくなり、スポーリングの危険性が高い。

従って、チャンファの形状は応力集中度が1以下となるようにし、更に製品への影響、研削盤の性能などを考慮して、適切な量を決定しなければならない。

5 適正研削量の決定

前述したように、ロールの胴部は作業ロールと接触しながら転動しているため、表面層が疲労しスポーリングという形で破壊する。スポーリングを防止するためには、耐スポーリング性に優れたロールの選択と適切な管理が必要である。

以下、スポーリングを防止し、しかも経済的に疲労層を除去するための適正研削量を決定する二、三の手法とその適用例について述べる。

5.1 理論的に求める方法

本手法は力学的な方法であり、ロール表面層に作用する応

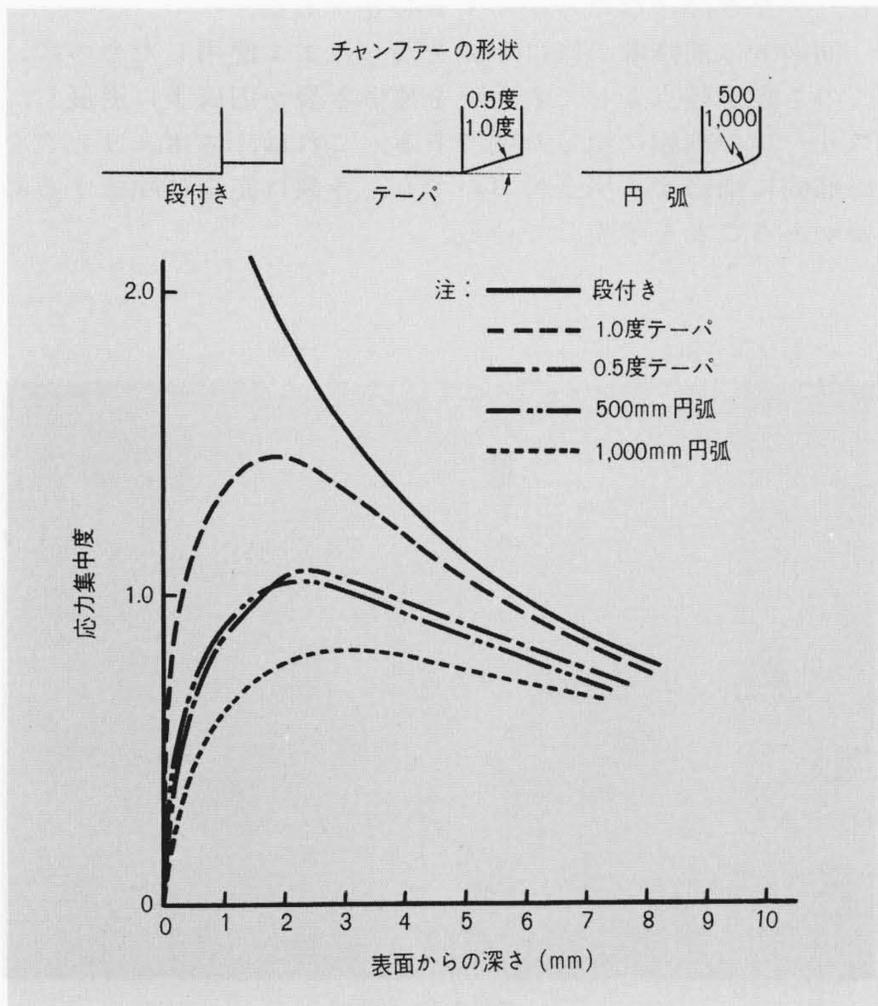


図5 チャンファの形状と応力集中度の関係 0.5度以下のテーパ及び500mm以上の円弧で結んだ場合の応力集中は無視してもよい。

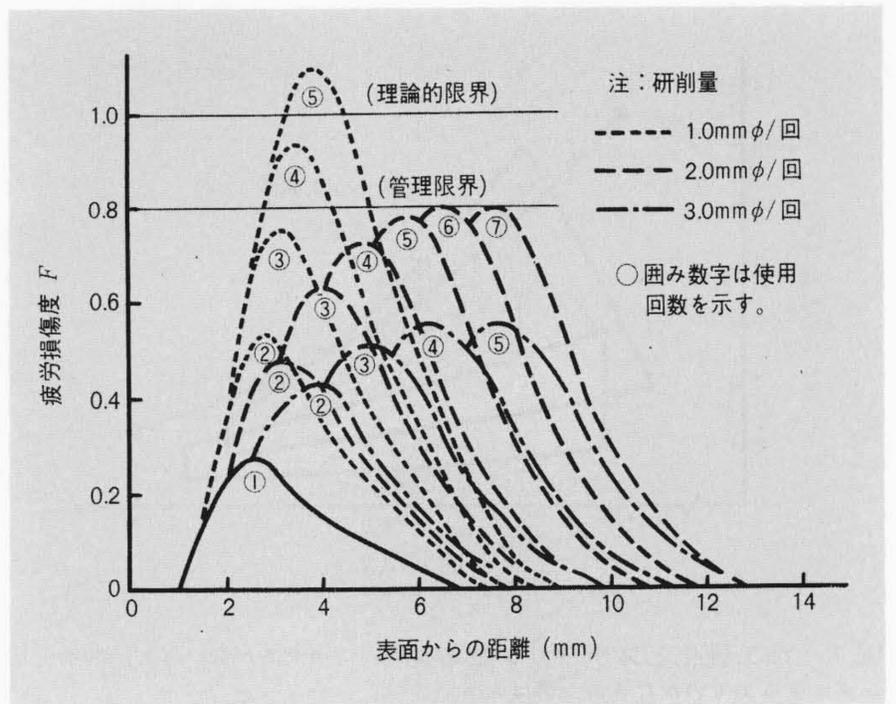


図6 研削量と疲労損傷度の分布例 疲労損傷度は1以下であり、0.8程度で飽和するように研削量を決めることが望ましい。

力分布を計算し、ロール材のS-N線図から各位置の疲労損傷度(F)を求め、Fが常に1以下であるように研削しながら使用する方法であるが、その方法については文献⁶⁾に詳述されているので、ここではその適用例だけについて述べる。

図6は本手法による検討結果の一例である。毎回1mm研削しながら使用した場合には、使用5回目に理論的スポーリングの発生限界(F=1)を超える。2mm研削しながら使用した場合には、使用6回目以降はF=0.8となり、一定値に達する。また、3mmφ/回研削しながら使用した場合には、4回目でF=0.55の一定値に達する。すなわち、1mmφ/回では研削量が不足し、3mmφ/回では多すぎることになる。理論的に適正研削量とは疲労損傷度がF<1であり、しかもFが1に近い値であればよい。しかし、実際には計算上に種々の仮定がなされるので若干の余裕が必要であり、20%程度の安全をみてF=0.8程度に管理するか、又は過去のデータを解析したうえでそれぞれのミルに適したFを決定することが望ましい。

本手法を取り入れることにより、常にロールに蓄積されている疲労損傷度を把握することができ、また次回の使用により疲労損傷度が幾らになるかを予測することが可能となる。

5.2 かたさの測定による方法

金属材料は疲労過程において局部的にせよ塑性変形を伴い、この種のロールではかたさの上昇がみられる。従って、スポーリングが発生するまでのかたさの上昇割合を定量的に把握することにより、適正研削量を決定することが可能である。

図7は、2%Cr系のロール材につきスポーリングが発生するまでのかたさの上昇割合を示したものである。これよりかたさが高くなるほど少ないかたさの上昇により、スポーリングが発生することが分かる。更に、同図にAミル及びBミルにおける組下し後の表面かたさの上昇を示した。Aミルは研削スケジュールをよく守っており、スポーリングの発生はみられず、Bミルは研削量の管理基準もなく、しばしばスポーリングが発生しているミルである。

以上に述べたように、適正研削量を定めるには力学的方法によるか、使用後におけるロール表面の疲労度を測定するか、いずれかの方法をとらねばならないが、実際上はこの二つの方法の併用が望ましい。特に過去のデータの解析結果を図6及び図7にプロットすることにより、個々のミル及びロール

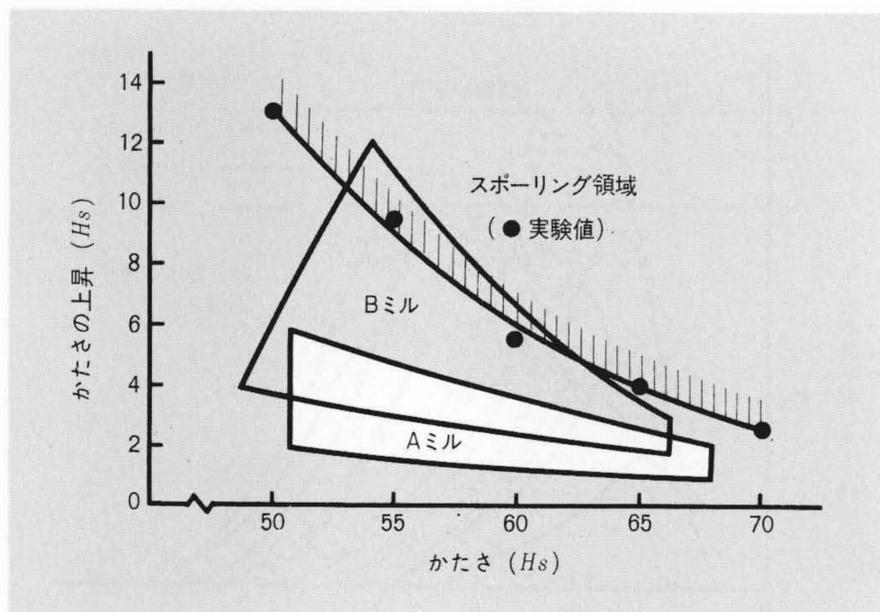


図7 加工硬化とスポーリングの関係 かたさが低いほど、スポーリングに至るまでのかたさの上昇は大きい。

に適した管理が可能となる。

また、その他の適正研削量の決定方法としてX線回折線の半幅幅測定により疲労度を求める方法^{7)~9)}や押しきずの深さを基準とする方法、圧延量に比例して決める方法などがあるが、いずれも現段階では定量的な検討が不十分であり、これらの方法を採用するのは危険である。

6 スポーリングの現象別発生要因とその防止対策

6.1 チャンファアの不良によるスポーリング

図8の(a)はチャンファアを付けずに使用した熱延ロールに発生したスポーリングの例であり、スポーリングの程度は胴端で最も激しい。熱延ロールでは一般にチャンファアが不可欠のものであり、スポーリング発生後0.2度のテーパ状チャンファアを付けることによりスポーリングは完全に防止できた。同図(b)は段付きチャンファア部に発生したスポーリングの一例であり、段付きチャンファアは、その量のいかんにかかわらず図5に示した理由により円周一線の上にスポーリングを生ずるので、段付きチャンファアは絶対に避けるべきである。

6.2 高硬度ロールに発生したスポーリング

スポーリングの力学的発生因子として接線力が作用しない

場合、表面下のせん断応力を考えるのが妥当と思われる⁶⁾。しかし、実際のスポーリングの起点は表面及び表面下、いずれにも見いだされる。これはロールが研削を繰り返しながら使用されるため、蓄積疲労損傷度の高い部分が図6から明らかのように、表面に近づいて来るためと解釈される。また、表面きずを残したまま使用すると、このきずを起点としてスポーリングに至ることもある。

図9は絞りこみ事故に遭遇した際の表面きずをよく取り除かなかったため、これを起点として発生したスポーリングの例で、本ロールの表面かたさは H_s68 であった。同図(a)ははく離面を示すもので胴端から約400mm、深さ約50mmの所に幅50~100mmの帯状の疲労破面が存在し、そこから脆性破壊に至っている。このような破面は、一見表面下に起点があると考えがちであるが、よく観察すると破面の中央から円周方向に約750mm離れた表面に約20mmの軸方向に延びたき裂が発見され、これが同図(b)に点線で示すように帯状破面につながっていることが判明した。

帯状破面の発生は高硬度ロール特有のものであり、低硬度ロールには見られない。従って、高硬度ロールは低硬度のものに比較してき裂の進展が速く、またスポーリングの大きさ、深さ共に大きいため、表面きずには細心の注意が必要である。

6.3 スポーリング部の補修

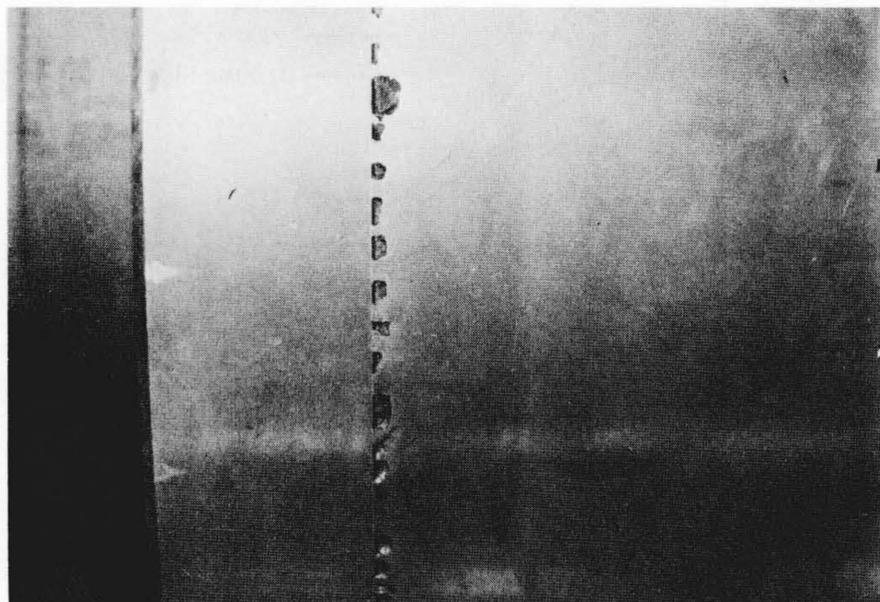
不幸にしてスポーリングが出てしまった場合、胴全体を改削することは不経済であり、その程度のいかんによっては局部的に除去して使用することが可能である。しかし、補修法が不適切な場合、新たにスポーリングが発生し致命傷となることがあるので注意を要する。

図10(a)は補修部と研削面に急激な形状変化があったために、A部に新たなスポーリング、B部近傍にき裂が発生した例である。このように形状が複雑でしかもつなぎ部をなだらかにしない場合には、その部分に応力が集中し、新たなスポーリングが発生する。従って、補修に当たっては円又は長円状とし、つなぎ部はなだらかにする必要がある。

同図(b)は補修部の底にき裂を残したまま使用したもので、このき裂を起点として表面下を疲労き裂が円周上に進展し、スリーブの割損に至った例である。これは、スポーリングを局部的に補修する場合においても、き裂は完全に除去する必要があることを示唆している。

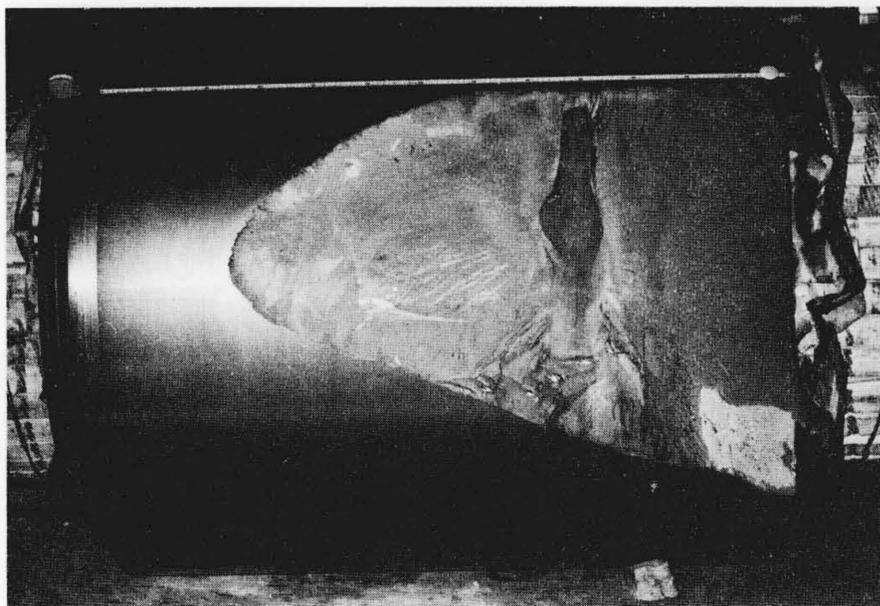


(a) チャンファアなし

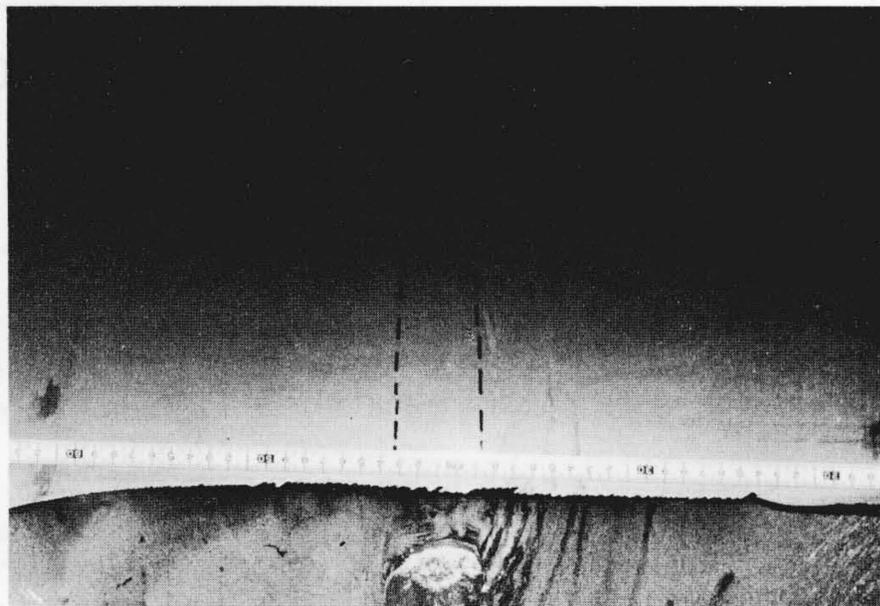


(b) 段付きチャンファア

図8 チャンファアの不良により発生したスポーリングの例 チャンファアのない場合及びチャンファア形状が不適な場合、いずれにもスポーリングが発生する。

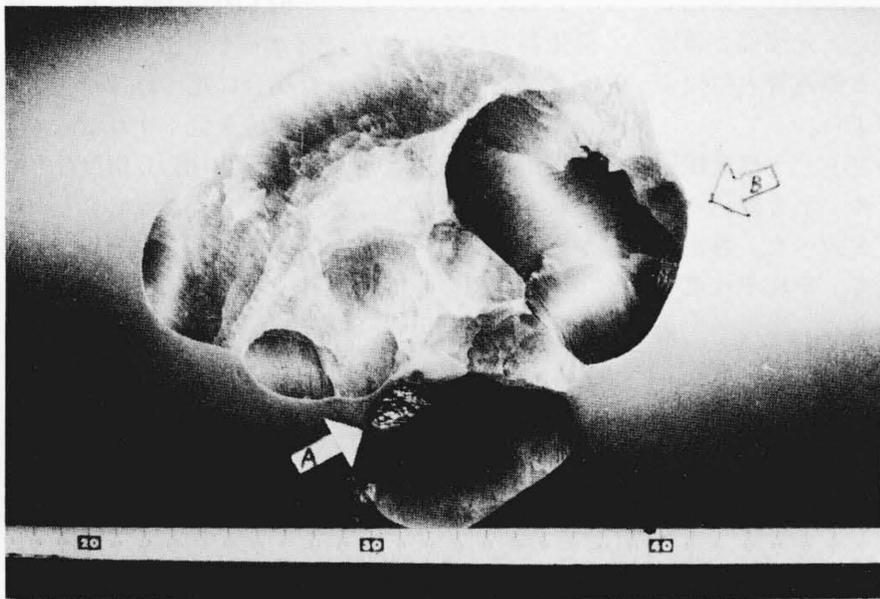


(a) スポーリング破面の外観

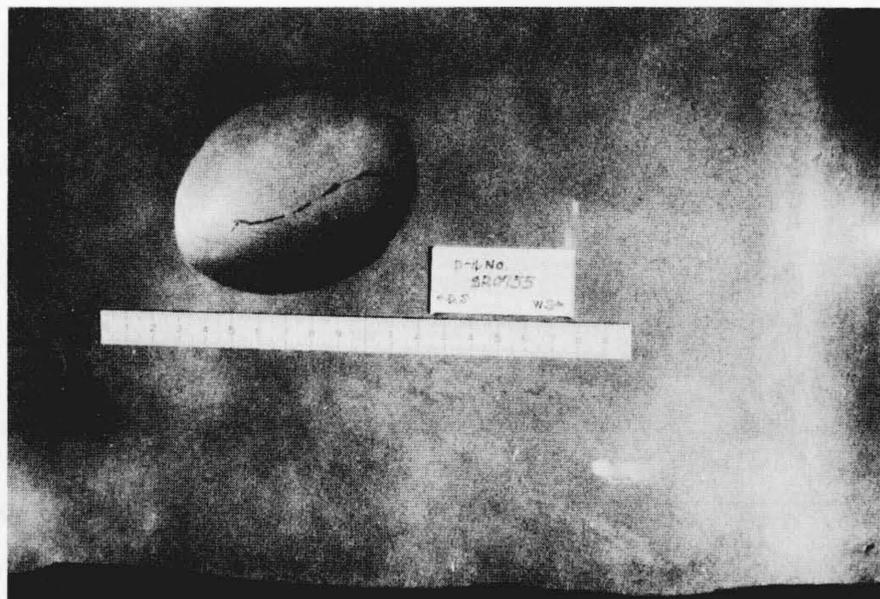


(b) 表面き裂の進展径路

図9 高硬度ロールに発生したスポーリングの例 起点はスポーリングの中心から円周方向に約750mm離れたロール表面に存在していた。



(a) 補修部の形状不良



(b) 補修部にき裂残存

図10 スポーリングの補修部に発生したき裂とスポーリングの例 き裂が残存する場合は新たなき裂及びスポーリングが発生する。

補修部の形状が悪かったり、

7 結 言

四重圧延機用補強ロールの寿命を左右する2大要因として、摩耗とスポーリングが挙げられる。寿命を延ばすためロールの選定に当たってはミルの特性、使用条件及び付帯設備などを勘案し、ロールの性能が十分発揮されるように配慮しなければならない。また、ロールの管理に当たっては局部的に疲労が進むことを防止するためにチャンファーを付けたり、疲労が進みスポーリングに至る前に疲労層を研削除去することが必要である。更に、圧延ミスによりロール表面に熱影響部やき裂が生じた場合にはその除去が必要であること、不幸にしてスポーリングが発生した場合には疲労層を除去するとともに局部的にその部分を除去して使用されるが、その方法が不適切な場合には新たにスポーリングが発生することがあるのでその補修法などについて述べた。

本稿が四重圧延機用補強ロールの寿命を延ばすうえで幾らかでも役立てば筆者の望外の喜びとするところである。

終わりに、平素よりロールの使用及び調査に深い御理解をいただいている製鉄所の関係各位に対し、深い謝意を表わすとともに、今後ともいっそうの御指導をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 関本, 福島:「最近の熱間圧延機用ロール」 日立評論, 56, 991 (昭49-10)
- 2) 星, 八重樫, 清野:「最近の冷間圧延機用ロール」 日立評論 56, 997 (昭49-10)
- 3) 大内田, 安藤:「高炭素低クロム鋼のかたさと疲れ強さ」 機械学会論文集, 34, 199 (昭43-2)
- 4) P.I. POLUKHIN et al: "Optimum conditions of contact interaction of work and composite back-up rolls of 250 cold-rolling mill", STEEL IN THE USSR 4, 475 (1974-6)
- 5) 坂上, 中川:「56in熱間連続圧延機における作業ロールおよび補強ロール間の接触圧力分布」 日立評論, 56, 549 (昭49-6)
- 6) 中川:「四重圧延機用補強ロールの適正研摩量の決定に関する一考察」 日立評論, 50, 562 (昭43-6)
- 7) 長瀬ほか5名:「厚板仕上圧延機用補強ロールの疲労層と改削基準について」 鉄と鋼, 56, 1201 (1970)
- 8) 中川:「厚板圧延機用補強ロールの疲労層の検出」 日本材料学会材料強度部門委員会, ロール小委員会資料 (1973)
- 9) 武智:「X線によるロール損傷の検出」 日本材料学会材料強度に関する討論会前刷集, 61 (昭48-11)

「プレート形」GaAsインパット発振器の周波数安定度

日立製作所 水石賢一・宮崎 勝, 他2名
電子通信学会誌 59-2, 139 (昭51-2)

GaAsインパット ダイオードの発振周波数の温度係数 $\partial f/\partial T$ は、動作層の電子濃度及びバイアス電流密度によって変化し、正の値にもできることが分かっている。一般に回路の共振周波数は負の温度係数をもつためGaAsインパット ダイオードの温度係数を所要の正の値になるように設計し、回路の負の温度係数を相殺してやれば周波数安定度の高い原発振器を作ることができる。そこで著者らは、比較的低出力で用いる局部発振器にGaAsインパット ダイオードを用いて上述の特長を生かした高安定発振器を開発した。

使用した素子は、Xバンド用マイクロピル形ダイオードである。発振回路には、日立製作所で開発した「プレート形回路」を用いた。この発振回路は、方形導波管と銅製の板(プレート)から成り、従来の発振回路に比べ簡素化された構造となっている。したがって、将来、量産性が要求される民生機器への応用の面でも有利といえる。

次にこの発振器の構造、及び発振原理について簡単に述べる。プレートは、方形導波管の一方のH面の中央部分からE面に平行に挿入され、ダイオードはプレートの先端部と導波管のもう一方のH面との間に装着される。発振周波数は、ダイオードから導波管の短絡面までの距離 l_1 及びプレートの管軸方向の長さ $2l_2$ によって決まる。すなわち、管内発振波長 λ_g はほぼ $l_1/2$ の整数倍に等しい。プレートの長さ l_2 部分は $\lambda_g/4$ インピーダンス変成器の役割を持ち、ダイオードと導波管回路のインピーダンス整合は、プレートの厚さ d と導波管の横幅 a の比(d/a)、並びにプレート先端部と導波管下方のH面との間隔 h と導波管の縦幅 b の比(h/b)を調整すればよい。

このような簡易構造のプレート形発振器にGaAsインパット ダイオードを組み込み、発振周波数の温度安定度を調べた。導波管及びプレートの材料として、それぞれ真ちゅう及び銅を用いているため、線膨張率か

ら回路の温度係数を求めると $-150 \sim -200$ kHz/°Cとなり、これと対応してダイオードの温度係数を $+150 \sim +200$ kHz/°Cにすれば、それぞれの温度係数が相殺し合い、周波数安定度の優れた発振器を実現できる。ダイオードの温度係数はバイアス電流(密度)を低くするほど正の方向に変化する。実験結果の一例を示すと、バイアス電流を14から6mAに変えた場合、発振器全体の温度係数 $\partial f/\partial T$ は -68 から -10 kHz/°C($-15 \sim +62$ °C)に変化する。これを周波数安定度で表わすと、中心周波数10.553GHzで $6 \times 10^{-6} \sim 9 \times 10^{-7}$ 1/°C($-15 \sim +62$ °C)に相当し、原発振器としてはガン ダイオードやSiインパット ダイオードを用いた場合に比べ1~2けた優れている。バイアス電流を低くすれば発振出力も低下するため、所要の出力、温度係数を得るように、素子設計を行なう必要がある。現在、周波数10.74GHz、出力15mWにおいて温度係数 -8 kHz/°C、安定度で 7×10^{-7} 1/°C($-15 \sim +60$ °C)の値を得ている。

交流駆動された光導電形撮像管の特性と単管カラーカメラへの応用

日立製作所 江藤良純・長原脩策, 日立電子株式会社 石橋 静
テレビジョン誌 30-3, 204 (昭51-3)

光導電形撮像管を使用する際には、ターゲット~カソード間に通常は一定の直流電位差を与える。この直流に交流を重畳する方式を本論文では交流駆動方式と呼んでいる。

まず、交流駆動された光導電形撮像管の基本特性を解析する。電子ビームとして十分な電流密度と幅を持つ分布を仮定すると、得られる信号は電子ビームの端部が光導電層の未走査部より得る電流と、電子ビームの他の部分が光導電層の既走査部より得る電流とに分けられる。これらを個別に求め、両者の和をとると、信号電流 i_s は

$$i_s = \bar{i}_s + A \cos(\omega t - \phi)$$

と表わせる。

ここで \bar{i}_s は撮像管に直流だけを与えたときに得られる信号電流に等しく、入射光量とともに増加する特性を持つ。 ω は重畳した交流の周波数に等しい。また、 A 、 ϕ は \bar{i}_s とは異なる傾きではあるがやはり入射光量とともに増加する特性を持つ。

単一撮像管でカラーカメラを実現する方

式の一つに3電極ビジコンを用いる方式がある。この場合には、色ごとに分割されたストライプ状の信号電極間の静電容量のために、各色の信号電流間にクロストークがあり、これを抑えようとすると雑音が増加する問題があった。

雑音とは無関係にクロストークを除去するために、3電極ビジコンを交流駆動する方式が考えられる。前記の解析結果を適用すると、(1)3色の信号電極に異なる周波数の交流を重畳する方式は、信号電極の対接地静電容量の影響が大きいため実現が難しく、(2)同一周波数の異なる位相の交流を重畳する方式は前記の ϕ が入射光量の関数であるために3色を完全には分離できない、などの問題点が明らかになった。

そこで、前記の信号電流 i_s の特性を電子ビームの電流密度をパラメータにして更に詳しく解析したところ、電流密度を小さくすれば位相 ϕ は小さく、かつ入射光量とは無関係な値になることが判明した。

この場合には前記の(2)の方式で各電極より得られる信号電流の総和 I_s は

$$I_s \cong \sum_{j=R,G,B} \{ \bar{i}_s + A_j \cos(\omega t + \theta_j) \}$$

となり、各色の信号 A_j は重畳した交流の位相 θ_j の成分として分離可能となる。

NTSCカラーテレビジョン信号は、3色の成分で色副搬送波を三相変調した形式で表わすことができる。したがって、 ω_c を色副搬送波周波数に、更に A_j 、 θ_j を適当な値に選べば、 I_s をNTSC信号に一致させることができるが、これらの詳細な条件を明らかにした。

従来の単管カラーカメラでは、多重化されて撮像管より取り出された信号を色ごとに分離し、更にNTSC信号に合成する必要があったが、前記の結果を適用した新しい撮像方式は、撮像管よりNTSC信号が直接得られる点が大きな特長である。

なお、本方式のカメラを試作し基本性能を確認した。