

# 熱間圧延ロールの表面温度

——焼入鋼埋込法による二、三の測定例——

## Surface Temperature of Rolls in Hot Rolling Mills

新山 英輔\*  
Eisuke Niiyama

奥本 武臣\*\*  
Takeomi Okumoto

蜂須 幹雄\*\*\*  
Mikio Hachisu

### 内 容 梗 概

熱間圧延用作業ロール表面に焼入炭素鋼小片を埋め込み、圧延終了後に取り出し、その間の試料のかたさの変化から、ロール表面が圧延時に受ける最高加熱温度を推定した。一般のスラブ用分塊圧延機においては400～500℃の範囲内の値を得たが、水冷しないブルーム用分塊圧延機においては600～700℃という高い値が測定され、ロール水冷の重要性が明らかとなった。ホットストリップミルにおいては575～600℃で、分塊ロールよりもむしろ高い温度であった。そのほか、種々の条件下でロール表面温度を測定し、材質決定および圧延作業上の参考資料に供した。同様の方法は他の分野で広く応用可能である。

### 1. 緒 言

熱間圧延機作業ロールの表面部は、急速繰返加熱冷却および荷重を受け、激しい使用条件にさらされる。したがってこの種ロールの寿命は多くの場合、表面の損耗状況により左右される現状にある。この意味から、ロール表面で起こる諸現象、ことにその加熱温度を知ることは従来よりロールの使用者ならびに製造者の共通の課題であった。しかしながら、鋼片と接触するごくわずかの瞬間におけるロール表面の温度を正しく測定することは技術的にきわめて困難な問題とされ、これまでは鋼片との接触直後の温度の測定<sup>(1)(2)</sup>、あるいは理論的計算<sup>(3)(4)</sup>から間接的に推定が行なわれているに止まり、直接的な測定例が見当たらない。

そこでわれわれは、焼入鋼の焼戻後のかたさが焼戻温度の関数であることに着目し、焼入鋼の小片をロール表面に埋め込み、圧延後に取り出して、そのかたさから圧延時の温度を推定することを試みた。以下にその方法を紹介するとともに、測定例の二、三について報告する。

### 2. 測定方法

#### 2.1 埋込試料の選定

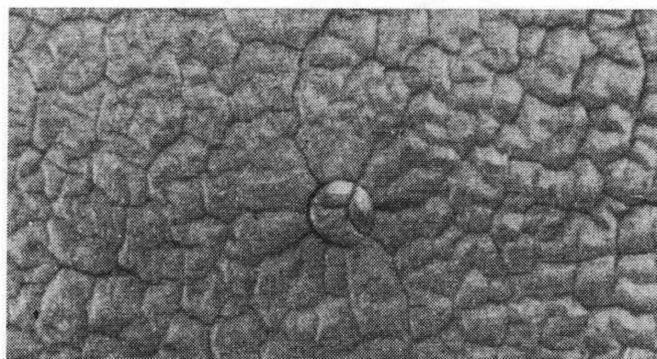
埋込試料として用いる鋼種の具備すべき条件としては、焼入後の焼戻抵抗が小さいこと、温度とかたさの直線性がよいこと、摩耗や割れに対する抵抗が十分であることなどがあげられる。これについてはあらかじめ二、三の材質を試用してみたが、結局、共析成分に近い普通炭素鋼が適当であることがわかり、測定には主として炭素工具鋼7種(SK7)を用いた。成分規格および焼入条件を第1表に示す。またこの試料の大きさは、ロールの損耗あるいは鋼片の状況に及ぼす影響を考慮に入れて、 $5\phi \times 5\text{mm}$ のものを採用した。

#### 2.2 埋込方法

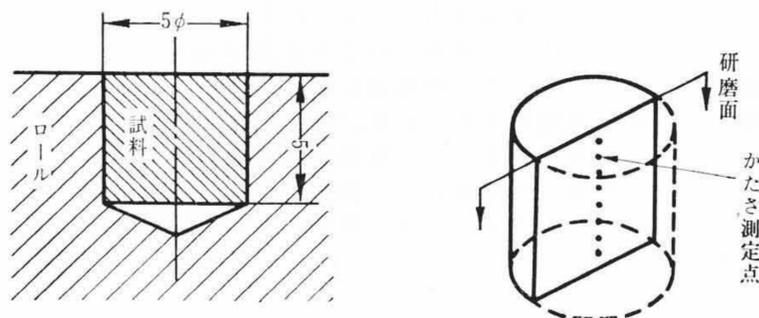
ロール表面の所定の位置に試料と同一寸法の穴をうがち、そこに試料を埋め込み、脱落を防ぐために周囲をたたいて押え込んだ。ロールはこの状態のまま圧延機に組み込まれ、所定期間の圧延を行なう。実験初期には圧延時に試料の脱落が散見されたが、試料に逆テーパをつけるなどの工夫を施して解決した。さらに恐れたのは、このような表面の穿孔を起点としてロールの破損を招くことがないかという点であったが、結果的にはそのような事例はなく、危険も感

第1表 埋込試料の成分と焼入条件

成分	C	Si	Mn	P	S
炭素工具鋼7種(SK7)	0.6/0.7	<0.35	<0.50	<0.03	<0.03
焼入条件	760℃×15min→水焼入→120℃×2min 焼戻				



第1図 試料を埋込んだロールの圧延後の表面状況



第2図 試料の埋込みおよびかたさ測定の方法

じられなかった。予定量の圧延を終わったロールは再びハンドドリルを利用して埋込試料を掘り出し、その間の変化を測定した。第1図には、圧延終了後、埋込試料を取り出す前の状況の一例を示す。

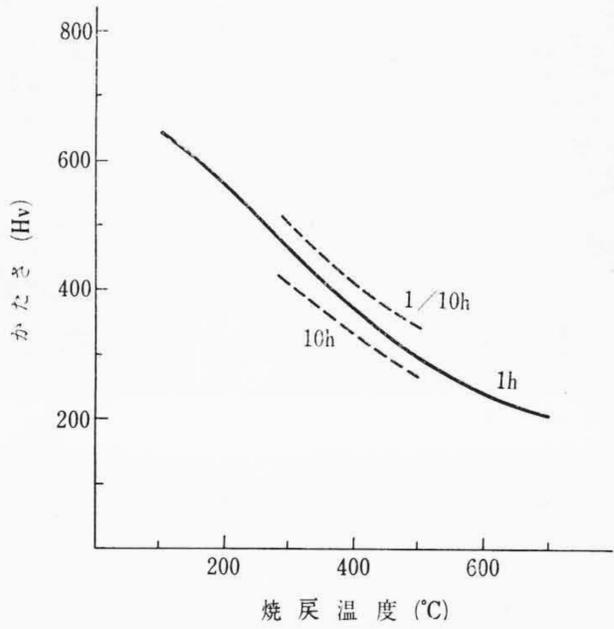
#### 2.3 加熱温度の求め方

取り出した試料は、圧延材と接触した面に垂直に中心軸に沿って切断し、その面を研磨してマイクロピカースかたさ計でかたさを測定した。ここで接触面自体については測定できないので、実際には接触面下0.02mm離れた面上のかたさを測定して表面かたさを代表させることとした。また断面上のかたさ変化から温度こう配を推定した(第2図)。つぎに、測定されたかたさから加熱を受けた温度を推定するに当たっては、あらかじめ求めた第3図の曲線を用いた。これは埋込試料と同じ条件で作成した試料を実験的に各温度に1時間焼戻したときのかたさの変化を示したものである。なおこれには比較のため、焼戻時間6分および10時間のときのかたさ変化も

\* 日立製作所日立研究所

\*\* 日立製作所日立研究所 理博

\*\*\* 日立製作所勝田工場



第3図 SK7の焼戻かたさ  
(1時間焼戻を標準曲線とする)

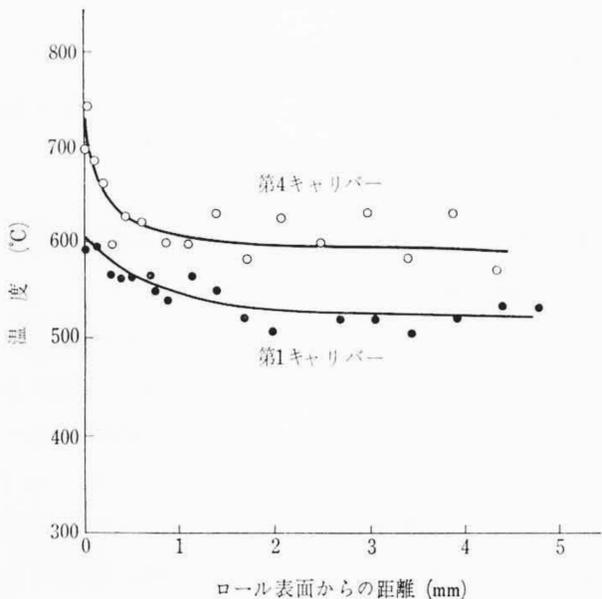
示したが、これから焼戻保持時間が10倍になれば焼戻温度に換算して概略50°C程度の上昇に対応するのがわかる。實際上、ロールの埋込試料が焼戻される時間は鋼片との接触時間の総和にほぼ等しいと考えられるから、それぞれの測定の場合について計算し、適当な補正を行なったのち焼戻時間1時間の標準曲線に基づいて換算を行なった。なお、埋込試料の一部については電子顕微鏡組織を観察し、標準試料と比較してかたさからの温度推定の補助とした。

### 3. 分塊ロールの温度

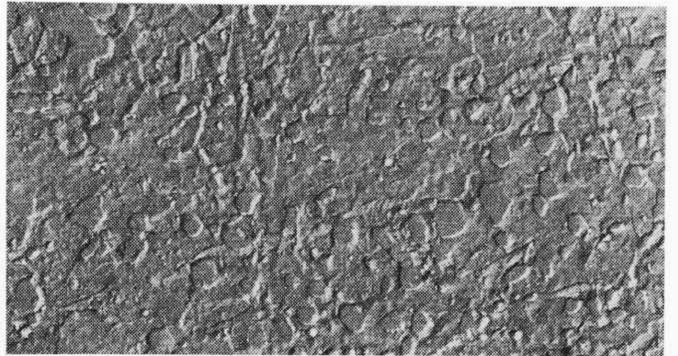
#### 3.1 ロールを水冷しない場合

はじめに、やや特異な例に属するが、圧延中にロールの水冷を行わないブルーム用2重逆転分塊圧延機(A製鉄所)における測定例について述べる。6個のキャリバーのうち、圧下量、鋼片長さともに大で、加熱条件の酷な第4キャリバーと、加熱条件の比較的ゆるやかな第1キャリバーについて、埋込試料のかたさ変化から求めた温度分布を第4図に示す。各位置に対応して示された温度は、その点が加熱されたときの最高温度にほぼ相当するものと考えてよい。ロールの最表面は600~700°Cに加熱されること、4mm内部でも500~600°Cまで加熱されることがわかる。加熱影響部は少なくとも30mm以上と推定される。また圧延時の加熱条件に対応してキャリバー間に温度差が認められる。

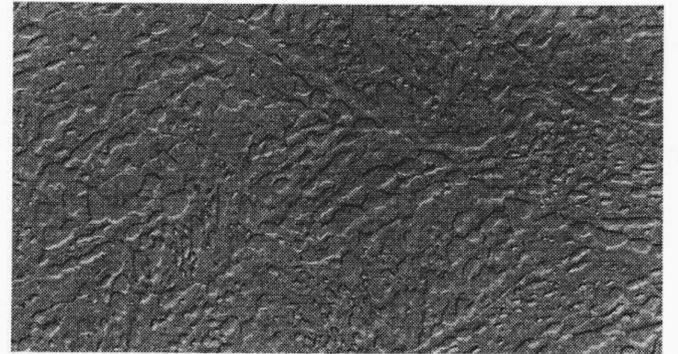
埋込試料表面付近の電子顕微鏡組織を700°C×1時間焼戻の標準



第4図 ブルーム用分塊圧延機上ロールの表面から内部への温度こう配  
(ロール水冷をしない場合、A製鉄所)



(a) 埋込試料



(b) 700°C×1時間焼戻

第5図 ブルーム用分塊圧延機上ロール第4キャリバーの埋込試料表面付近の電子顕微鏡組織と標準組織の比較

第2表 分塊ロールの表面温度に対する水冷条件の影響

実験番号	ロール水冷条件	上ロール中央の温度	下ロール中央の温度
1	比較的徐冷	535°C	—
2	中央部で強力な冷却	470	600°C
3	全長に強力な冷却	510	580
4	同 上	500	520
5	同 上	—	530

試料と比較してみると、第5図にみるように埋込試料のほうが熱戻が進行しており、かたさからの温度推定の結果が確認された。

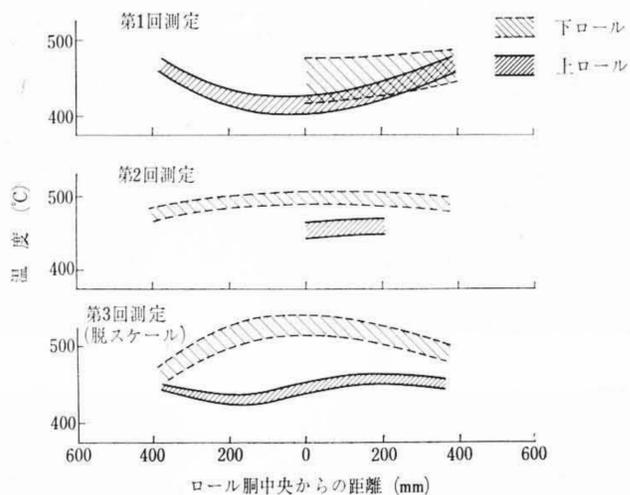
#### 3.2 ロール水冷の影響

ユニバーサル形スラブ用分塊圧延機ロール(B製鉄所)について、水冷方法を種々変化させて、そのたびに温度を測定した<sup>(5)</sup>。上下ロール中央部の表面温度を取り上げて比較してみると第2表のようになる。それによると、冷却条件を強めるにしたがってロール温度が低下する傾向がうかがえる。さきの水冷なしのロールに比べると100~200°Cほど低い温度であることがわかる。また上ロールよりも下ロールのほうが温度は高いようにみられる。

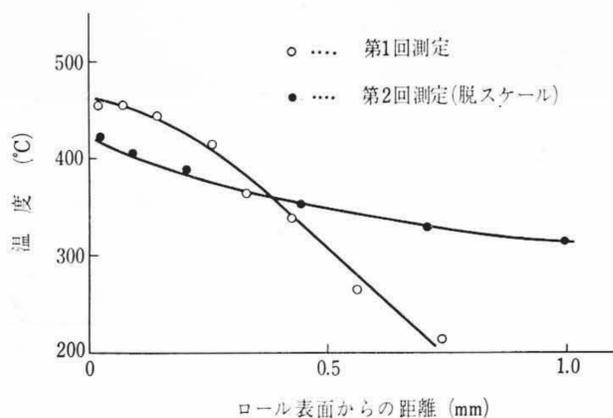
#### 3.3 鋼片の脱スケールの影響

ユニバーサル形スラブ用分塊圧延機(C製鉄所)において、ほとんど同一の圧延条件で3回の測定を繰り返してみた<sup>(6)</sup>。ただし、第3回には鋼片に対して、高圧噴射水による脱スケール装置を使用している。ロール胴上に長さ方向に5~10個の試料を埋め込み、各位置の表面温度を測定した結果を第6図に示す。胴部中央と端部とでは鋼片が接触する回数が異なるが、温度差についてはっきりした傾向はない。ここでも下ロールは上ロールよりも高温度を示している。3回の測定値のほとんどは400~500°Cの範囲内にあり、わずかに3回の下ロール温度が500°Cを越えている。

第1回と第3回の上ロール中央部の表面から内部への温度分布を比較してみると第7図のようになり、温度こう配は前者が約350°C/mm、後者が約100°C/mmである。このことから、脱スケールを行なうと、鋼片の温度は若干低下するかも知れないが、一方では鋼片の金属面が直接にロールに接触するために、熱の伝達量が増加するのではないかと推定される。第7図をさきの第4図と比較すれば、加熱影響層の深さがロールの水冷を行なうことによって30mm(推



第6図 スラブ用分塊圧延機上下ロール各位置の表面温度



第7図 スラブ用分塊圧延機上ロール中央の表面から内部への温度こう配(C製鉄所)

定)から2mmまで、大幅にせばめられたことがわかる。ロール寿命に対しては、表面の温度もさることながら、加熱の深さが強く影響するので、このことは適切な冷却の重要性を示すものといえよう。

### 3.4 ロール回転速度の影響

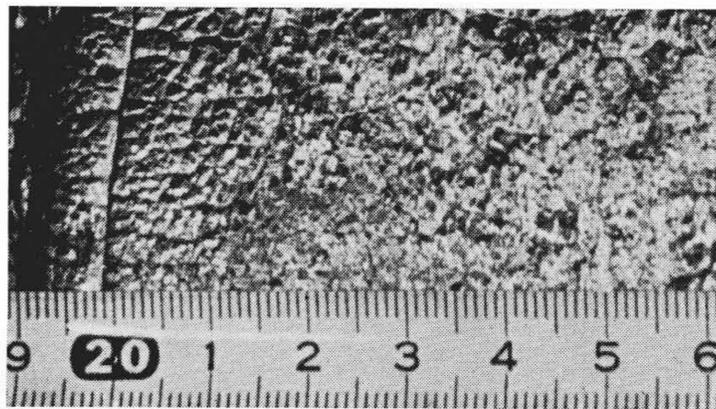
前述のB、C製鉄所での測定値を比較すると、Bは470~600°C、Cは400~530°Cの範囲内にあり、前者が約70°C高い。この原因を検討してみると、圧延機の形式、能力、ロールおよび鋼塊寸法、圧下量などに大きな差はなく、ロール冷却は、むしろBのほうが強力である。ところがロール回転速度をみると、Bの10~30rpmに対して、Cは20~50rpmとなっており、これに基づいて圧延スケジュールの一例について、ロール表面上の1点が鋼片に1回接触するときの継続時間を計算すると、Bが平均0.11秒、Cが0.06秒となる。すなわち、B圧延機においては鋼片とロールが接触する時間が長いためにロール温度が高くなり、冷却能力を強力にしてもなお追いつかないものと考えられる。

### 3.5 ロール肌荒れと温度の関係

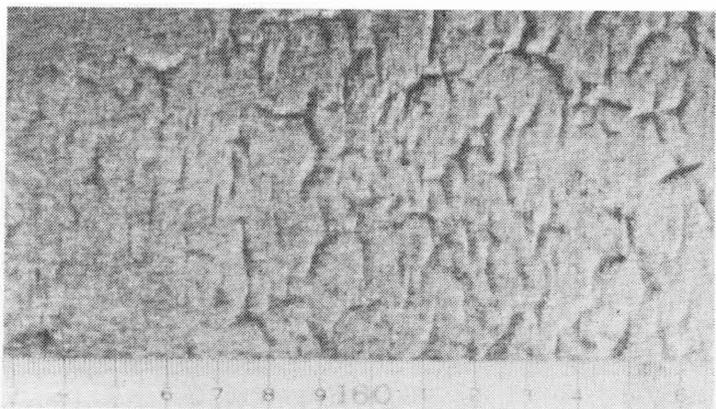
表面のファイヤクラック、摩耗などの肌荒れはロール寿命に関係するが、これに影響する要因は温度のほか、荷重のかかり方、すべりなどがある。

第8図(a)は水冷なしのブルーム用圧延機(A)のロールの圧延後の肌荒れ状況を示す。第8図(b)は水冷されたスラブ用圧延機(C)の上ロール、第8図(c)は下ロールの肌荒れ状況である。これらロールの材質はいずれも特殊鋳鋼である。(a)にみられる溶融状の激しい摩耗および深いクラックの原因の一つが、加熱温度および加熱層の深さにあることは明らかである。

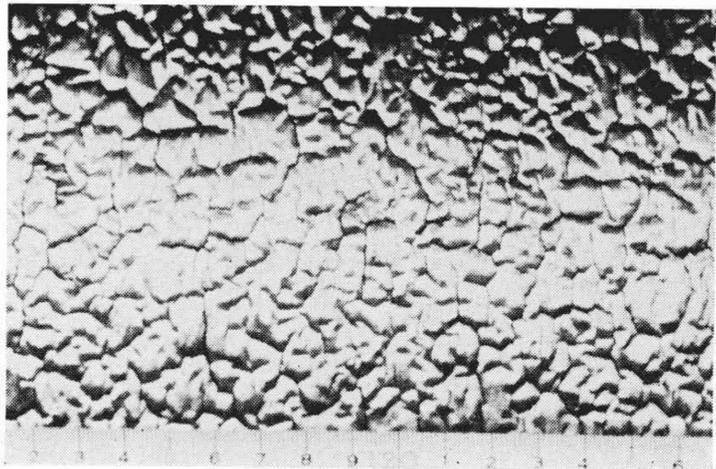
上ロール(b)は下ロール(c)に比較して摩耗の様相が顕著であること、ファイヤクラックの亀甲(きっこう)模様があらく、かつクラックが鋭くないことが特長である。このような上下ロールの肌荒れの差の原因としては、下ロールの温度が若干高いことも関係ある



(a) 水冷しないブルーム用分塊ロール



(b) スラブ用分塊圧延機上ロール



(c) スラブ用分塊圧延機下ロール

第8図 分塊ロール表面状況の比較

うが、それよりも、上下ロールの回転速度を精密に解析してみると、上下ロールの間で鋼片とのすべり量に差があることがわかり、これによる摩耗条件の差が肌荒れの差のおもな原因であると考えられる<sup>(5)(6)</sup>。

### 3.6 その他の測定例

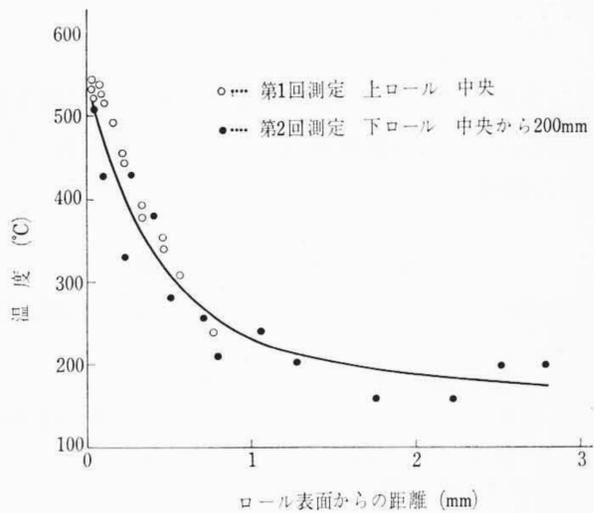
スラブ用分塊圧延機についてはほかに2例、D、E製鉄所において測定したが、いずれも400~500°Cの間の値を得、C製鉄所の場合と一致した。

ワイドフランジ用ブレードダウンロールの各キャリバー、ワイドフランジ用2粗水平およびたてロールについてもやはり400~500°Cの範囲内の値を得た。

## 4. ホットストリップミルロールの温度

### 4.1 測定結果

C製鉄所のホットストリップミル第1スタンドの作業ロールについて測定を行なった<sup>(6)</sup>。上下ロールの胴上に長さ方向に1mにわたって各5個の試料を並べて埋め込んだ。測定の結果、ロールの上下および胴上の位置による表面温度の差は認められず、いずれも525~550°Cの値を示した。第9図は表面から内部への温度変化を示すもので、2回の別個の測定においてほとんど同じ値が得られたことがわかる。温度こう配は約400°C/mmで、分塊ロールの場合よりもやや高い。



第9図 ホットストリップミル第1スタンド作業  
ロールの表面から内部への温度こう配

#### 4.2 焼戻時間に関する補正

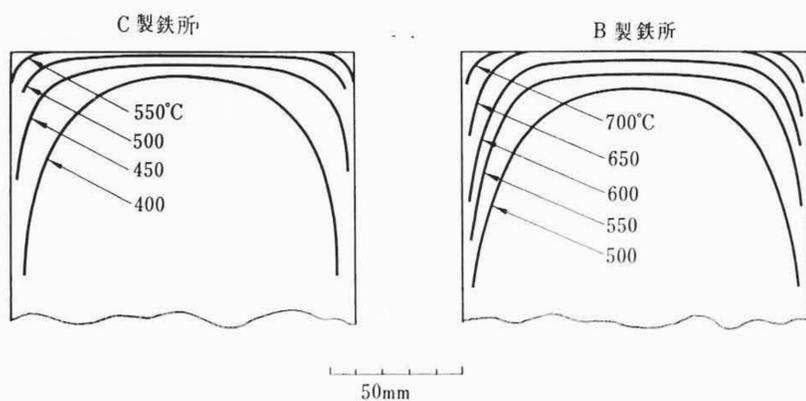
温度の値そのものについては、この場合は若干の補正が必要である。すなわち、このロールは数時間の圧延で交換されるので、この間にロール表面上の1点が鋼片と接触する時間の総和を計算すると、わずかに5分前後となる。したがってかたさから温度への換算に当たっては、第3図の1時間焼戻の曲線ではなく、むしろ6分間焼戻の曲線を用いるべきである。この補正を行なうと表面温度の値は575~600°Cとなり、理論的推定値とよく一致する<sup>(4)</sup>。なお分塊ロールの場合はロール交換が1週間であって、接触時間の総和はほぼ1時間になるのでこの種の補正を必要としない。

#### 4.3 分塊ロールとの比較

分塊ロールの表面温度400~500°Cに対して、ホットストリップミルロールの温度は575~600°Cで、約100°C高い。この原因を考えると、鋼片温度、圧下量は分塊圧延機のほうが高いが、圧延圧力、したがって摩擦熱がホットストリップミルのほうが高く、このために後者のロール温度が高くなるものと推定される。加熱層の深さは分塊ロールが1~2mm、ホットストリップミルが約1mmで、前者がやや深い、その差は比較的わずかであって両者の肌荒れ、たとえばファイヤクラックの深さの差は温度だけでなく、ロール交換までの稼動時間の差、補強ロールの有無などが関係するよう思われる。

#### 5. 熱間せん断機刃物の温度

以上に述べた各種ロールのほか特殊な応用例として、スラブ用熱間せん断機刃物についても、まったく同様の手法で温度測定を試みた。第10図に結果の一部を示す。この場合、5φ×10mmの試料を用いたが、鋼片と接触する部分の加熱層厚さは10mmよりもはるかに深いようであった。試料のあるものは表面がかえって硬化しており、変態点を越えて再び焼入硬化したものとみられるので、外そうしてみても、表面はおよそ800°C近い高温まで加熱されたも



第10図 スラブ用熱間せん断機刃物内部の温度分布

のと推定される。

前述のロールの場合には、約0.1秒の加熱時間に対して、約1秒という相対的に長い冷却期間が続いた。これに対してせん断機刃物は加熱時間が2~10秒と長く、しかも冷却時間が5~60秒と相対的に短いことから、内部に熱が蓄積してこのような高温に達し、また加熱層が深くなったものと考えられる。C製鉄所よりもB製鉄所のほうが切断の時間間隔が短いぶんかなり高温になっており、このような事情に応じてそれぞれ適切な耐熱性をもつ刃物材を選ぶ必要があることが示唆される。

#### 6. 測定精度の検討

本測定法の精度に関係する要因をあげてみると、次のような事項がある。

(1) かたさのばらつき

かたさ測定値自体のばらつきのため±10°C程度の誤差がある。

(2) 焼戻時間の影響

計算の根拠となる指定作業条件と実際作業の差。接触時間中の昇温期間の取り扱い。

(3) 繰返焼戻の影響

標準試料は1時間連続焼戻を受けるが、埋込試料は短時間繰返焼戻を受ける。繰返しにより焼戻は促進される傾向がある。

(4) 応力の影響

多少の影響が予想されるが、影響の方向は明らかでない。

(5) 摩耗の影響

取り出した試料の表面は初めは内部にあり、摩耗とともにしだいに表面に近づき、しだいに高温に加熱されてきている。

(6) ロールと試料の温度差

材料の熱的性質の差。試料とロールのすき間。

以上の諸項を考慮して、本法による測定値の信頼精度は絶対値として±60°C、相対的な比較値としては±20°C程度と考えられる。この絶対値精度はロール材質選定に当たっての参考値として利用するときには十分であり、また圧延条件の検討の参考資料とするときにはこの程度の相対精度で十分である。

#### 7. 焼入鋼埋込法の特長

ここで紹介した温度測定法の特長は次のような点にある。

(1) 熱電対などと違って、検出体(試料)と測定器(かたさ計)を連結する必要がないから、高速度運動体、遠隔部分などに利用できる。

(2) サーモペイトに似ているが、はるかに過酷な力学的、化学的条件に耐える。

(3) 短時間の温度上昇でも、繰返加熱であれば測定できる。つまり応答が速い。ロールの一例では加熱時間は0.06秒であった。

(4) 微小部分の温度差、温度こう配を測定できる(たとえば0.01mm)。これは熱電対のように検出体自身がかなりの大きさを持つ普通の方法ではまったく及び得ない点である。

(5) 作業はきわめて簡単であり、ことに現場操業の邪魔にならない。

これらの点を考えると、ロール表面温度だけでなく、広い範囲にわたる応用が可能であろう<sup>(7)</sup>。

#### 8. 結 言

従来、関係者の多大の関心の的でありながら、直接に測定されることのなかった熱間圧延ロールの表面温度の問題に対して、焼入鋼埋込法を応用することによって、種々の新しい情報を得ることがで

きた。

測定してみると、加熱層の厚さはしばしば1mm程度にすぎず、また加熱時間も0.1秒程度という短時間であること、さらに回転、圧力、その他の過酷な条件からみて、通常の方法ではとうてい測定不可能の対象であることを改めて確認した。

得られた測定値は個々の圧延機によってそれぞれ異なるが、いずれも400~700°Cの範囲内であった。これまで10箇所あまりの圧延工場において測定した結果を概観すると、ロール冷却の重要性が浮かびあがってくる。冷却が不十分のときは表面温度が高く、加熱層が深くなり、これに伴ってファイクラックが深くなる。このほか、鋼片の接触時間の影響、ロール冷却時間の影響、あるいは摩擦熱の影響などについても興味ある結果が得られた。

これらの測定によって、ロール材質選用上の多くの有用な情報が得られたばかりでなく、各製鉄所においては圧延作業上の諸要因の

影響を検討するための参考資料として大いに活用していただいている。

終わりに、本研究に対して種々ご援助賜った川崎製鉄株式会社、富士製鉄株式会社、八幡製鉄株式会社、日本鋼管株式会社、大同製鋼株式会社の関係各位に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) Belansky ほか: Iron & Steel Engin., 33, 62 (March, 1956)
- (2) 桑原: 東洋鋼鉄 9, 1 (Dec. 1960)
- (3) Peck ほか: Iron & Steel Engin., 31, 45 (June, 1954)
- (4) 関本: 日立評論別冊 42, 43 (1961-5)
- (5) 奥本ほか: 鉄と鋼 49, 383 (1963-10)
- (6) 奥本ほか: 鉄と鋼 50, 598 (1964-3)
- (7) —: Engineering, 194, 800 (Dec, 1962)



特 許 の 紹 介



特許第243156号

川島夏樹

減容電解法による重水濃縮法

濃縮重水を電解によって製造するための装置として、減容電解槽がある。これはある程度濃縮された低濃度重水をさらに濃縮するため用いられるものであるが、従来のものは隔膜がとりつけられていないので、電解によって発生する水素と酸素とが混合しやすく、このため爆発の起こる危険性が高かった。

隔膜が取り付けられなかった理由は、第一に隔膜をとりつけると槽の構造が複雑になり、さらに根本的には減容電解槽の最大の特長つまり高い重水素の歩留を害するからであった。

なぜなら今、仮に電解槽内の電解液に重水素濃度の不均一があったとすれば、濃縮が起こるのは陰極面であるから、濃い部分は陰極付近である。そして水素ガス中の重水素濃度を決定するのは陰極付近の電解液中の重水素濃度であるから、不均一があったとすれば電解液の平均の重水素濃度から算定されるよりも濃いガスが発生し、歩留が下ることになるからである。

この発明は、以上の電解槽をまったく新しく改良したもので、隔膜7を隔てて設けられた陰極室8と、陽極室9を具えた減容水電解槽において、陰極室8の上部から出たガス泡含有電解液を水素側電解液タンク10の下部に導き、そのタンク内の電解液を連通管15を介して陽極室9の下部に導き、また陽極室9上部から出たガス泡含有電解液を酸素側電解液タンク11に導き、そのタンク内の電解液を連通管14を介して陰極室8の下部に導いて電解液が水素側タンク10、陽極室9、酸素側タンク11を通り再び陰極室8に入るように循環させながら減容電解による重水濃縮を行なうようにした重水濃縮法に特徴を有するものである。

この発明によれば、電解途中に水を補給せず、しかも槽内に濃度分布が生じない状態に保ちながら重水濃縮を行なう点で従来の減容電解槽と同様であるから、高い重水歩留は害されない。

また発生ガスの圧力を利用して電解液を循環させるものであるから、隔膜を装着しても陽陰両極間の重水濃度の不均一がなくなり、従来不可能視されていた隔膜付き減容電解槽の使用がはじめて可能となった。さらに隔膜をとりつけることにより発生ガスの混合が起これなくなり、安全性が確立され、保守が容易となり、ガス燃焼器が簡略化され、使用装置の製作費が安くなるという利点がある。

(佐藤)

