

ため、一部前進面に存在するデンドライトを再溶解する。

5) 濃縮溶質溶液の流動速度には流動域の流動抵抗とデンドライトの再溶解能とが関係する。

6) スtringゴーストとして長い偏析線をつくるためには流動濃縮溶質溶液とほぼ同様な濃度を持つ溶液が偏析線に順次流入し補給されなければならぬ。その循環補給は未凝固液相域が供給源となり、凝固遷移層を通過するにしたがって次第に濃度を高め偏析線に流入することによって行なわれる。

7) Stringゴーストとして長い偏析線をつくるためのもう1つの条件は偏析線先端の濃縮溶質溶液の流動速度が凝固進行につれて変位する凝固遷移層の移行速度より大であつて、かつそれに加わる濃縮溶質溶液の補給が順調であることが必要である。

8) 凝固の進行とともに初期に形成された偏析線より徐々に固定される。それとともに偏析線に流入する濃縮溶液の循環補給経路も鋼塊中心方向に移行して行く。

終りにのぞみ本研究上重要な試料である鋼塊の一部をご提供下さつた株式会社日本製鋼所室蘭製作所に御礼申し上げます。また本実験に協力された現苫小牧高専大場六郎氏に感謝致します。

文 献

- 1) 蒔田宗次: 鉄と鋼, 13 (1927) 12, p.1001~1024
- 2) C. BENEDICKS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 117 (1928), p. 557~564
- 3) A. HULTGREN: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 120 (1929) p. 69~113
- 4) 小平勇: 鉄と鋼, 18 (1932) 6, p. 548~562
- 5) F. BADENHEUR: Stahl u. Eisen, 54 (1934), p. 1073~1079
- 6) C. SYKES, H. H. BURTON and C. C. GEGG: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 156 (1947), p.155~180
- 7) B. M. LARSEN; Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet., Eng., 162 (1945), p. 414~435
- 8) 河合正吉: 鉄と鋼, 42 (1956) 1, p. 14~18
- 9) P. H. SALMON COX and J. A. CHARLES; J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 201 (1963), p. 863~872
- 10) 高橋, 萩原: 日本金属学会誌, 29 (1965) 6, p. 631~637
- 11) 萩原, 高橋: 日本金属学会誌, 29 (1965) 6, p. 637~642
- 12) 高橋, 萩原: 日本金属学会誌, 29 (1965) 12, p. 1152~1159
- 13) 萩原, 高橋: 鉄と鋼, 51 (1965) 4, p. 905~908
- 14) 鹿野, 福本, 中川, 萩原, 高橋: 鉄と鋼, 52 (1966) 2, p. 113~119
- 15) B. CHALMERS: Principles of Solidification, John Wiley & Sons, New York, (1964), p. 164~165

ホットストリップミル作業ロールの稼動中の温度*

新山英輔**・高見勝巳***・奥本武臣****

森竜太郎*****・蜂須幹雄*****・田中俊章*****

Hot Strip Mill Work Roll Temperature during Rolling.

Eisuke NIYAMA, Katsumi TAKAMI, Takeomi OKUMOTO

Ryutaro MORI, Mikio HACHISU and Toshiaki TANAKA

Synopsis:

Temperature of a bottom working roll of the first stand of a hot strip finishing mill during rolling was measured by means of thermocouples embedded in the surface layer of the roll. Instantaneous temperature change was detected and led to the recorder through slip rings. Maximum temperature rise measured was about 100 degrees C at about 1 mm from surface. Characteristics of periodical change in temperature in various zones in the roll were examined. In the zone I, 0 to 0.5 mm from surface, temperature depended solely on the angle of rotation. In the zone II, 0.5 to 5 mm from surface, temperature depended both on angle of rotation and on the number of rotations during one rolling. In the zone III, 5 to

* 昭和40年10月本会講演大会にて発表 昭和41年4月11日受付

** 日立製作所日立研究所勝田分室 *** 日立製作所中央研究所 **** 日立金属工業本社技術開発部 理博

***** 日立製作所家庭電器研究所 ***** 日立製作所勝田工場ロール部 ***** 富士製鉄広畑製鉄所

30 mm from it, temperature depended both on number of rotations and on the number of rollings. In the zone IV, 30 mm to center, temperature depended solely on the number of rollings. Temperature at center approached a constant value after about 30 rollings. Dependence of temperature rise on rolling variables was examined. Amount of cooling water was found the most critical in determining the temperature in the roll and the reduction rate of plate was the second most so, while the interval of rolling was even less critical.

(Received 11 Apr. 1966)

1. 結 言

稼動中の作業ロールの温度は一方では圧延作業の能率、あるいは製品の寸法精度などに影響し、他方ではロール自体の寿命に影響する。筆者らはさきに焼入鋼の埋込法を応用して焼入鋼片の焼戻硬さからホットスリッピル作業ロールの表面温度を測定し、ロール表面に発生するファイヤクラックおよび流星疵との関係について検討した¹⁾。その結果によれば最表面の温度は 600°C 近くになるが、深さ 1 mm の点は 200°C 程度にしかならず、表面層には非常に大きい温度勾配が存在することがあきらかになった。しかしこの方法は 200°C 以下には適用できないため、これより内部の温度はわからず、また回転に伴う温度の時間的変化を検出することも不可能であった。ところがこの種のデータはロールの熱膨張などの問題を考察するに当つて必要であり、しかも従来測定例がなく、理論計算による推定が行なわれているに過ぎない^{2)~4)}。そこでこの目的のために熱電対によつて連続測定を試みた結果について報告する。

2. 測 定 方 法

2.1 測定対象

ここでは測定の対象として 6 連続ホットスリッピル仕上第 1 スタンド下側作業ロールを選んだ。なお、測定中の圧延条件は直径 643 mm, 回転速度 40~45 rpm, 圧延材の入口厚さ 21 mm, 出口厚さ 9~12 mm, 圧延材温度約 1000°C である。

前述のように表面層の温度勾配は、非常に大きく加熱冷却のサイクル (1 回転) は約 1.5 sec, この間の圧延材とロールの接触時間は上記の条件から計算して約 0.025 sec に過ぎないことがわかる。これらの苛酷な位置的並びに時間的条件に加えて、ロールの表面には約 1500 kg/cm² の高圧力がかかるので、正確な温度測定には多くの困難が予想された。

2.2 温度検出端

ロール表面温度測定法としてさきに開発した焼入鋼の埋込法は¹⁾、ロール表面に焼入鋼を埋込んで圧延を行なった後これを取り出し、その断面各部の焼戻された硬さを測定することにより、ロール表面に相当する位置から内

部へかけての温度を推定する方法である。この方法によれば実際に圧延材に接触した部分の硬さが測定できるので、ロール最表面の温度を推定することができ、また表面から 1~2 mm の部分の細密な温度分布を推定することもできる。しかし一方、焼戻温度 200°C 以下では硬さの変化が少ないので、それ以下の温度の推定ができないことと、最高温度の推定はできるがその間の温度の時間的変化の経過については情報が得られないということがこの方法の限界である。

そこでロール温度の時間的変化の経過を対象とした連続測定の例をみると、表面の電気的定数の変化を測定する方法⁵⁾¹⁰⁾、接触熱電対による方法¹¹⁾¹²⁾などがある。しかし、これらはいずれも検出端を外部からロール表面に接近させる方式であるため、最表面温度に関するものであつて内部温度は知りえない。

しかも測定位置は圧延材の噛み出し点から若干回転した後のロール面上であるので、検出されるのは接触後の温度であつて接触時の温度ではない。さらに接触熱電対の場合は摩擦熱の影響を考慮に入れなければならない。したがつて圧延材との接触時および接触後の温度を連続的に測定し、しかも表面だけでなく内部の温度をも知りたいという目的には、どうしてもロール内部に検出端を固定し、それによつて得られる信号を回転中のロールから取り出す必要がある。この目的に合う方法としては多くの可能性があろうが、ここでは精度、安定度、測定範囲その他を考慮して、検出端としては熱電対、起電力取出方式としてはロールにスリッピングを固定し、ブラシを介して取出すようにした。場合によつてはスリッピングブラシを介して記録計に結線することなく、無接触のままラジオ方式で取出しを行なえば、装置はやや複雑になるが取付その他の機械的な操作が簡単になるであろう。

熱電対は必要とする位置に正確に設置することが肝要であるが、ロールに直接固定することは無理であるためロールと同じ高炭素合金鋳鋼材質により Fig. 1 のような 20 mm ϕ \times 35 mm l の埋込片を作製し、その内孔の適当な位置に 3 本の 0.6 mm ϕ のクロメルアルメル熱電対をスパーク溶接した。埋込片 A は第 1 次および第 2 次測定に、B は第 3 次測定に用いた。後者は形状がやや

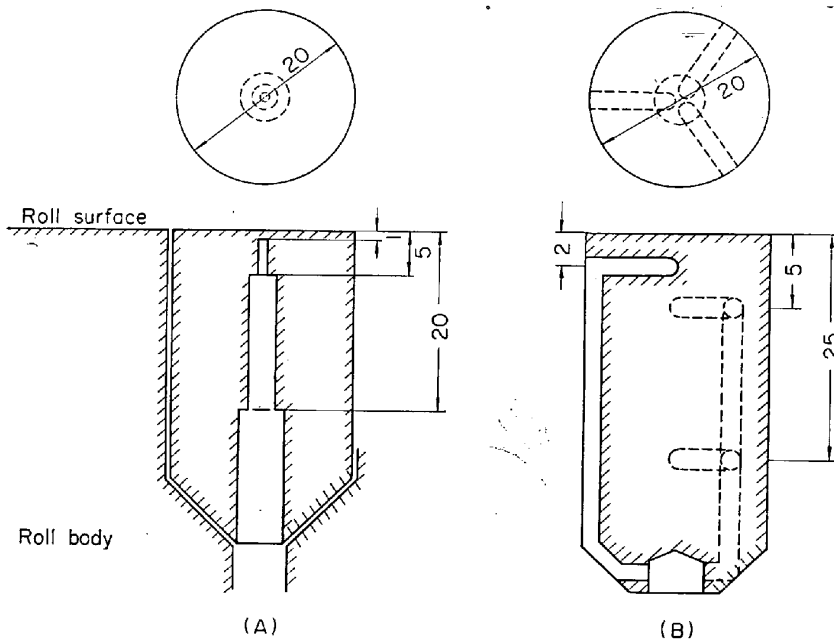


Fig. 1. Steel pieces to be inserted in the roll surface, with thermocouples welded in the holes.

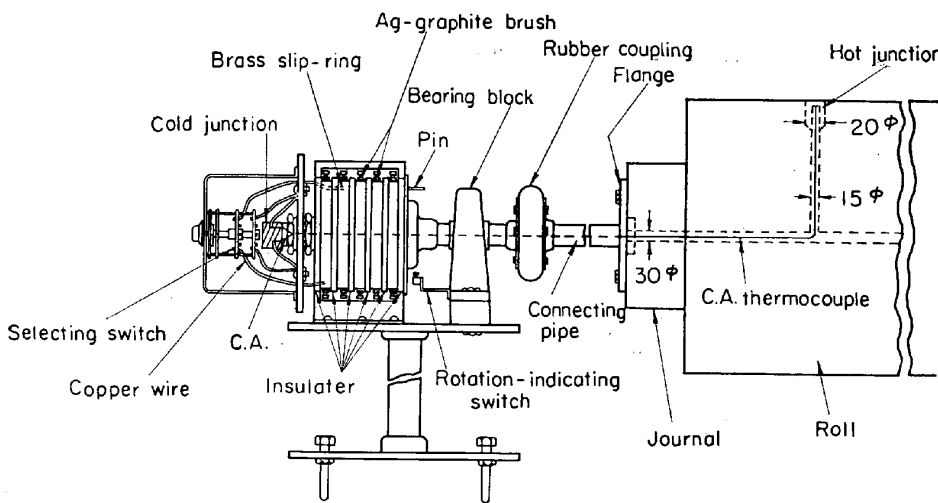


Fig. 2. Device for measuring roll temperature.

複雑であるが熱電対先端部が等温線と平行になるため熱電対に沿う熱流による誤差が少なく、また高温接点の設定位置が正確にできる利点がある。

2.3 熱起電力伝達および記録装置

ロール中心軸に孔をあけ、さらに胴部中央に半径方向の孔を1個あけて連絡し、後者に Fig. 1 の埋込片をはめ、周囲のロール表面をかきつけて固定した。リード線はこれらの孔を通し、ワーカーサイドのロール軸端に固定した長さ 2m の連結管の中から回転スリップリングに導き、固定ブラシを介してペン書オシログラフで記録させた。この間のリード線の被覆および絶縁には特に意を用いた。連結管を長くしたのはスリップリング部をロー

ル冷却水の飛沫から保護するためである。スリップリングは黄銅製、ブラシは銀グラファイト製を用いた。Fig. 2 に示すように製作した装置はアース線用を含めて5個のリングを有し、4点の測定ができるが、記録計は2チャンネル型を用いたので、切換スイッチにより測定中に任意の2点を選んで記録させた。第3次測定においては精度向上のために冷接点びんをロールとともに回転させるように工夫した。

接触抵抗、リングーブラシ間の雑音などについてはあらかじめ十分に検討した。なお較正試験によりブラシを介することによる誤差は無視し得ることが確認できた。

温度測定の作業の順序としてはロール表面を研削後、熱電対を溶接した埋込片をロール表面にはめ込んだ後表面を手仕上げで仕上げる。このロールを圧延機に組込み、連結管、スリップリングなどを接続し圧延作業に入った。測定の状況を Photo. 1 に示す。

3. 測定結果

3.1 第1次測定結果

埋込片Aより表面から1, 5, 20 mmの3点、および埋込片を介さず、半径方向の孔の内部の表面から 250 mm の位置（熱電対はロールに溶接せず）の測定を試みたが実験上の不手際から

埋込片が陥没して、5本の圧延を行なったのみで中止した。圧延材は仕上寸法2.3 mm厚×941 mm巾、重量 6.7 t のもので、第1スタンドを通過する際、作業ロールは約30回転する。第1, 2, 3次測定の圧延材寸法を Table 1 に示す。

この時の測定例を Photo. 2 に示す。ロール表面より 1 mm の点の熱起電力の記録線の巾が太くなっているのは交流電源の影響が重畳されたためで、この線の中心が正しい値を示すことになる。ロール表面より 5 mm の点の温度は圧延材1箇の圧延中次第に上昇しているが、1 mm の点は1回転ごとのロール表面の加熱冷却に対応して上下しつつ、その極大、極小値は次第に上昇して最高

Table 1. Size of strips rolled.

Series No.	Number of strips rolled	Strip No.	Strip width (mm)	Strip weight (ton)	Rotations for a strip (calculated)
1	5	No. 1~5	941	6.7	~30
2	76	No. 1~56 No. 57~76	941 830~970	6.7 4.8~6.4	~30 24~30
3	32	No. 1~20 No. 21~32	1130 1259	3.5 4.5	~23 ~21

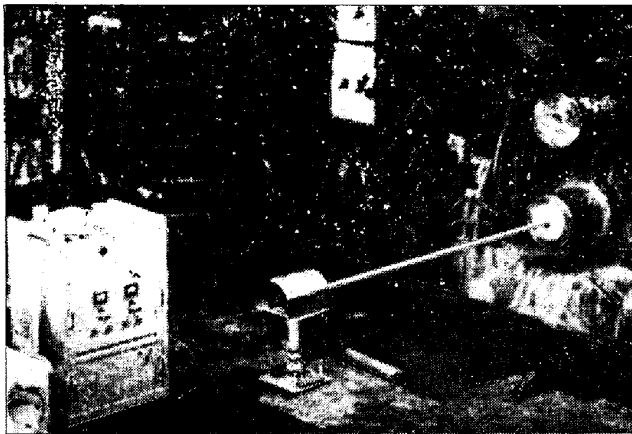


Photo. 1. Roll stand and measuring device during measurement.

100°C (水温との差) に達している。Fig. 3 は圧延材 1 箇の圧延中の 1 mm の点の極大、極小値の変化、および 5 mm の点の温度変化を示す。5 mm の点は圧延終了後もなお若干上昇し、一時的に 1 mm の点よりも高くなる時期がある。

なお、Photo. 2 のロール表面より 1 mm の点の温度変化を仔細に観察すると、ロール回転の 1/2 周期の点の前後に温度降下の停滞がある。これは補強ロールとの接

触によるものと思われる。また、圧延終了後も 1 周期ごとになおわずかな温度上昇が数回繰返されている。これは上下ロールが接触する部分に冷却水が直接にかからない 1 種のデッドゾーンがあるためと考えられる。

3.2 第 2 次測定結果

第 1 次とほぼ同じ条件でロール表面より 1.5, 5, 20 mm および 250 mm の点について測定を行なった。このさい圧延条件を種々変化させながら、ほぼ同じ寸法の 76 箇の圧延材について連続測定を行なうことができた。

第 1 次測定の結果と異なる点は、1.5 mm の点においても各回転に対応する温度の上下が明瞭に現われず、また温度自体も 50~80°C 程度で低く、しかも 1.5, 5, 20 mm の間の差が小さかったことである。この原因はおそらく、熱電対を固定した位置のきわめてわずかのずれによるものと思われる。

Fig. 4 は各圧延材ごとに得られた最高温度を示したもので、横軸には圧延の順序にしたがって圧延材の番号を記したが、圧延作業上の諸条件のうち、(1) 1 箇の圧延終了から次の圧延開始までの時間々隔、(2) 第 1 スタンドにおける圧下の大小、(3) ロール冷却水量、を種々変化させた場合のロール表面温度の上昇の相異を示す。図

中、圧延間隔は 20 sec 以下中は 20~50 sec、大は 50 sec 以上とした。圧下量は電動機駆動電流で表わし、小は 5000 A 以下、中は 5~6000 A、大は 6000 A 以上とした。冷却水は標準量と、測定ロール前面冷却水を止めた場合とを比較した。ここで測定ロールだけにかかる冷却水量は直接測定できなかつたが、標準量では 2.45 m³/sec、減少した場合 2.05 m³/sec と概算される。

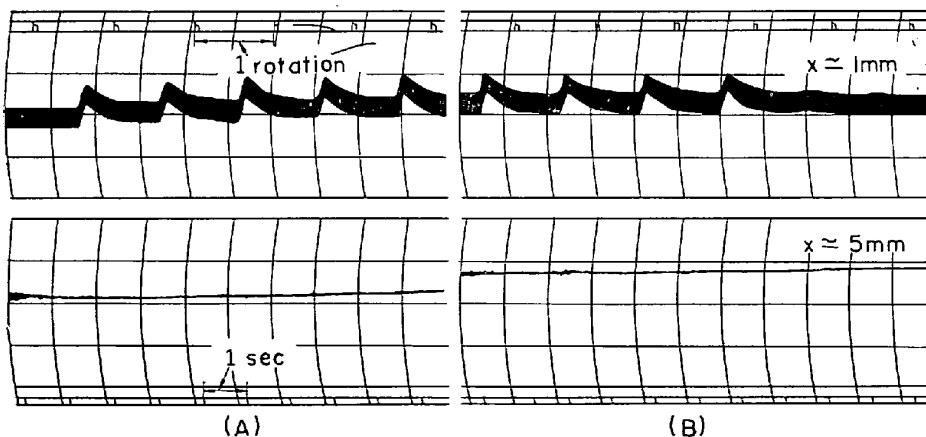


Photo. 2. Examples of temperature record (Series 1)
(A) Beginning of rooling
(B) End of rooling
The middle part is omitted.

圧延材 No. 1 から 27 までに温度が徐々に上昇しているのは圧延作業の継続に伴う熱の蓄積、および圧延間隔の短縮による。No. 27 と 28 の間の急激な温度上昇は冷却水の減少に対応している。No. 37 以降の低下は再び圧延間隔を広げたことによる。No. 48 からの上昇は圧下量の増加に対応する。No. 56 と 57 の間の急激な低下は作業を一時中断したため、圧下量を小さくしたためである。このように圧延の条件のいかんがロール温度に鋭敏に影響する。

つぎに測定点の深さと温度の関係をみると、作業開始後の数個の圧延中には表面に近いほど温度が高く、ロール表面より 1 mm と 20 mm の間には約 15°C の差がある。しかし 30 個の圧延後には差はほとんどなくなり、特に温度の高い場合にはロール表面より 1 mm の個所よりも 5 mm の個所の方が高いことさえある。これはロール内部に熱が蓄積されたために複雑な温度分布が生じたことを示すものである。

そこでいまロール表面より 5 mm の点を代表に選び、圧延作業の諸条件の影響を個別にまとめると Fig. 5, 6, 7 のようになる。Fig. 5 から、圧延の間隔が短くなると温度が上がることを示される。

Fig. 6 から、標準圧下量に比較して、圧下を小さくし

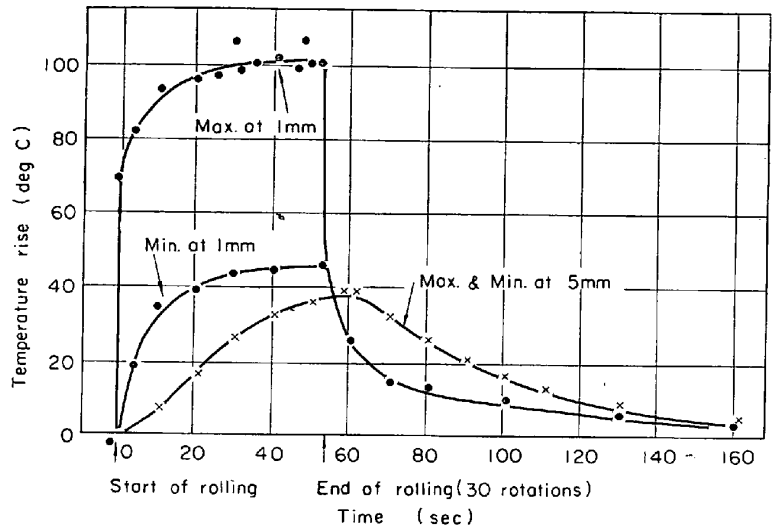


Fig. 3. Maximum and minimum temperature at various locations in the roll during one rolling.

てもロール表面温度はわずかに下るだけであるが、逆に圧下を大きくし、電流値を 7000 A 前後にすると温度上昇が急増することが示される。

Fig. 7 によれば、標準量に対して、冷却水の流出量を約 15% 減少することにより温度上昇がかなり大きくなることが示される。

3.3 第 3 次測定結果

ほぼ同寸法の 32 個の圧延材をほぼ同一条件で圧延しこの間、埋込片 B を用いてロール表面より 1.3, 4.3,

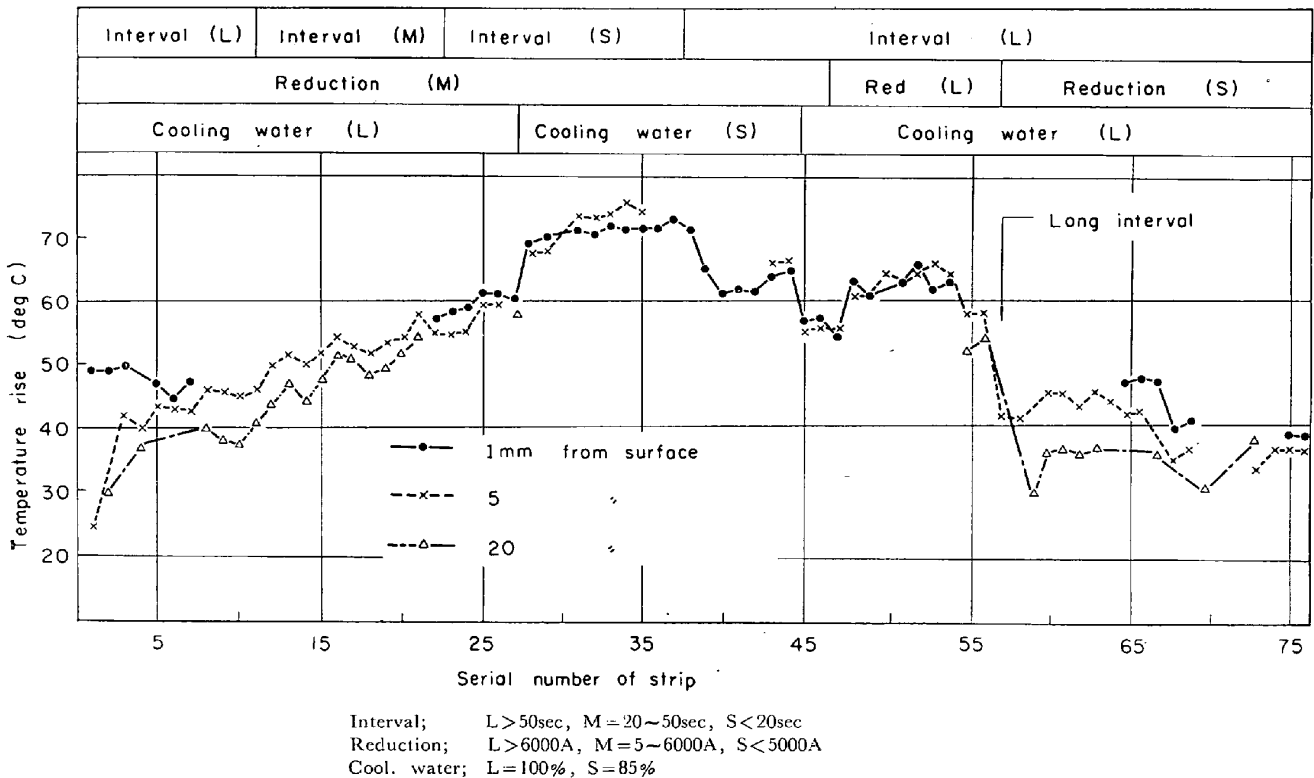


Fig. 4. Change of maximum roll temperature rise with the change in rolling variables (series 2)

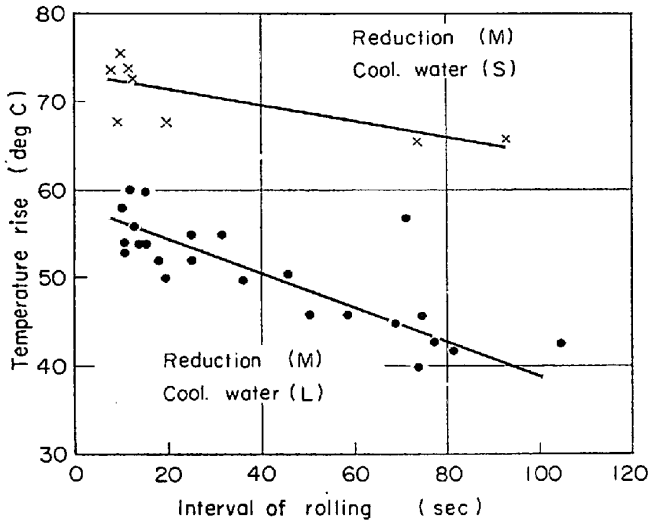


Fig. 5. Effect of interval of rolling on roll temperature rise.

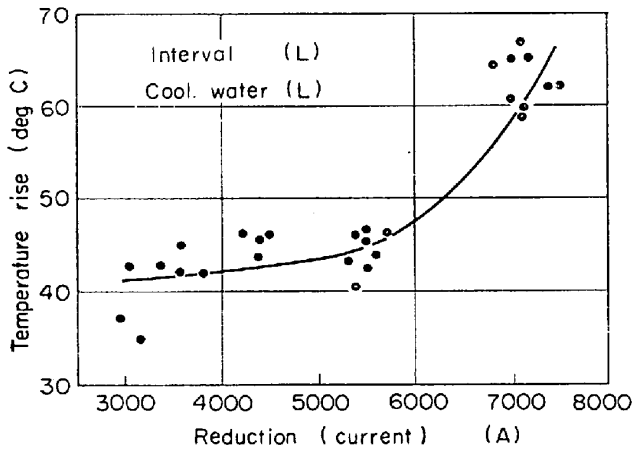


Fig. 6. Effect of reduction on roll temperature rise.

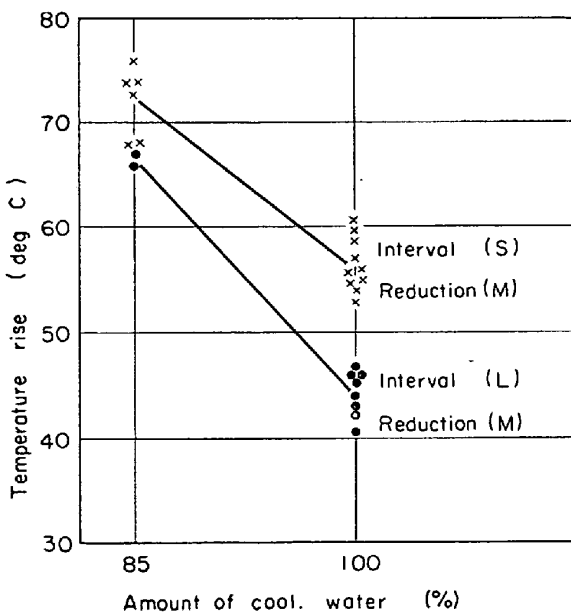


Fig. 7. Effect of amount of cooling water on roll temperature rise.

24.3 mm および 250 mm の点の連続測温を行なつた。この場合は、第 2 次測定と異なつて圧延条件を変化させていないので、圧延個数に伴う温度の変化状況を知ることができる。ただし、第 1 次、第 2 次に比べて圧延材の長さが短くなつている。測定記録の 1 例を Photo 3 に示す。ここで便宜上それぞれ別の圧延材に対する記録結果を並べてあるが圧延条件は同等とみてよい。傾向として表面に近いほど温度が高く、また各回転に対応した上下変動の巾も大きくなつている。

Fig. 8 は各圧延材に対応する各測定位置における最大値を圧延の順にプロットしたものである。ロール表面より 1.3 mm の点は 1 回の圧延でほとんど飽和値に達しているが、測定点が深くなるほど飽和に達する時期がおくられる。また、ロール表面より 250 mm の点はロール中心温度をほぼ代表するものとみなすことができるが、30 回の圧延で大略飽和値に達する。1.3 mm の点は最大 80°C (水温との差)、250 mm は 30°C 程度である。

4. 考 察

4.1 温度変化の周期

ロール内部の温度変化について、次の 3 種類の周期を考えることができる。すなわち、(1) 1 回転を単位とする約 1.4 sec の周期。この間、回転角度とともに温度が変化する。(2) 1 個の圧延と次の圧延までの待時間を含めた約 35~100 sec の周期。この間、回転数とともに温度が変化する。(3) ロールを圧延機に組込んでから取出すまでの数時間。この間、圧延材の圧延個数とともに温度が変化する。実際の温度変化はこれら 3 周期の影響が重畳したものとみなされる。

4.2 各部分の温度変化特性

上述の観点から、ロール内部を層別にして測定結果について考察する。

(1) ロール最表面の温度変化は測定していないが、最高温度は約 600°C に達することが確められている。ロール表面は圧延材と接触した後、急速にこの温度まで上昇し、接触期間 (約 0.025 sec) 中そこに保たれ、接触終了後低下する。降温速度は不明であるが、1 回転の間にほぼ冷却水の水温まで戻るとみられる。したがつて回転を繰り返しても最高温度にはほとんど影響なく、いいかえれば表面温度には第 1 の周期のみがあつて、第 2、第 3 の周期の影響はほとんど重畳されない。最表面から 0.5 mm 程度がこの範囲に含められよう。

(2) ロール表面より 1 mm 以上の位置については温度変化を実測したが、0.5~5 mm を第 2 の層と考える。Photo. 2, 3 にみるようにここでは回転に伴う周期が明

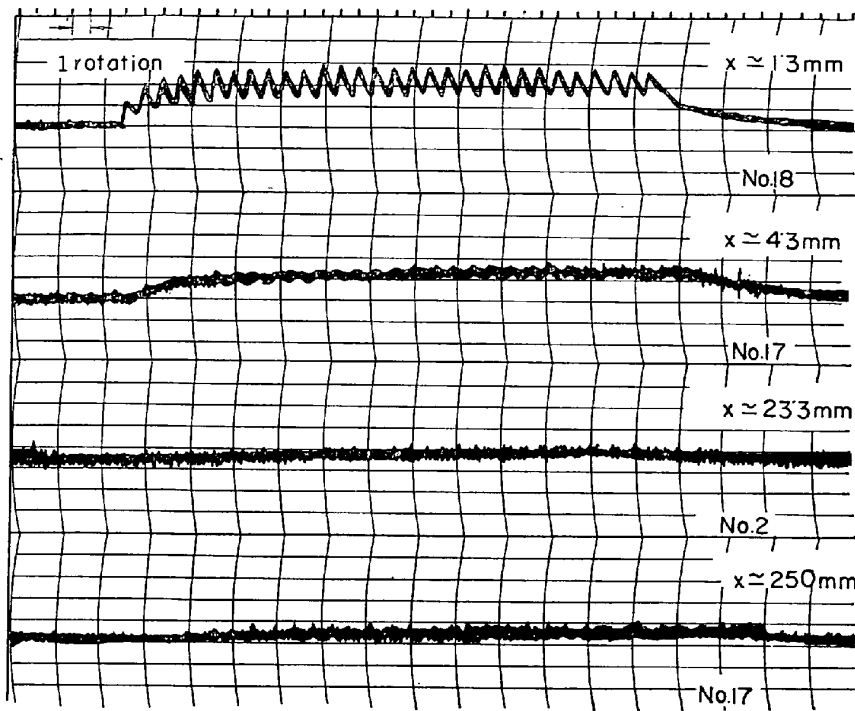


Photo. 3. Examples of temperature record (Series 3)

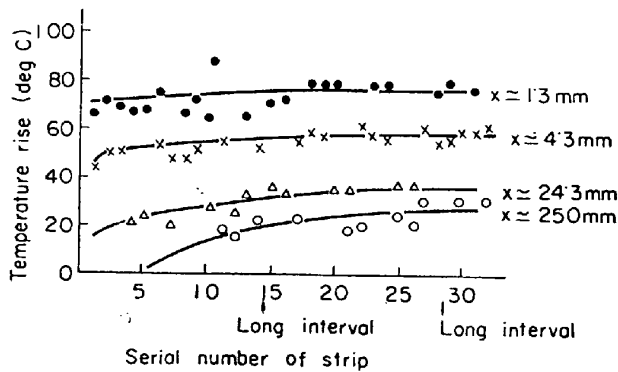


Fig. 8. Change of maximum temperature at various locations in the roll with the number of rollings.

瞭に現われるが同時に1個の圧延を通じて温度が上昇し、待時間中に降下する。したがって第1, 第2の周期がみられることになるが、次の圧延に入る前に十分に冷却されるので圧延回数による上昇はない。これはFig. 8にも示されている。

(3) ロール表面より5~30mmの範囲ではPhoto. 3にみられるように第1の周期はほとんど現われず、第2, 3の周期が重なって現われる。すなわち、1個の圧延中に次第に上昇した温度は次の圧延までに十分に低下しないため、圧延回数とともに次第に高くなる。もちろんそれには飽和値があり、表面に近いほど少ない圧延回数で飽和値に近づく。

(4) ロール表面より30mmから中心にかけては第

1はもちろん、第2の周期もあまりはつきり現われないうで、圧延回数とともに次第に上昇して飽和値に近づく。

以上のようなロール内各部における温度の周期的変化の特性をTable 2にまとめて示した。

4.3 最高温度

Fig. 9は第3次測定の結果から、各圧延材に対してロール表面からの各測定点で得られた最高温度をとつて、表面からの距離に対してプロットしたもので、圧延回数をパラメータとしている。表面付近はきわめて急勾配で、しかも温度は圧延回数と無関係である。内部の勾配は非常にゆるやかで、その温度は圧延回数とともに漸増していることは前述の通りである。

4.4 平均温度

ここでは第1, 第2の周期を通しての平均値、すなわち各圧延材に対する平均値を考える。Photo. 3のような各点の温度変化曲線を1個の圧延について(圧延および待時間を含めて)図式的に積分すれば平均温度が求められる。

Table 3は第3次測定の結果から各点の平均温度を求めて比較したものである。同時に平均温度と最高温度の比の概略値を求めて記した。平均温度の上昇曲線はFig. 8の最高温度の上昇曲線にこの比をかければ得られる。1, 10回目の圧延では内外部の平均温度の差が大きく、内部は上昇しつつある。30回の圧延では中心近くで

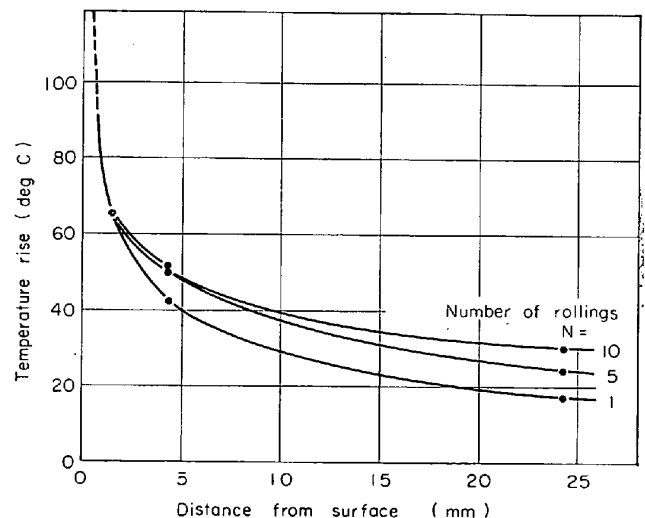


Fig. 9. Distribution of maximum temperature in the surface layer of the roll.

Table 2. Characteristics of periodical temperature change in various zones of a roll.

Zone	Approx. distance from surface (mm)	Periodical temperature change with		
		Angle of rotation	No. of Rotations	No. of Rollings
I	0~0.5	*	—	—
II	0.5~5	*	*	—
III	5~30	—	*	*
IV	30~320 (center)	—	—	*

Note: * Mark signifies that there is a definite periodical change in temperature in the zone with the variable indicated.

Table 3. Average temperature at various locations in the roll.

Distance from surface (mm)	Average temperature (deg C)			Approx. ratio of aver. temp. to max. temp.
	1st. rolling	10th rolling	30th rolling	
250	0	10	20	0.7
24.3	10	15	20	0.5
4.3	20	22	24	0.4
1.3	21	22	24	0.3
0(surface)	(24)	(24)	(24)	(0.04)

も上昇がほぼ停止し、内外の温度は同程度になり、定常状態に近づいたといえる。

4.5 圧延条件の影響

ロール内部の熱はすべて表面から入るものであるから、最表面の温度が内部の温度を決定するといつてよい。最表面の温度は圧延前のロールの初期温度、圧延材の温度、接触時間、摩擦熱、塑性変形熱などに影響されるが、このうち圧延材の温度がもつとも支配的である。圧延材温度とロール表面および内部温度との間には約2対1の比例関係が成立つと考えられる。なぜなら、第1近似として次の関係が考えられるからである。

$$T = (T_i + T_o) / 2 \dots \dots \dots (1)$$

ここで T, T_i はそれぞれ接触時および接触前のロール表面温度, T_o は圧延材温度である。本測定中には圧延材温度の変動は少なく、その影響も検出されなかつた。

圧下率はロール温度に影響することが確認されたが (Fig. 6) これには種々の原因が考えられる。圧下率の増加は圧延機とロールとの接触面積接触時間、摩擦熱、塑性変形熱の増加をもたらす、いずれもロール温度を上昇させるように働く。このうち塑性変形熱の影響は比較的小さいと考えられる。また、圧延材とロールの間に完全な接触状態が保たれると仮定すれば、最表面の最高温度には接触時間は影響しない。これに対し、平均温度は接触時間に比例して増加し、したがって内部では最高温度も多少増加する。しかしこれにも Fig. 7 のような急激な影響は考えにくい。しかし、摩擦熱について概算して

みるとその影響は大きく、実測されたような圧下率の増加に伴う温度の非直線的増加の主な原因と考えられる。もしスタンド間に回転の不整合があつて、圧延機とロール間にスリップが起こるようなときには大きな温度上昇があるであろう。

回転速度は接触時間と冷却時間を同時に変化させ、両者の影響は打消し合うので、1個の圧延開始から次の圧延開始までの時間間隔が一定であれば温度に対する影響はないものとみてよいであろう。本測定中では回転速度はほぼ一定に保たれた。

圧延材の長さは1個の圧延に要する回転数を決定する。本実験の第1次、第2次測定では1個当りの回転数は約30回、第3次では約20回であり、それぞれ一定であった。仮に圧延終了から開始までの待時間の間隔を一定としても、前述の第II, III層 (1~30mm)の温度は1個の圧延中に次第に上昇するから、その最高温度は圧延材の長さに支配される。

圧延材長さに関連して圧延間隔も重要である。ここでは1個の圧延終了から次の開始までの待時間を圧延間隔とするが、本実験ではこれを10~290secの範囲で変化させ、その影響を確認した (Fig. 5)。圧延間隔の影響は第I, II層において比較的小さく、III, IV層において大きいはずである。圧延開始から終了までを仮に圧延時間と呼べば、中心温度は (圧延時間) / (圧延時間 + 圧延間隔の時間) に比例する。これに対し、前述のように第I層は圧延時間に影響されず、第II層は圧延間隔にはあま

り影響されないが圧延時間とともに増加する。第Ⅲ層は圧延時間と間隔の両者に影響されるが、第Ⅳ層よりは圧延時間の影響が強いと考えられる。しかし、以上は最高温度についてであつて、定常状態における平均温度はいずれの点においても中心と同様、(圧延時間)/(圧延時間+圧延間隔の時間)の比によつて決まると考えてよいであろう。

冷却水量の影響は Fig. 7 に示したようになりに大きくロール表面から 1~5 mm の点の最高温度が約 20°C すなわち 20~30% 程度変化することがわかる。これは当然、最表面の温度の変化を通じての影響でなければならないが、最表面の温度の相対的な変化は内部よりも小さいと考えられる。

以上より、圧延中のロール温度の実測でロール温度に影響を与える圧延条件は水冷条件、圧下率、圧延間隔であつたが、これらの関係については定性的ではあるが理論上からも裏付けし得た。実測上は検出されなかつたが、これらに次いで圧延材長さ、圧延材温度の影響も大きいものと推定される。

実測の結果については次のように半定量的な整理の仕方ができると考える。(Fig. 5, 6, 7参照)。

(1) 冷却水量を標準量より 1%減少することによりロール温度は 1.2~1.5°C 上昇した。

(2) 圧下量を電流値で表わして 1%増加することによりロール温度は 0.6~0.7°C 上昇した。

(3) 圧延間隔を 1%短縮することによりロール温度は 0.1~0.2°C 上昇した。きわめて大ざつばなものであるが、こうした見方から圧延中のロール温度の上昇に対して冷却水の影響がもつと大きく、圧下率、圧延間隔がこれに次ぐということが出来る。また実用的には、たとえば生産上の必要から圧延間隔を 1%短縮しなければならない時には、冷却水を 1%増加してやればロール温度の上昇を十分に防ぐことができるといえる。

4.6 従来の研究との対比

前述のように従来の連続測定は圧延材との接触後の、しかも最表面の温度に限られ、内部温度の連続測定になつていないので本研究の結果と直接比較することができない。したがつて、これまでに発表されている内部温度についての理論計算の結果⁷⁾並びに埋込法によつて得られた表面の最高温度の値⁹⁾を本研究の結果と対比して検討することとする。

まず 4.2 に述べた温度の周期的変化の特性について、理論計算の結果をみると、ロールの回転に対応した周期が現われるのは表面から約 3 mm 付近までとなつている。本研究ではこれを約 5 mm と推定しており、数値の

程度は一致している。それ以外の種類の周期については十分な計算結果がない。

つぎに最高温度は、最表面について 570~685°C という計算例があり、埋込法による測定値は約 600°C となつている。本研究で得られた測定値は高々 100°C で、室温の影響を補正しても 120°C 程度にしかならない。これはいうまでもなく、熱電対を最表面に設置しないためである。100°C といつた測定値が得られた点は表面から約 1 mm であるが、この部分について埋込法では約 200°C、計算では 160~220°C という値が得られている。これによれば本研究の値は若干低すぎることになるが、しばしば述べたように、熱電対設置位置の精度を考えたときこの程度の差は止むを得ないと思われるから、本測定の精度範囲からして従来の研究にほぼ一致する結果が得られたといつてよいと考える。

最後に定常状態の温度について考察する。Table 3 に示したように 30 個前後の圧延で中心付近の温度は一定値を示すに至る。これを定常状態と呼べば、定常状態においてはロール内各部においては回転あるいは 1 個の圧延に対応した温度の上下はもちろんあるが、それらを平均した値は場所によらずほぼ一定値で、中心温度に近はずである。もしそうでなければ中心温度が次第に変化するはずである。Table 3 によれば測定された各点の平均温度は事実 20~24°C の範囲内にある。これは最表面についても当然成立しなければならない。そこで仮に表面温度 1 回転中のある期間 Δt 秒だけ 600°C に保たれ、直ちに 0°C に冷却されるというサイクルを考えると、1 個の圧延および待時間を合計した 75 sec 間の平均温度は

$$(600^\circ\text{C}) \times \Delta t (\text{秒}) \times 22 (\text{回転}) / 75 (\text{秒})$$

で与えられ、これを 24°C とおけば $\Delta t = 0.137 \text{ sec}$ となる。これは 1 回転の時間 1.34 sec に比べれば短い、接触時間 0.025 sec に比べれば約 5 倍の長さに相当する。実際に 600°C に保たれるのは 0.025 sec 以内であり、以後次第に低下することを考えれば、冷却完了時間は 0.137 sec のさらに数倍であり、1 回転 1.34 秒のかなり部分を占めることが予想される。

他方、理論計算によると最高温度 635°C で 20 回転目のデータがあるので、これを用いて 1 回転中の表面の平均温度上昇を求めると 40°C となる。これを待時間を含めて平均すると 18°C となり、Table 3 の各部の平均温度に匹敵する。またこのときの 1 回転中の温度変化をみると、約 0.25 sec で 100°C 以下となつており、前述の事柄を裏付けている。この点でも間接的ではあるが本研究と従来のふたつの研究の結果とを相互に検証し得る。

なおここで、対比に用いた理論計算⁷⁾は、2, 3 の物理

的条件から出発して電子計算機により数値計算を行なったもので、その結果は具体的な数字で現わし得るから、上述のような測定値との対比には便利であるが、同時に結果が計算式化されていないために一般的結論を引出すには不便である。したがって本研究の結果に基づき、別途に解析的にロール内の温度分布を論ずることも試みているが⁹⁾、いずれにしても主たる結論は本論文で定性的に述べたところと変わらない。

5. 結 論

(1) ホットストリップミル仕上第1スタンド下側作業ロール胴部中央に熱電対を溶接した埋込片を挿入し、スリップリングを通して起電力を取出すことにより稼動中のロール内部温度(表面から1mm~中心)の過渡的変化を記録することを行なった。測定値は従来の計算の結果を裏付けるものであつたが、特に1回転中にも微妙な温度変化のあることを検出した。

(2) 測定結果に基づき、温度の周期的変化の特性からロール内部を4層にわけて考えられることを示し、それぞれの最高温度および平均温度に対する圧延条件の影響を検討した。

(3) 検出された圧延条件のロール温度に与える影響は、その影響度の大きい順から示すと、水冷条件、圧下率、圧延間隔である。これに次いで圧延材長さ、圧延材

温度の影響が大きいと考えられる。回転速度の影響はさらに小さいと考えられる。

(4) 本測定の場合には約30個程度の圧延でロールの中心温度は飽和値に近づき、同時に内外部の平均温度は同等になつてほぼ定常状態になるが、これについてはさらに長時間にわたる測定を行なう必要がある。

終りに臨み本協同研究に多大のご援助をいただいた富士鉄広畑 野田部長、加藤副部長、日立勝田、清野部長その他関係各位に深く感謝の意を表わす。

文 献

- 1) 新山, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p.2149~2151
- 2) 高見, 他: 自動制御, (1964) 12, p. 421~427
- 3) 高見, 他: 計測自動制御学会論文集, 2 (1966) 3, p. 31~42
- 4) 奥本, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 4, p. 601~602
- 5) 新山, 他: 日立評論日立研究記念論文集, (1964-11), p. 122~126
- 6) PECK, 他: Iron & Steel Eng., 31 (1954) 6, p. 45~58
- 7) 関本: 日立評論別冊, 42 (1961), p. 43~49
- 8) 河原: 同上, 33 (1951) 3, p.47~54
- 9) KAINATH: Arch. Techn. Messen J., 215-2 (1934)
- 10) MOULY: TAIEE, 98 (1959), p. 388~395
- 11) BELANSKY, 他: Iron & Steel Eng., 33 (1956) 3, p. 62~64
- 12) 桑原: 東洋鋼鉄, 9 (1960) 12, p. 1~24

18Cr-12Ni 系オーステナイト耐熱鋼の高温諸性質におよぼす Mo, Nb, Ti, N, B 組合せ, 複合添加の影響*

河 部 義 邦**・中 川 龍 一***

The Effect of Combined, Simultaneous Addition of Mo, Nb, Ti, N, B on High Temperature Properties of 18Cr-12Ni Austenitic Heat Resisting Steel

Yoshikuni KAWABE and Ryuichi NAKAGAWA

Synopsis:

Individual and combined effects of additional elements Mo, Nb, Ti, N and B on creep rupture strength, deformation resistance, aging hardness and microstructure of 0.2C-18Cr-12Ni austenitic heat resisting steel were investigated, and the following results were obtained.

1) Creep rupture strength increased greatly by the additions of Mo, B and increased slightly by those of Ti, Nb in that order. The effect of N was little at 700°C but increased at 750°C. Moreover, there were two effective interactions on creep rupture strength under the simultaneous additions of Mo and B which

* 昭和39年4月, 昭和40年10月本会講演大会にて発表 昭和41年6月2日受付

** 金属材料技術研究所 *** 金属材料技術研究所 工博