

Fig. 3. Calculated temperature distribution in the surface layer 0.05sec after contact.

表面温度は大差ないという結論になる。

V. 測定結果の検討

1200°C の鋼塊に接触するロール表面が 500°C にしかないのは低すぎる感もあり，他方 0.1sec にも満たない接触時間を考えると高すぎる感もある。簡単な仮定に基く計算によればつぎのようになる。

鋼塊とロールの熱的諸定数は同一で，温度によつて変わらないとする。1250°C の鋼塊と 50° のロールが平面で完全接触するとき，接触開始後時間 t_s におけるロール内部の点 x の温度 T は²⁾

$$T = (1250 + 50) / 2 + (1250 - 50) / 2 \times \text{erf}(x\sqrt{\rho C} / 2\sqrt{Kt})$$

$$= 650 - 600 \text{erf}(1.53x / \sqrt{t})$$

ただし熱伝導率 $K=0.10$ ，比熱 $C=0.12$ ，比重 $\rho=7.8$ ，(C.G.S.) とする。鋼塊が離れるとき， $t=0.05\text{sec}$ における温度分布を Fig. 3 a) に示す。Fig. 2 と比較すれば理論値は高すぎる。そのひとつの理由として接触抵抗が考えられるので，鋼塊とロールの間に熱伝達係数 $h=0.6$ (cal/cm²·sec·deg C) を仮定して図式で計算すると Fig. 3 b) のようになり実測値に近づく。 h の値は任意に決めたものでこれを検証する根拠もいまのところない。おそらく鋼塊表面のスケールとか水蒸気膜の有無によつて h の値は大巾に変わるであろう。脱スケールの実施によつて温度勾配が大きくなったのは， h が大きくなって同時に鋼塊面温度が下がったとして一応説明できる。

VI. 結 言

焼入鋼埋込法による分塊ロール表面温度測定結果は，単純な理論的推定よりも低い値を示したがその一部分は摩耗による誤差と考えられ，一部は鋼塊とロールの間の接触熱抵抗のためとして説明できる。したがつて鋼塊の脱スケールによつて接触抵抗が少なくなるかと予想されたが，実測の結果は必ずしもそれを実証するものではなかつた。ロールの上下，および胴上の位置によつて表面温度はほとんど変化がなく，したがつて第 I 報にのべた上下ロールの摩耗と fire crack の差は表面温度から説明できないと結論できる。

文 献

1) 奥本：鉄と鋼，49 (1963) 10, p. 1619~1620

2) たとえば INGERSOL: Heat Conduction (1954), p. 78, [Univ. of Wisconsin press]

(106) ホットストリップミル用鑄鋼製ワークロールの肌荒れについて

日立製作所，日立研究所

理博○奥本 武臣・新山 英輔

Skin Spalling of Cast Steel Work Rolls in the Finishing Stand of Hot Strip Mill.

Dr. Takeomi OKUMOTO and Eisuke NIHYAMA.

I. 緒 言

ホットストリップミル仕上スタンドワークロールの材質は，かつては鑄鉄系に限られていたが，最近では前段スタンド，すなわち 6 スタンドのうち第 1，2 スタンドには高炭素合金鑄鋼が用いられる²⁾。その理由は噛み止めクラックと呼ばれる大きい熱亀裂と，スケールバンデングといわれる鑄鉄独特のロール肌荒れが鑄鋼ではあまりみられないからである。しかし鑄鋼ロールにも独特のいろいろの引掻疵などがあり，それが圧延材の品質に影響するといわれる。なかでも，流星 (shooting star) と呼ばれる疵が有害とされるのでこの疵の本質について研究した。

II. 流星発生状況

典型的な流星の外観を Photo. 1 に示す。研削したロールで圧延を開始すると間もなくロール表面に黒色酸化膜が形成し，次第に濃く光沢を帯びてくる。やがて胴部の一部で酸化膜が剥がれて白い引掻疵が黒地にくつきりと現われる。起点から後進方向に長く尾を引いており，まさに流星状である。先進方向にも短く伸びたものもある。その巾は 0.5~2mm，長さは数十~数百 mm におよぶ。密集して発生する位置は胴中央，あるいは左右に数百 mm ずれた位置，などで一定しないが，その部分はほぼ全周にわたつて発生する。さらに圧延を続けると，ついにはある巾をもつて全面的に酸化膜が剥がれた状態に至る。このうち流星が発生しつつある状態が圧延材にとつてはもつとも悪く，流星に似た形にスケールが転写されるといわれる。個々のロールによつて流星発生傾向が顕著なものとならないものがある。しかしまた同

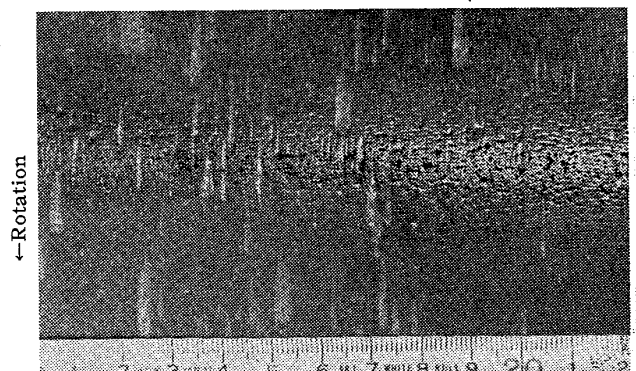
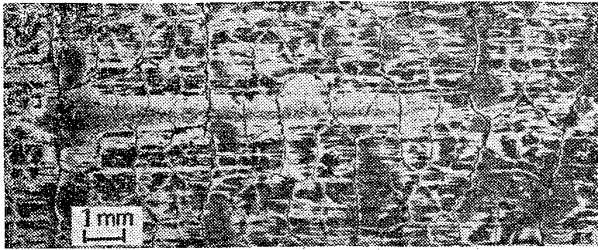
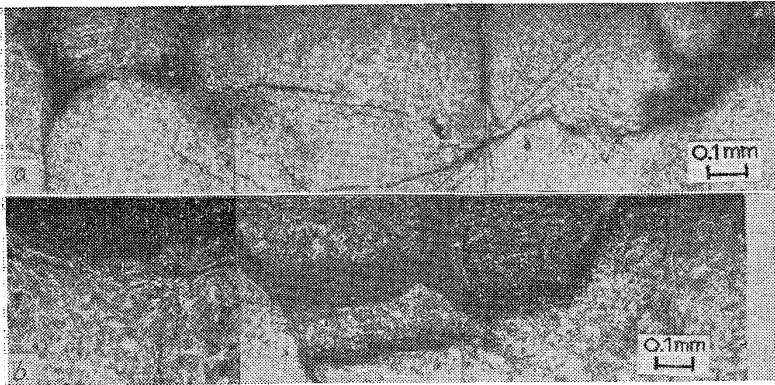


Photo. 1. Typical skin spalls.



← Relation

Photo. 2. Skin spall initiated from fire crack.
×4 (2/5)



Relation→

Photo. 3. Sectional view of skin spalls. ×60(1/2)

一のロールでも研削して使用するたびに流星発生の有無その程度、発生位置は一定しない。すなわち流星の原因はロール材質と圧延条件の両者にあることが明らかである。

III. 流星の実体

流星付近の表面を軽く研磨して拡大してみるとその大多数は Photo. 2 にみるように fire crack を起点としている。とくにロール軸に平行な亀裂が起点となることが多い。また亀裂の交点に巨大炭化物があつてその一部が脱落して起点となつたとみられる例もある。しかし、この種の fire crack は圧延のたびに必ず全面に発生するにもかかわらず流星は発生しない場合がある。それゆえ fire crack は流星の必要条件ではあつても十分条件ではない。そこでロールを切断して断面を調査した。一般に fire crack は表面から内部へほぼ直角に進行するが、流星多発部分ではその先端が 0.2~0.6mm の深さで平行に曲がつているのがみられる。Photo. 3(a) は軸に直角の断面上で、水平クラックが左右から連絡した例であり、Photo. 3(b) はそれが発展して表面層の脱落に至つた例である。すなわち fire crack がきつかけとなつて何らかの原因で表面下のある深さで平行のクラックに進展し、これが表面層の脱落に至つて流星の起点となることがわかつた。ひとたび起点ができれば、その線が崩れることによつて前後に尾ができることは Photo. 3(b) から想像できる。また脱落した小片は圧延材の前進によつてロール表面にこすりつけられるから、それが繰り返されればひとつの起点から長い尾ができる。

このような流星発生過程を前提とすれば、これに影響する要因もおのずから推定できる。(1) fire crack 水平のクラック、および表面層の疲労に対する温度の影響、

(2) 水平亀裂のもうひとつの原因となる圧延材および補強ロールからの応力、(3) 応力集中の原因となる局部的熱膨脹、(4) ミクロ的応力集中の原因となるような炭化物の形態、などである。

IV. 表面温度の測定

ワークロール表面の最高加熱温度および加熱層の厚さを知ることは、流星発生機構を考察し、その対策を講ずるうえで重要である。従来ロール表面温度については計算²⁾および実測の例⁴⁾があるが、実測は圧延材との接触直後のロール表面を接触測温したもので、真の最高加熱温度よりもかなり低いと思われる。そこでわれわれはさきに分塊ロールに適用した焼入鋼埋込法⁵⁾をホットストリップミルワークロールにも適用して最高加熱温度を推定した。

炭素工具鋼 7 種 (SK 7) の小片 (5f × 5mm) を焼入し、これを第 1 スタンド上下ワークロールの圧延材と接触する部分に各 5ヶ埋込み圧延後取出して縦断し、マイクロビツカース硬さ計で断面かたさを測定し、圧延中の焼戻温度を推定した。

埋込試料表面から 0.02~0.04mm の範囲の硬さは、ロール上の位置、ロール上下にかかわらず H_{Mv} 260~290 で、これは同じ焼入小片を炉中 1hr 焼戻したときの焼戻温度 525~550°C に相当する。焼戻時間について

の補正はつぎのようになる。炭素鋼において同一硬さを与える焼戻温度と時間の組合せは⁶⁾

$$T_1(13 + \log t_1) = T_2(13 + \log t_2)$$

ここで $t_1 = 1hr = 3600sec$

$$t_2 = (\text{ロールと圧延材の接触時間}) \times (\text{板長さ} + \text{ロール周}) \times (\text{板の数}) = (0.03sec) \times (40m/2m) \times (200本) = 120sec$$

$$\therefore T_2/T_1 = (13 + \log 3600) / (13 + \log 120) = 1.10$$

実測より $T_1 = 525 + 273 = 798(^{\circ}K)$

$$\therefore T_2 = 798 \times 1.10 = 878(^{\circ}K) = 605(^{\circ}C)$$

すなわち第 1 スタンドワークロールの温度の推定値は 605~630°C となり、計算値²⁾ とよく一致する。

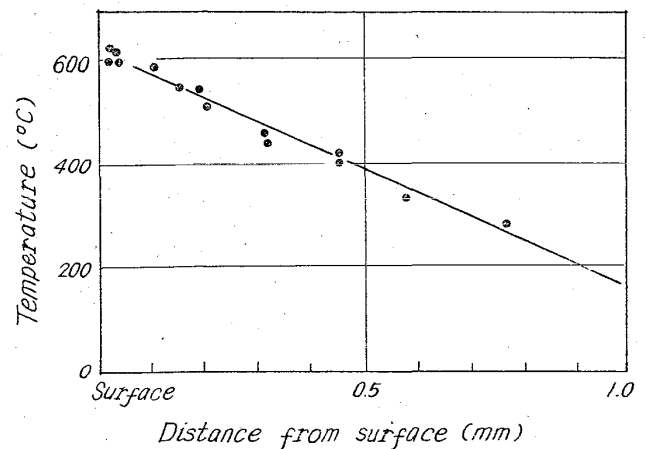


Fig. 1. Temperature distribution in the surface layer of work roll as estimated from the temper hardness of plugged in carbon steel pieces.

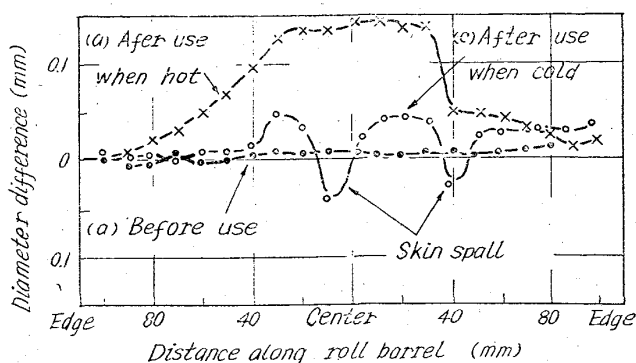


Fig. 2. Change in roll profile.

つぎに一個の試料内部のかたさ分布から求めた温度勾配をみると、Fig. 1に示すように表面から1mm内部ではせいぜい150°C程度にすぎず、この間約500°/mmという急激な温度勾配が存在することがわかる。これはきわめ大きな熱応力を生ずるに足るもので、表面に直角のいわゆるファイクラックの原因になるだけでなく、補強ロールなどからの剪断応力に対する表面層の疲労強度を低下させるであろう。

V. 熱膨張の影響

圧延材からの熱は表面を加熱するだけでなく、ロール内部に蓄積されて全体を膨張させる。ロールを圧延機から下した直後表面は40~60°C程度で、とくに胴部中央の温度が高い。この時点で直径を測定するとFig. 2に示すように中央部が全般的に太く、流星多発部分はその中でわずかに凹である。ところが完全冷却後にふたたび直径を測定すると流星多発部分は周囲に比べて著しく凹になつている。これからわかることは、流星発生直前にはその部分は熱膨張のために周囲よりもとくに凸であつたこと、そしてこれが流星発生という形で摩擦して周囲と同程度の平面に近づくこと、それゆえ冷却後にはそこが凹になること、である。したがってワークロールと補強ロール、あるいは圧延材との間の接触応力を高めるようなワークロールの局部的膨張はさけるべきである。

VI. 結 言

従来、流星の原因として介在物、ピンホール、あるいは鑄鉄のバンディングに対するスケールの食い込み説と同様の機構、などが考えられたりしていたが、これらはいずれも主要な原因ではなく、鑄鉄のバンディングに対してWILLIAMSが提唱したと同様に⁸⁾、鑄鋼の流星も熱応力および機械的応力による微少スポーリングがその本質であると考えられる。すなわち表面温度600°C、温度勾配500°/mmという厳しい温度条件と、補強ロールなどからの剪断応力が基本要因となり、これに不適正な顕微鏡組織と、ロールの局部的熱膨張による応力集中が加わるときに流星発生に至る。

文 献

- 1) F. H. ALLISON: Iron and Steel Eng., 33 (1956), June, p. 98~99
- 2) 関本: 日立評論, 別冊42 (1961), p. 43~49
- 3) C. F. PECK: Iron & Steel Eng., 31 (1954) June, p. 45~58

- 4) A. M. BELANSKY: Iron & Steel Eng., 33 (1956) March, p. 62~64
- 5) 奥本: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1619~1620
- 6) J. H. HOLLOWAY: Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 162, p. 223~249
- 7) PETERSON: Iron & Steel Eng., 33 (1956) Dec. p. 98~101
- 8) W. J. WILLIAMS: Iron & Steel, (1962) Aug. p. 372~383

(107) 熱間加工時に発生するしわ状疵について

(鋼材の加熱条件と熱間加工性との関係—II)

八幡製鉄, 光製鉄所

岡本一生・○江口直記・富永治朗

Wrinkle Defects Occured during Hot Working.

(On the relation between the heating conditions and the hot workabilities of some commercial steels—II)

Kazuo OKAMOTO, Naoki EGUCHI and Ziro TOMINAGA.

I. 緒 言

前報¹⁾で数種の実用鋼材の加熱時のスケールの性状を調べ、これが鋼の熱間加工性におよぼす影響を調べるとともに、スケールの影響が少ないと考へられる加熱、加工温度における熱間加工性の検討を行なつた。

本報はこれに引続いて熱間加工時に生ずる表面疵特に圧縮加工材の側面に生じやすいしわ状疵の発生要因について実験を行なつた。このしわ状疵は鋼材の品質面にかんがりの影響をおよぼすため従来から多くの研究がなされて²⁾いるが必ずしも明確な結果は得られてない。

そこで本報では特に加工温度、加工法などの加工条件ならびに鋼種の影響に注目して実験した。

II. 実験方法

実験に用いた試料はいずれも70mmφ鋼片に圧延したSWRH4A, SWRS2A, SuP 6, SuP 10, SuS 27などの実用鋼から切出し、200#ペーパーで仕上げた断面25×25mm²(角隅半径4.5mm)、長さ50mmにした。試料はマッフル型電気炉を用い空気中で900~1200°Cの間の各温度で10min加熱し、50t万能試験機に取付けた平またはオーバル形工具で20~50%圧縮して寸法変化を測定した後、中央で横切断し顕微鏡で疵を調べた。疵は数と深さを測定し単位長さ当りの深さの和をしわ疵指数とした。

なお試料形状などの影響もあわせて実験した。

III. 実験結果

1. しわ疵

SWRH4A および SuP 6 を平工具で 20, 30, 40, 50%それぞれ圧縮した場合、しわ疵指数は各温度とも圧縮率が増大するにつれて増加する。割れは深さ0.03mm