

技術論文

X線回折法による冷延ハイスロールの表面疲労層の測定

Measurement of Surface Fatigue in High-Speed-Steel Roll for Cold Strip Mill by X-ray Diffraction Method



山陽工場製造技術課
光成 俊一
Shun-ichi Mitsunari

山陽工場製造技術課長
広常 公明
Kimiaki Hirotsune

CPC技術開発室長
斉藤 弘道
Hiromichi Saito

要 旨

C.P.Cプロセスによる冷延ハイスロールの表面疲労特性と、通板量を増加したときの疲労の増大を解明するために、X線応力測定装置により、通板後のロール表面と深さ方向の残留応力値および半価幅の測定を行った。

その結果、C.P.Cハイスロールの疲労特性が明らかになった。すなわち、通板量を増加した場合でも、ロール表面疲労と疲労層深さが増大する傾向は認められず、また、疲労層深さは0.05mmの研磨でほぼ消失し、0.1mmで完全に定常状態に戻ることが判明した。

Synopsis:

In order to elucidate the surface fatigue characteristics of a high speed steel roll for cold strip mill by the C.P.C process, and furthermore an increase of fatigue when a strip passing quantity was increased, a measurement of residual stress and half value breadth in roll surface and depth direction after strip passing, was carried out by X-ray diffraction method. As a consequence of it, the fatigue characteristics of C.P.C high speed steel roll were made clear. Namely it was turn out even when a plate passing quality was increased that a tendency of increase in surface fatigue and depth of fatigue layer of the roll was not recognized, and in addition a depth of fatigue layer disappeared approximately by a grinding of 0.05 mm and furthermore it returned completely to a steady state by a grinding of 0.1 mm.

1 緒 言

当社が創出した新プロセスの連続注入クラッド法¹⁾(以下C.P.Cと略す)によって、新機能ロール・ローラ開発を進めている。その一環として冷延ミル用ワークロールの開発に取り組んでいる。別報²⁾のように、従来、冷延ミル用ワークロールとして使用されて来た、鍛鋼ロール(5Cr系他)にくらべ、C.P.Cプロセスによる高炭素ハイス鋼ロール(C.P.Cハイスロール)は非常に良好な耐用が得られている。

一方、C.P.Cハイスロールを冷延ワークロールとして使用した場合、圧延によるロール表面の疲労特性が異なることが予想され、その特性を明らかにすることは、当ロールの適用拡大にとって不可欠である。特に、C.P.C

ハイスロールの耐用が延び、1回当たりの通板量が増加した場合、ロール表面の疲労が蓄積することが推定される。そこで、鍛鋼ロールとC.P.Cハイスロールの表面疲労の差、通板量による表面疲労および疲労層の深さ増大程度を定量的に把握するため、X線回折(X線応力測定装置)を用いて、圧延前、後のロールの測定を行い、新たな知見を得たので以下に報告する。

2 測定方法

X線回折を圧延用ロール³⁾、発電プラント機器⁴⁾等の疲労の判定、さらには、寿命の予測に使用する試みは、最近盛んに行われるようになってきている。

原理的には、疲労組織の生成、および成長に伴う、残

留応力、または、微視的歪の変化を、測定物の表面のX線回折によって、把握しようとするものであり、X線回折による半価幅あるいは残留応力の変化によって検出する。

2.1 測定条件

X線回折測定には、鳥津製作所製X線応力測定装置、DX-10⁵)を用いた。測定条件をTable 1に示す。

Table1 Measurement condition

Target	Cr	Volt-Amp.	30kV,10mA
Solar slit	0.8°	Scan Speed	0.5°/sec
Irradiation mask	4×4mm	Time const.	5sec
X-ray irradiation focus	4×2mm	Filter	V
Diffraction face	(211)	Measuring Angle 2 θ	137°~169°

2.2 圧延機および測定対象ロール

圧延試験を行ったミルの概要をTable 2、測定対象ロールをTable 3に示す。なお、このロールに発生する接触応力 (Hertz応力)、Pmaxは107~121kgf/mm²である。

Table2 Outline of mill

Type	4 High reverse mill
Stand No.	1 stand
Roll size	φ 465×1259.6 ¹ ×3003 ^L

Table3 Measured rolls

Roll	Roll material	Hardness (HsD)
C.P.C roll	High C-high seed steel	90
Forged roll	5%Cr forged steel	93

2.3 測定の目的と測定時機、方法

今回の測定で明らかにすることを目標にした事項と、その測定時機、方法の詳細は下記のとおりである。

(1) 通板量とロール表面疲労

通板量の増加に伴って、C.P.Cハイスロールの表面疲労がどのような傾向で増大していくかを把握する。

測定は2シリーズ行った。①1回目は、通板前と559km通板後、更に331km通板後(合計890km)にロール表面、圧延肌のまま(グラインダ研削なし)で測定した。この559km通板は、既にこのミルの通常の通板量の1.3倍であり、鍛鋼ロールでは、この通板量の80%を限界にしてロール交換を行っている。C.P.Cハイスロールでは、耐久性が良好であることから、さらに通板量を徐々に増やす実験を行った。そのステップが合計890km通板である。②2回目は、1回目で通板可能を確認した量をめやすとして、まず891kmを通板し、さらに、ロー

ル表面の肌荒れが進行し、限界通板量と判定された1223km通板後のそれぞれについて、同様にロール表面の測定を行った。

(2) 疲労層の深さと通板量の影響

通板によるロール表面の疲労層が、どの程度の深さまで及んでいるか、また、その深さが通板量の増加によってロール内部まで拡大していくか、を把握する。

測定時機は、上記①②の2回の通板試験後、電解研磨によって掘込みを段階的に行いつつ測定を繰り返した。研磨深さは1回目通板試験後は0.1、0.2、0.3mmをねらいとし変化がなくなるまで、2回目は、0.05、0.1、0.15mmを目標とした(1回目測定時の疲労層深さから、2回目は、浅い範囲を少ない研磨量で測定した。)

(3) C.P.Cハイスロールと鍛鋼ロールの疲労の比較

C.P.Cハイスロールと、従来の鍛鋼ロール(5%Cr)の間で、通板後のロール表面の疲労度と、疲労層の深さに差があるか、を把握する。

鍛鋼ロールの通板限界は、ロール表面肌荒れ、摩耗の進行から、C.P.Cハイスロールの1/3以下であるため、C.P.Cハイスロールとのペア使用が不可能である。そのため、通常の圧延チャンスにおける、鍛鋼ロールの、通板前、通板長さ228km通板後のロール表面、および通板後の電解研磨掘込みによる測定を行った。掘込み深さは、0.05、0.1、0.15mmを目標とした。

なお、測定位置は、通板部中央(ほぼロール胴部中央)とした。上記の(2)の測定で1回目の際、通板部と補強ロールのみと接触する胴端部(駆動側通板部外、胴端から230mm)の掘込み測定を行い、通板部との差を究明した(結果的に差はなかった)。

また、X線回折測定は、ロール軸方向と周方向の2方向について、残留応力値と半価幅を測定した。

これらの測定は圧延工場のロールショップへ装置を搬入して行った。測定状況をFig. 1に示す。

3 測定結果および考察

3.1 通板量とロール表面疲労

C.P.Cハイスロール、および鍛鋼ロールの通板量とロール表面疲労の測定結果をFig. 2、3に示す。Fig. 2はC.P.Cハイスロールの1回目測定、Fig. 3は同2回目と鍛鋼ロールの測定結果である(C.P.Cハイスロールと鍛鋼ロールのレベル差を示すために同一図とした)。

この結果から、通板量とロール表面疲労について次のことが明らかになった。

(1) 通板前の測定値に対し、通常の通板量(C.P.Cハイスロールでは559km、鍛鋼ロールでは228km)の後、圧縮残留応力の増大、半価幅の減少が発生し、表面層の疲労が現われている。

(2) C.P.Cハイスロールにおいて、通板量を増加させ

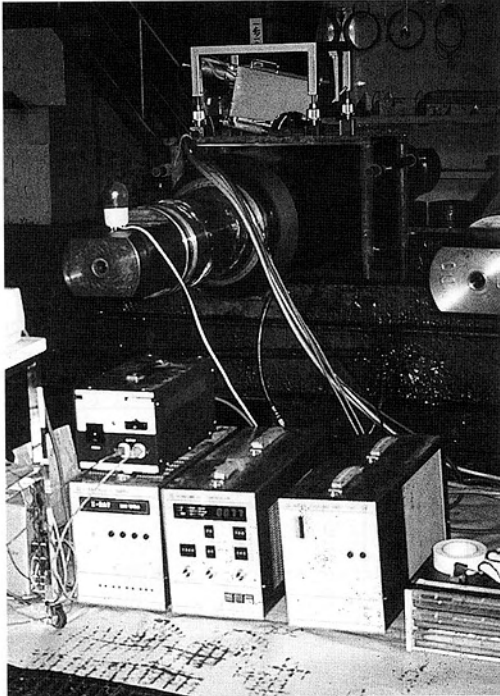


Fig.1 View of measurement

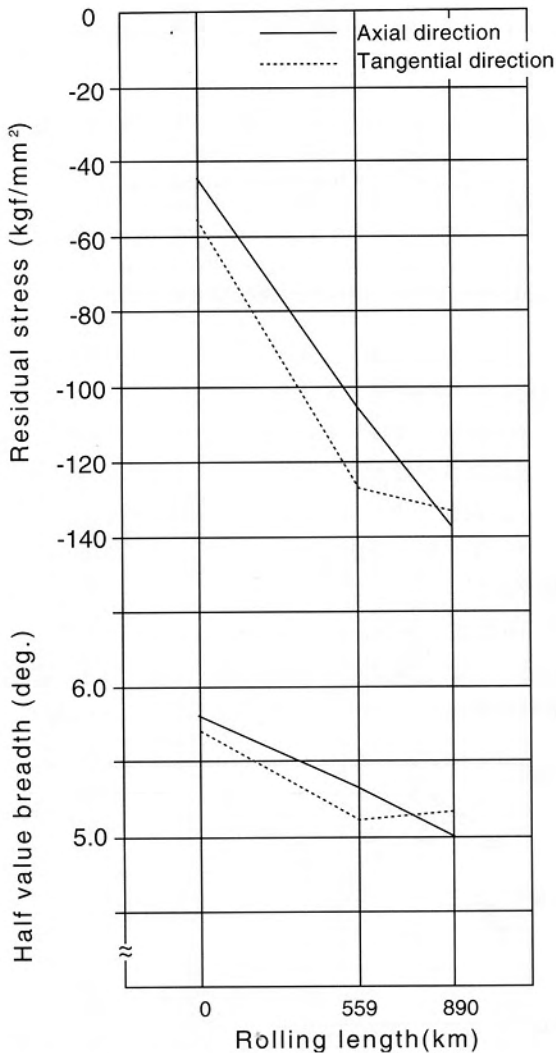


Fig.2 Change of residual stress and half value breadth of C.P.C roll (1) by rolling

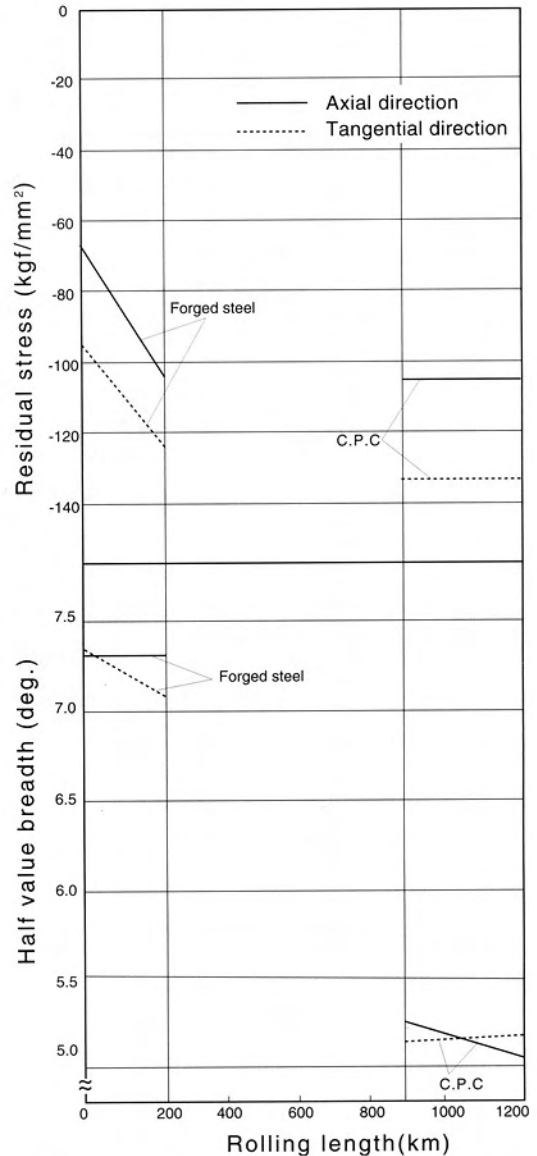


Fig.3 Change of residual stress and half value breadth of C.P.C roll (2) and forged steel roll by rolling

でも、圧縮残留応力は横ばいしないしわずかに増大、半価幅も横ばいかわずかに減少する傾向がみられ、安定している。通板量がかなり少ない段階で、残留応力および半価幅はあるレベルで飽和することが明らかになった。この傾向は、C.P.Cハイスロールの限界圧延量でも同一である。これらの測定値、とくに半価幅は疲労の程度を示すといわれており³⁾、今回の測定結果から、C.P.Cハイスロールにおいては、通板量を従来ロールの数倍まで増加し、限界まで通板しても、ロール表面の疲労はほとんど増大しないと判定できる。なお、1回目と2回目の測定において、残留応力値、半価幅ともにほぼ同一レベルの測定値が得られた。

(3) C.P.Cハイスロールと鍛鋼ロールの測定値(残留応力値、半価幅とも)の絶対値にはかなりの差異がある。特に、半価幅の差が顕著である。鍛鋼ロールの半価幅として、今回文献値³⁾(後述Fig. 6)とほぼ同じレベルが

得られたことから、C.P.Cハイスロールの半価幅が低目になっていると思われる。半価幅は材料の加工度、焼入程度等によって高い値になるといわれ、鍛鋼ロールが鍛造後、強い焼入れを行うのに対し、C.P.Cハイスロールは、鑄造組織であり、かつ焼入れも焼準であることが一因と考えられる。

3.2 疲労層の深さと通板量の影響

C.P.Cハイスロールの2回の通板試験および、鍛鋼ロール使用後の疲労層深さを測定した結果をFig. 4および5に示す。Fig. 4は、890km通板後のC.P.Cハイスロールの測定であり、Fig. 5は、1223km通板後のC.P.Cハイスロールと228km通板後の鍛鋼ロールの測定結果である。

この結果から、疲労層の深さにおよぼす通板量の影響について次のことが明らかになった。

(1) C.P.Cハイスロールおよび鍛鋼ロールともに、表面下0.05mmまでは急激に変化し、その後0.1mm深さまで緩やかに変化、0.1mm以上の内部はほとんど一定値を示す。この結果から、通板による疲労層は0.05mm深さでほぼ消失し、0.1mmで定常状態になると見なすことがで

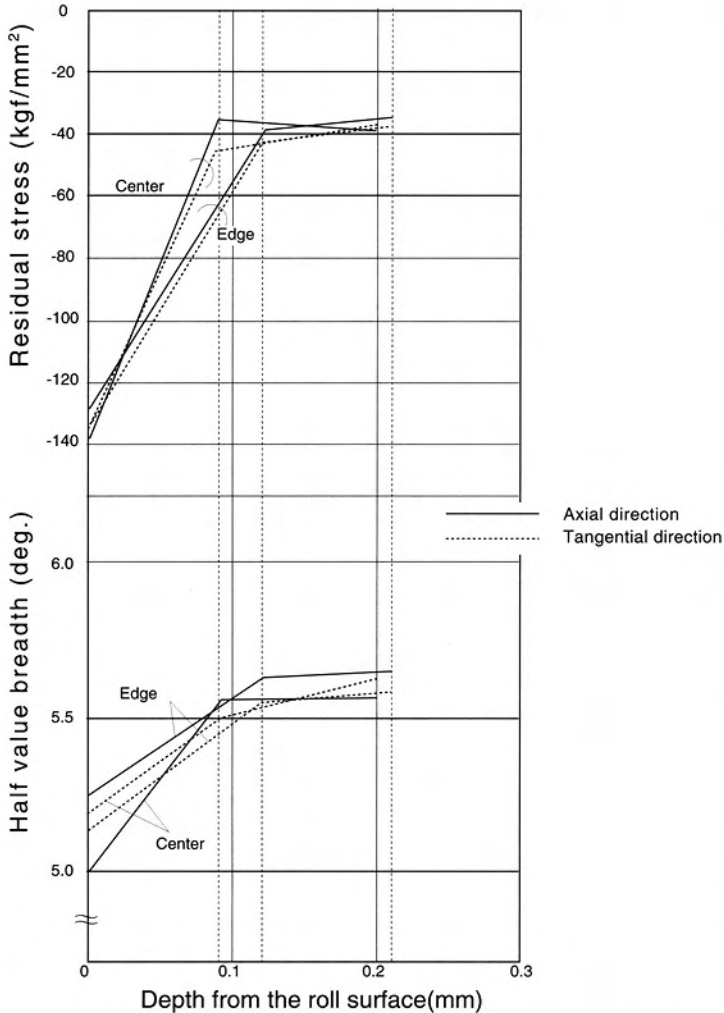


Fig.4 Distribution of residual stress and half value breadth below the surface of C.P.C roll after rolling 890km

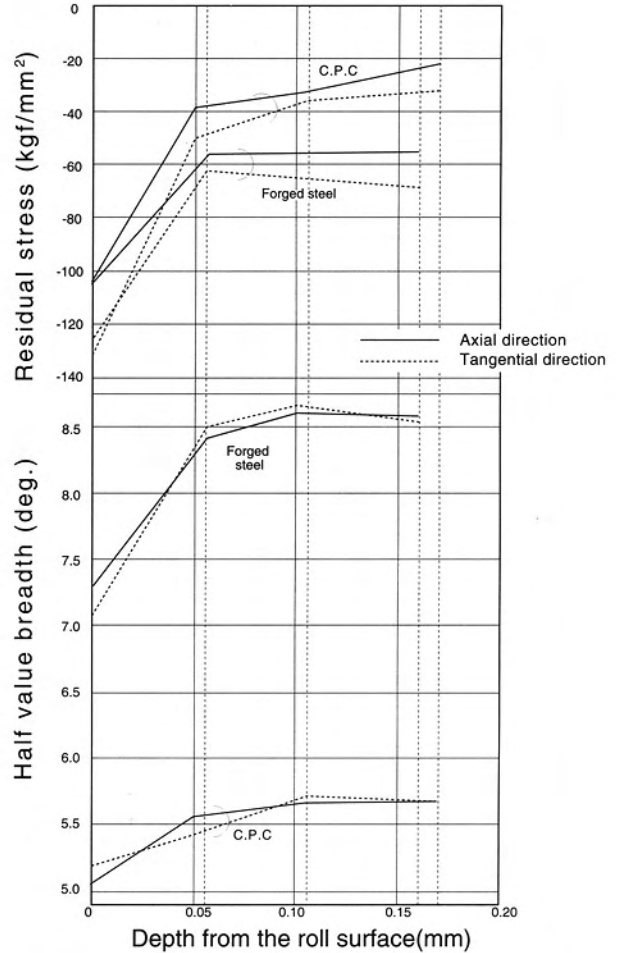


Fig.5 Distribution of residual stress and half value breadth below the surface of C.P.C roll (after rolling 1223km) and steel forged roll (after rolling 228km)

きる。この値は、文献³⁾に見られるFig. 6と近似しており、冷延ロールの特性と考えられる。

(2) C.P.Cハイスロールにおいて、通板量の増加によって、疲労深さが増大する傾向は認められなかった。前述のロール表面における通板量の影響と同様に、C.P.Cハイスロールを限界通板量まで使用しても、疲労層の増大の懸念はないことが判明した。

(3) 通板部と非通板部（補強ロールのみと接触している部分）の測定値はほぼ同一であり、ロール位置による疲労層の差は小さいことが明らかになった。冷延ロー

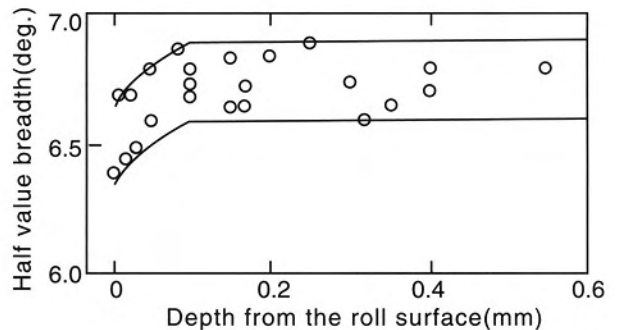


Fig.6 Distribution of half-value breadth below the surface³⁾

ルの表面疲労に対しては、胴部全長にわたって発生する、補強ロールとの接触応力の影響が大きいと考えられる。

以上の結果、C.P.Cハイスロールを冷延ロールとして使用する場合、ロール表面の肌荒れ、摩耗が許容できるかぎり、通板量を増加することが可能であることが明らかになった。

4 結論

C.P.Cハイスロールと鍛鋼ロールを対象に、冷延ミルにおける通板量と疲労層についてX線応力測定装置を用いて残留応力値と半価幅を測定した結果、次の各項が判明した。

(1) C.P.Cハイスロールは、通板量を559km（通常の1.3倍）から、ロール肌荒れ限界である1223kmに増加しても、ロール表面の疲労と疲労層深さは増大する傾向は認められなかった。

(2) 通板による疲労層深さは、C.P.Cハイスロール、

鍛鋼ロールともに、0.05mmの研磨でほぼ消失し、0.1mmで完全に定常状態に戻る。

(3) C.P.Cハイスロールと鍛鋼ロールの測定値にはかなりの差が認められる。特に半価幅の差が大きい。

参考文献

- 1) 坂本真一, 玉川 進, 津田篤信, 森高靖彦: フジコー技報, No1 (1993), P.9
- 2) 坂本真一, 齊藤弘道, 津田篤信: フジコー技報, No3(1995), P.15
- 3) X線材料強度部門委員会「塑性と破壊」分科会ロールワーキング・グループ (主査・武智 弘): 材料, 28 (1979), P.847
- 4) 林 真琴, 桜井茂雄: 第29回X線材料強度に関する討論会講演論文集 (1992.12), P.9
- 5) 関口晴男, 川辺泰嗣, 桐山貞夫, 清水良一, 安居喜代三: 島津評論, 38 (1981), P.55

