
スリーブロールによる連铸ロールの亀裂防止対策

A Countermeasure against Cracking of Continuous Casting Roll by Sleeve Rolls

後藤 信孝(Nobutaka Goto) 川崎 義則(Yoshinori Kawasaki) 白石 伸司(Shinji Shiraishi) 市原 晃(Akira Ichihara) 田中 秀幸(Hideyuki Tanaka) 岩谷 明之(Toshiyuki Iwata)

要旨：

近年、水島製鉄所第5連铸機において中実ロールの折損というトラブルが発生している。この対策としてスリーブロールの採用を検討した。実機への適用に先立ちロールの温度解析及び熱応力解析を行ったところ、スリーブロールがヒートクラックの抑制に非常に有効であることがわかった。この結果に基づいてスリーブロールを実機に適用した結果、従来の中実ロールに比べおよそ3倍の寿命延長が可能であることが実証された。連铸ロールの亀裂防止を目的としてスリーブロールを採用し、その効果を熱応力解析により推定し、さらにその結果を実機テストで検証したことによって、効果的なロール寿命延長対策を短期間で実現することができた。

Synopsis：

To cope with roll cracking troubles at No.5 continuous casting machine in Mizushima Works, the use of sleeve rolls has been studied as one of countermeasures. Before mounting these sleeve rolls on the machine, the authors made a heat analysis and a thermal stress analysis in order to confirm the quantitative effects of the sleeve rolls, and drew a conclusion that a sleeve roll with no cooling device between sleeve and roll is effective for suppressing the heat crack. According to the result of the service testing with the sleeve rolls on the actual machine, it was confirmed that their life was extended three times as long as that of usual solid rolls. The stress analysis and testing on the machine with the sleeve rolls permitted to obtain a rapid and effective conclusion about the improvement of the roll structure for elevating the crackproof ability.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

後藤 信孝^{*2} 川崎 義則^{*2} 白石 伸司^{*2} 市原 晃^{*3} 田中 秀幸^{*3} 岩谷 明之^{*2}

A Countermeasure against Cracking of Continuous Casting Roll by Sleeve Rolls

Nobutaka Goto, Yoshinori Kawasaki, Shinji Shiraiishi, Akira Ichihara, Hideyuki Tanaka, Toshiyuki Iwatani

要旨

近年、水島製鉄所第5連鑄機において中実ロールの折損というトラブルが発生している。この対策としてスリーブロールの採用を検討した。実機への適用に先立ちロールの温度解析及び熱応力解析を行ったところ、スリーブロールがヒートクラックの抑制に非常に有効であることがわかった。この結果に基づいてスリーブロールを実機に適用した結果、従来の中実ロールに比べおよそ3倍の寿命延長が可能であることが実証された。連鑄ロールの亀裂防止を目的としてスリーブロールを採用し、その効果を熱応力解析により推定し、さらにその結果を実機テストで検証したことによって、効果的なロール寿命延長対策を短期間で実現することができた。

Synopsis:

To cope with roll cracking troubles at No. 5 continuous casting machine in Mizushima Works, the use of sleeve rolls has been studied as one of countermeasures. Before mounting these sleeve rolls on the machine, the authors made a heat analysis and a thermal stress analysis in order to confirm the quantitative effects of the sleeve rolls, and drew a conclusion that a sleeve roll with no cooling device between sleeve and roll is effective for suppressing the heat crack. According to the result of the service testing with the sleeve rolls on the actual machine, it was confirmed that their life was extended three times as long as that of usual solid rolls. The stress analysis and testing on the machine with the sleeve rolls permitted to obtain a rapid and effective conclusion about the improvement of the roll structure for elevating the crackproof ability.

1. 緒 言

この数年、水島製鉄所における連鑄比率は著しく向上し、95%以上を達成しているが、これを支える操業技術にモールド自動幅変更、異鋼種連々、タンディッシュ交換などが挙げられる。しかしながら、これらの操業では鑄造速度の非定常部を作ることになり、設備、特にロール及びそれに付属した装置に及ぼす熱負荷並びに機械的負荷を増大させる結果となった。そのため、ロールに関連したトラブルが相次いで発生した。特に第5連鑄機においては高速鑄造という条件も加わって、その発生件数が急激に増加した。第5連鑄機の鑄片支持用のロールは、形式上分割ロールと一本の中実ロールに分けられ、トラブルの内容もロール表面の摩耗、亀裂等多岐にわたっている。中でも、中実ロールの表面の亀裂が最も大きな問題となっている。ロールの亀裂に対する構造改善対策のひとつにロールの分割が考えられる²⁾。しかし、既設の設備に対しては分割のための付帯改造などが大規模となり、現実的にはコスト面から考えると非常に困難である。そこで、一本ロールのままで耐亀裂性能を向上させる対策が必要となってくる。そのひとつとして従来から亀裂に対して有効であると言われているスリーブロールの採用を考えた。本報告では従来のスリーブロールに関する温度解析、熱応力解析^{3,4)}に加え、ロール亀裂の発生、進展による寿命を定量的に求め、実機テストの結果と合わせて連鑄ロールの耐亀裂特性の総合的な評価を行った。

2. ロール亀裂とその対策

2.1 現状の問題点

水島製鉄所第5連鑄機において発生した中実ロールに関する最近のトラブルを内容別に分類するとFig. 1に示すように亀裂によるトラブルが大半を占めている。亀裂の発生原因として次の点が考えられる。

- (1) 鑄片表面の割れの防止、並びに高温鑄片の製造を目的とした緩冷却操業のために鑄片温度が上昇し、これに伴ってロ

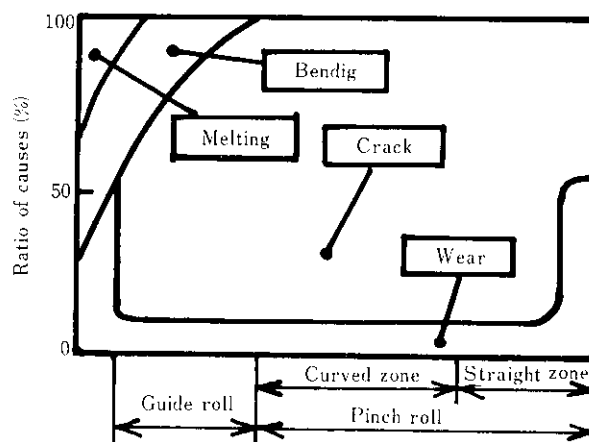


Fig.1 Causes of roll troubles in mizushima No.5CC

*1 昭和58年7月18日原稿受付

*2 水島製鉄所保全全部保全技術室主任 (課長)

*3 水島製鉄所保全全部保全技術室

ールの温度も上昇する。そのためロール表層部で材料強度の低下が起る。

- (2) 連鋳機の稼働率を向上させるために、異鋼種連々操業、タンディッシュ交換連々操業の頻度が特に増えている。このような操業時には一時的に鋳片引き抜きを停止したり、鋳造速度を低減させたりする必要があり、操業上の非定常部が発生する。このため、その前後では鋳片冷却スプレー水を停止、または最小に減少させるため、さらにロール温度が上昇する。
- (3) 非定常操業のため鋳片の継ぎ目が局部的に過冷却状態となり矯正ロール近傍では鋳片の曲げ矯正反力が200 tonにも達することがある。

以上のようにロールトラブル主原因は連鋳機に求められる操業条件が過酷になってきたためであり、今後はこのような環境下でもロール表面の亀裂の発生、進展を抑制する構造のロールを開発する必要がある。

2.2 ロール改善の進め方

現在使用中の中実ロールは13Cr系の肉盛りロールであり、腐食及び摩耗に対しては相当の効果を上げている。しかし、このロールは亀裂の発生に対しては必ずしも有効であるとはいえない。むしろ、ロールに過大な荷重が作用した場合には亀裂の進展を停止させることは構造上不可能であり、耐亀裂性の点では不利である。このような亀裂の発生及び進展に対する対策のひとつとしてスリーブロールが考えられる。第5連鋳機においてはこれまでもスリーブロールのテストを実施してきたが、スリーブロールがどの程度の効果を有するのか、またスリーブロールを採用する場合どのような構造が最適であるかを検討して

おく必要がある。そこで、Fig. 2に示すフローに従ってロールの温度解析、応力解析を行い、合せてスリーブロールを実機に組み込んでテストを実施した。

3. ロール温度解析

3.1 解析モデル

ロール表面に発生する初期の亀裂は前述のように、ロールの回転中及び一時的なロール停止によって過大な熱応力が発生する領域ができ、それが繰り返して作用することが原因と考えられる。そこで、現在工程的に使用されている中実ロールと、今回のテストスリーブロールについて有限要素法による2次元の熱伝導解析プログラムを用いてロールの温度解析を実施した。解析はFig. 3に示した3つのタイプのロールについて、円筒座標系を用いて行った。(a)は工程使用中の中実ロール、(b)、(c)はスリーブロールで、スリーブロールと軸との間に冷却水の溝のないもの(タイプI)と冷却溝のあるもの(タイプII)である。ロールの外径は現在使用中の中実ロールに合わせて全て $\phi 380$ とし、スリーブの肉厚については、スリーブの内外径の比を $m=1.25\sim 1.35$ とするのが望ましいと報告されている⁵⁾ことから、肉厚を40~50 mmの範囲で考えることにした。今回の計算ではスリーブ自身の強度面からこの範囲の上限値50 mmを採用した。各モデルの要素分割は三角形要素によって円周方向20分割、軸方向18分割とした。軸方向の分割は中実ロールにおいてロール表面、スリーブロールにおいてはロール表面とはめ合い面の近傍の分割を密にした。また、今回の解析に用いたロ

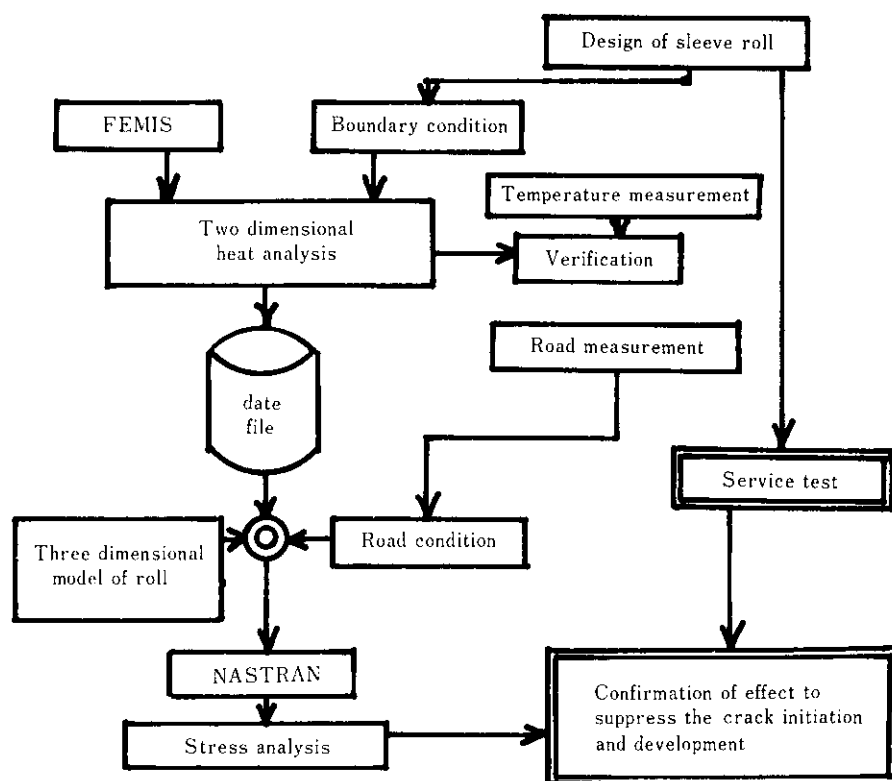


Fig. 2 Flow of analysis

Table 1 Chemical composition of roll

Roll	Material	Chemical composition (%)								
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
Solid roll	21CrMoV511 (DIN 17240)	0.17 ~0.25	0.30 ~0.60	0.30 ~0.50	<.035	<.035	<.60	1.2 ~1.5	1.0 ~1.2	0.25 ~0.35
Sleeve roll (type I)	Arber 21CrMoV 511	0.17 ~0.25	0.30 ~0.60	0.30 ~0.50	<.035	<.035	<.60	1.2 ~1.5	1.0 ~1.2	0.25 ~0.35
Sleeve roll (type II)	Sleeve SUS 403	<0.15	<0.50	<1.0	<.040	<.030	1.0	11.5 ~13.0	—	—

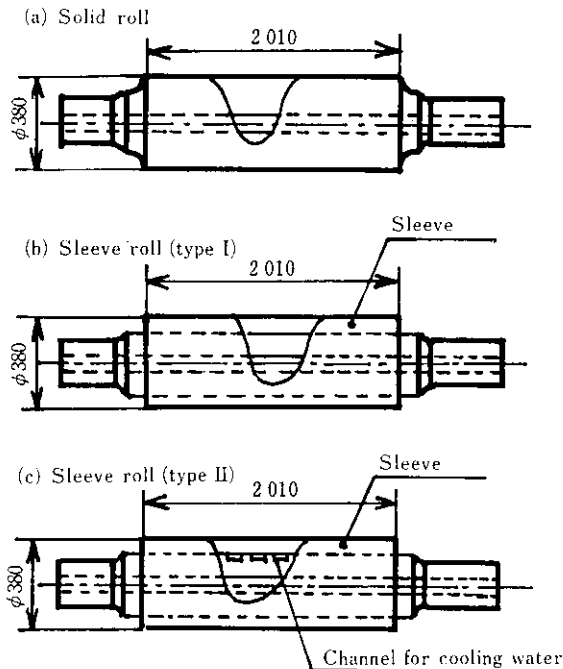


Fig. 3 Models of heat analysis and stress analysis

ール材質を Table 1 に示した。鋳片からの熱伝導、熱輻射の状態は Fig. 4 に示したように接触領域 (B) は熱伝導域、領域 (A) は輻射受熱域、領域 (C) は輻射放熱域とした。この時のロール冷却はロール中心部の水冷のみで、外部からの強制冷却はないとし、ロールが熱片に接した後連続回転し、ロール温度が過渡状態から定常状態となった時点でロール温度を求めた。また、タンディッシュ交換時を想定してロール停止時の温度についても計算した。

3.2 境界条件

計算に用いた境界条件は Fig. 4 に示したモデルにおいて各々次のように定めた。

- (1) 鋳片とロールの接触幅

$$B = \frac{W}{\sigma_y \cdot L}$$

$$B = 55.6 \text{ (mm)}$$

B: 鋳片とロールの接触幅

W: ロールに作用する荷重 (200 t)

σ_y : 鋳片の降伏応力

$\sigma_y = 3 \text{ (kg/mm}^2\text{) (at } 900^\circ\text{C)}$

L: 鋳片幅

L = 1200 (mm)

- (2) 鋳片とロールの接触部の熱伝達係数

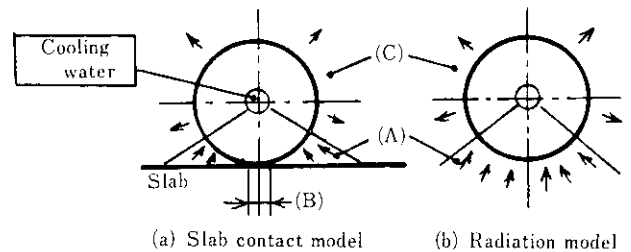


Fig. 4 Heat transfer models

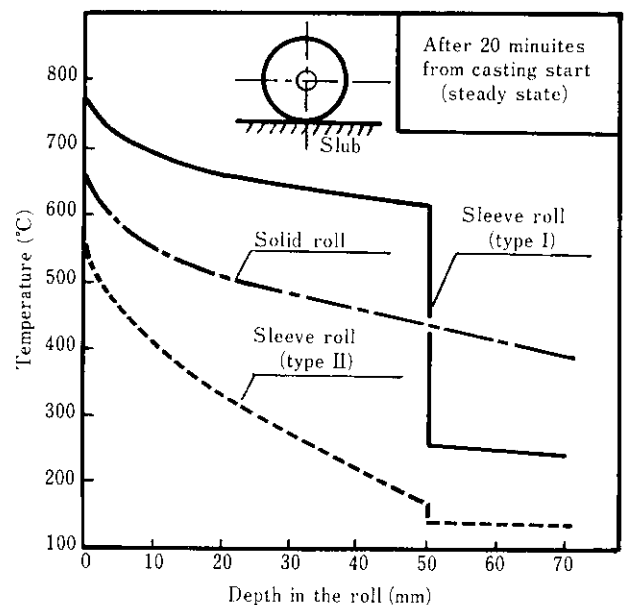


Fig. 5 Distribution of temperature along depth in the roll

$$\alpha_1 = 3000 \text{ (kcal/m}^2\cdot\text{h}^\circ\text{C)}$$

- (3) 鋳片からロールへの輻射熱流束

$$q = 72000 \text{ (kcal/m}^2\cdot\text{h)}$$

- (4) ロールと内部冷却水との熱伝達係数

$$\alpha_2 = 3500 \text{ (kcal/m}^2\cdot\text{h}^\circ\text{C)}$$

- (5) スリーブと軸との間隔

空気層 0.1 (mm)

ここで、鋳片とロール間の熱伝達係数は、水島第2連鋸機のロール測定結果により求めた値である。輻射熱流束は鋳片輻射率0.8、大気温度50°C及びロールの外部スプレー冷却なしの仮定におけるものである。ロールと内部冷却水との熱伝達係数は流速1 m/min、水温40°Cの値である。また、スリーブと軸の間における熱輻射は計算したが小さかったので、ここでは考慮せず、空気層0.1 mmの間の熱伝導のみと仮定した。

3.3 解析結果

定常状態（ロール回転後20分）におけるロールの深さ方向の温度分布を Fig. 5 に示した。この図から、回転中のロール表面温度は、スリーブロール（タイプ I）が最も高く 673℃ に達するのにに対し、水冷式スリーブロール（タイプ II）は 476℃ と低いことがわかった。また、非定常状態として回転が停止した場合のロールの深さ方向の温度分布を Fig. 6 に示した。ロール表面の温度は、ロール停止後 20 秒の時点で最大値となることが計算の結果わかった。したがって、Fig. 6 はこの時点の温度分布を示し

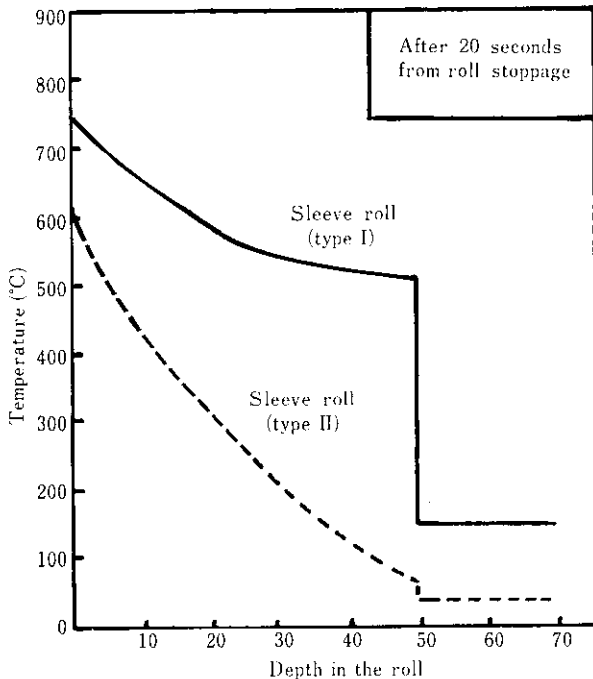


Fig. 6 Distribution of temperature along depth in the roll

たものである。この図を見るとスリーブロール（タイプ I）は定常状態に比べロール表面において約 70℃ の温度上昇が見られるのに対し、スリーブロール（タイプ II）ではロール表面温度が約 130℃ 上昇することがわかった。したがって、スリーブロール（タイプ I）は定常状態及び非定常状態の繰り返しによって生ずる表面部の温度変化が最も小さいため、亀裂の発生抑制に有効であると考えられる。

3.4 ロール温度の実測

操業中の定常状態及び非定常状態におけるロール温度解析を行い上記の結果を得たが、実際のロール温度との対応を調べるため第 5 連鋳機の中実ロールに熱電対を埋め込んで実測を行った。その結果を Fig. 7 に示した。これより鋳片冷却スプレーが閉止状態で、ロールの外部からの冷却が行われない場合には鋳片接触部の温度が約 500℃ に達することがわかった。この値は先に計算で求めた値（550℃）に近似した値である。また、ロール停止後は計算では 20 秒でピーク値に達するが、実測ではロール停止後連続的に温度が上昇し、タンディッシュ交換が終了ロールが再起動する時、すなわち停止後約 3 分で 700℃ 近くに達した。

この値は計算値（740℃）より若干低くなっているが、これは熱電対埋込み部の停止位置が、鋳片との接触位置から若干ずれ

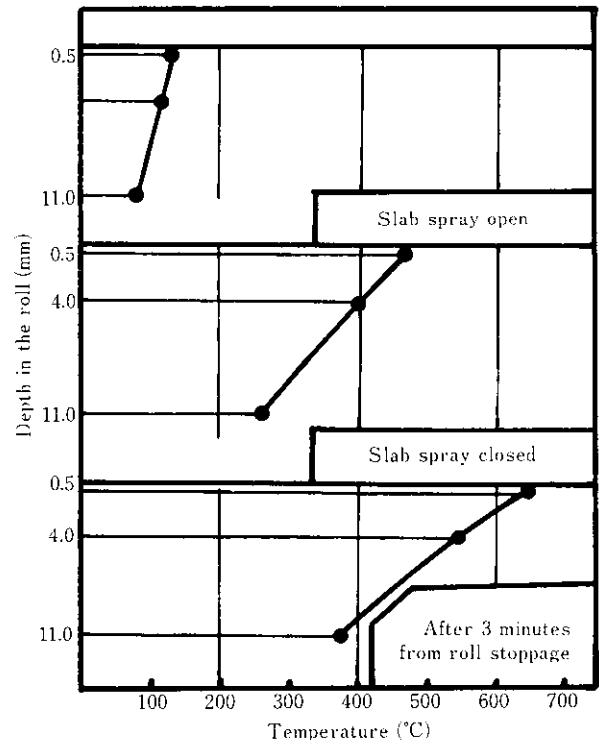


Fig. 7 Result of roll temperature measurement

ているためと考えられる。定常時、非定常時とも解析温度と実測温度とに若干の差がみられるが、比較的良く一致しており、解析の際に用いた鋳片とロールとの接触熱伝達係数はほぼ妥当な値であったものと考えられる。

4. ロール熱応力解析

4.1 解析モデル

ロール温度解析の結果を用いて Fig. 3 に示した 3 つのタイプのロールについて熱応力解析を実施した。解析は NASTRAN（3 次元の弾性応力解析）を用いて有限要素法にて行った。要素分割は軸直角断面においては、温度解析に用いた分割を、そのまま適用し軸方向については 20 要素に等分割した。解析時のロール状態は温度解析と同じく、ロール回転開始後 20 分の定常状態とロール停止後 20 秒の非定常状態で、各々に対してさらに機械的荷重 200 t が作用している場合を想定した。

4.2 境界条件

(1) 温度条件

Fig. 4 に示した鋳片接触モデルと輻射モデルを組み合わせて計算を行った。（鋳片幅 1 200 mm の範囲はモデル (a)、その外側はモデル (b)）

(2) 拘束条件

計算に用いた拘束条件を Table 2 に示した。

(3) 荷重条件

ロードセルによる荷重測定の結果からロールに作用する荷重を 200 t とし、荷重のモデルはロール中央断面を固定面とした片持ち梁のモデルを適用した。

4.3 解析結果

定常状態におけるロールの深さ方向の応力分布を Fig. 8 に示した。この図から各ロールとも、応力方向で比べると軸方向応力が最も大きく、中でも中実ロールと中間冷却水のあるスリーブロール（タイプIII）の軸方向応力が高く、ロール表面近傍では 100 kg/mm^2 前後となることがわかった。このように他の2方向に比べて軸方向応力が大きいことは実際のロールに生ずる初期の亀裂の方向が軸直角方向であることから予想しうる結果である。ロールの形状で比較するとスリーブロール（タイ

Table 2 Restrictive condition

Roll	Position	(*)	Direction		
			z	r	θ
Solid roll	Cooling hole	A	○	○	○
	Roll barrel	B	○	↔	↔
Sleeve roll	Cooling hole	A	○	○	○
	Roll barrel	B	○	↔	↔
	Contact face	C	○	⋈	↔

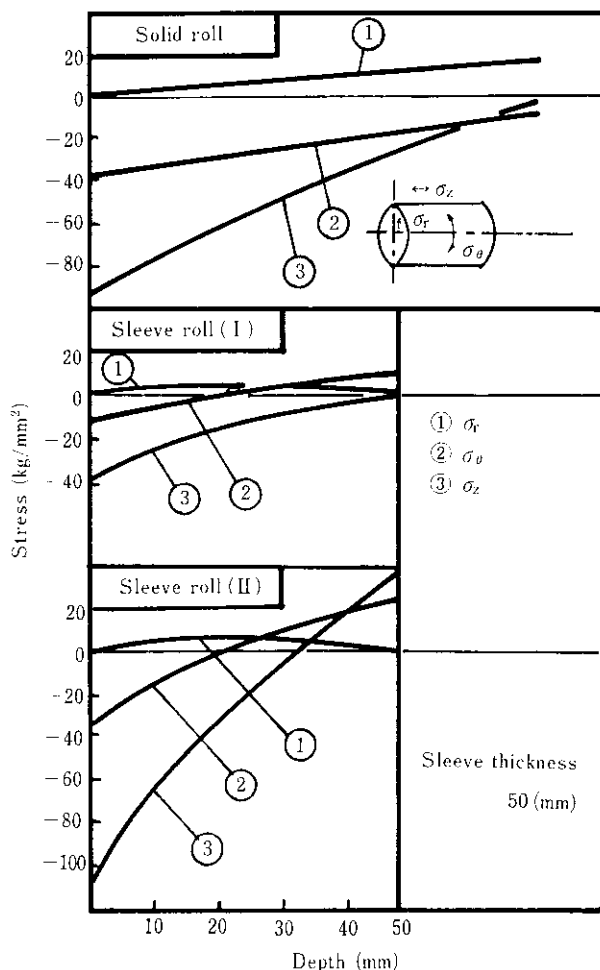
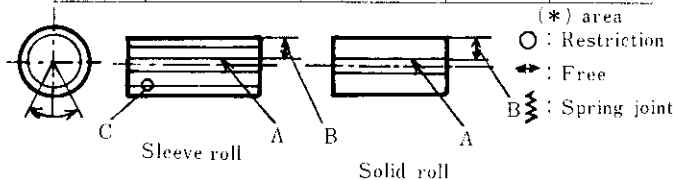


Fig. 8 Stress distribution along depth in the roll

プII)の軸方向応力がロール表面では圧縮 100 kg/mm^2 以上、スリーブ内面では引張り約 40 kg/mm^2 と肉厚方向の応力差が著しい。これに対しスリーブロール（タイプI）は応力値がロール表面で圧縮 40 kg/mm^2 と他のロールに比べて小さいうえ、表面と内部の応力差も 40 kg/mm^2 程度であることを考えると、このタイプのロールが他のロールに比べ亀裂の発生を抑制するのにより有効な構造であると言える。ロールの耐亀裂性を考えるに当っては、最も応力レベルの高い軸方向について比較すれば良いことは前述の通りである。そこで、以下軸方向応力について述べる。Fig. 9にロール回転開始後20分の定常状態においてロール表面に生ずる軸方向応力の分布を示した。この図からロール回転中の軸方向応力の変動はスリーブロール（タイプI）が最も小さく 25 kg/mm^2 であるのに対し、スリーブロール（タイプII）と中実ロールは応力変化が 40 kg/mm^2 と大きいことがわかった。このようにスリーブロール（タイプI）は定常状態で見ると中実ロールに比べ回転中に生ずる軸方向応の変化が小さく、繰り返し応力による亀裂の発生及び進展を抑制するのに効果的である。一方、非定常状態としてロール停止20秒後のロール表面に生ずる軸方向応力を Fig. 10 に示した。非定常状態では各ロールとも定常状態に比べ温度の上昇が認められ、亀裂の発生しやすい状態となっている。したがって、明らかにこの場合も中実ロールはスリーブロールに比べて耐亀裂性が劣ると見られる。そこで、Fig. 10では中実ロールを省略し、スリーブロールについての比較を行った。スリーブロールの中でもタイプIIは鍍片接触部において圧縮応力が 80 kg/mm^2 以上となっており、明らかに局部的に塑性変形を起していることがわかる。これに対し、タイプIは応力値が圧縮 35 kg/mm^2 であり、か

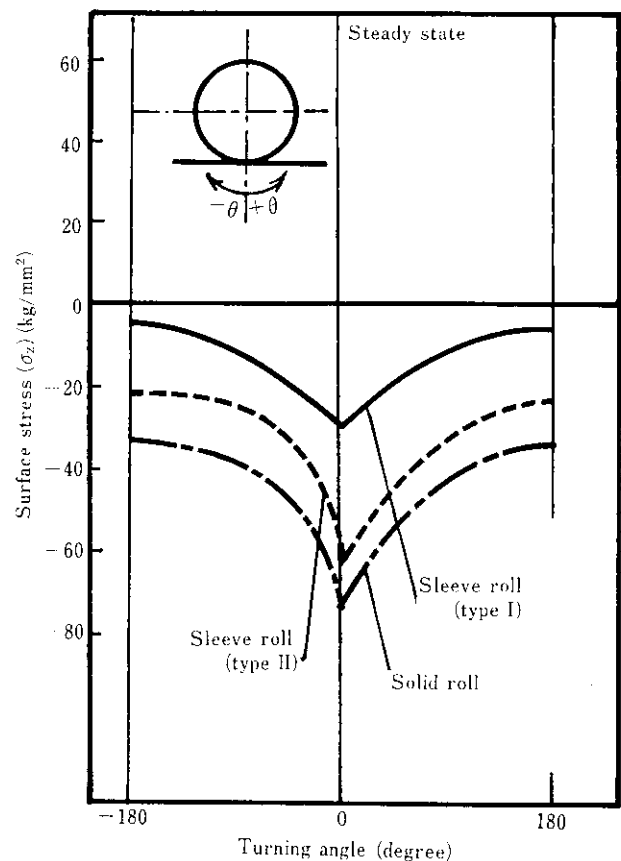


Fig. 9 Relationship between surface stress of the roll and turning angle

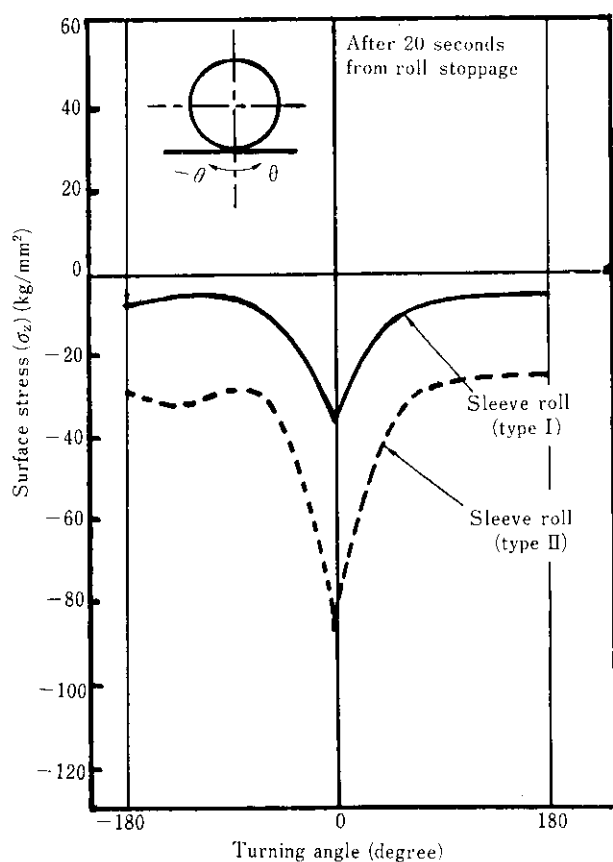


Fig. 10 Relationship between surface stress of roll and turning angle

つ応力振幅も約30 kg/mm²と小さく、非定常時における亀裂の発生を抑制するのに有効であると見られる。

4.4 亀裂発生時期の予測

以上の解析結果から中実ロールに比べ中間冷却のないスリーブロールが亀裂の抑制に有効であることがわかった。そこで、次にスリーブロールが中実ロールに比べてどの程度亀裂によるロール寿命を延長できるかを検討した。ロールの回転及び停止の繰り返しによって生ずる応力のため低サイクル疲労が起り、

Table 3 Life of roll

Condition	Term	Solid roll	Sleeve roll (type I)	Sleeve roll (type II)
Steady state	Fatigue limit (kg/mm ²)	52.8	36.8	50.3
	Stress amplitude (kg/mm ²)	35.8	18.8	30.8
	Number(*)	8.7×10^4	1.0×10^6	2.3×10^5
Air cooling from steady state	Fatigue limit	20.7	14.4	28.2
	Stress amplitude	52.8	21.3	43.0
	Number(*)	1 490	34 800	6 760
Air cooling after 20 seconds from roll stoppage	Fatigue limit	—	11.3	14.8
	Stress amplitude	—	30.5	71.5
	Number(*)	—	4 060	840

(*) Number of repeated stress to break

亀裂の発生を招く。そこで、ASME Code Sect. IIIに定める低サイクル疲労のB・F.Langerの式⁶⁾を用いて各ロールの亀裂発生までの繰り返し回数を求め、その結果をTable 3に示した。この表から明らかに全ての状態においてスリーブロール(タイプI)の亀裂の発生が最も遅く、反対に中実ロールは最も少ない回数で亀裂を生じることがわかった。また、スリーブロール(タイプII)は定常状態においては中実ロールより優れているが、スリーブロール(タイプI)の20%程度の使用期間で亀裂が入ることが予想される。

以上の事からスリーブロール(タイプI)は中実ロールに比べ、定常状態だけを考えても亀裂発生までの期間が10倍以上であり非定常状態を考慮すれば両者の差はさらに大きくなると予想される。したがって、この結果からもスリーブロール(タイプI)が有効であるといえる。

5. スリーブロールの実機テスト

5.1 スリーブロールの構造

今回のテストに供したスリーブロールの構造はFig. 3に示したものである。すなわち、軸とスリーブ間に冷却のないタイプI(ロールNo.S-1, S-2)および軸とスリーブ間が水冷されているタイプII(ロールNo.S-3)である。スリーブの材質は ① 高温で高強度を有すること ② 高靱性材であること ③ 高温での耐食性に優れること ④ 変態温度が高いこと ⑤ 安価で入手の容易なことを、考慮して検討した結果マルテンサイト系のステンレス鋼とし、各種材料の強度比較を行った。その結果、引張り強度の優れた9 Cr-2 Ni系の材料を用いることにした。今回のテストはスリーブのタイプI, IIの比較を行うため材料は1種類に限定した。その機械的性質はTable 4に示す通りである。また、スリーブ肉厚は前述のようにその内外径比が $m=1.25 \sim 1.36$ すなわち40 t~50 tが適正であると考えられる。今回は計算にも用いたこの範囲の上限值(50 t)でスリーブを製作した。

また軸とスリーブのはめ合いについても種々の組み合わせが考えられるが、トルク伝達としては軸とスリーブの一端を溶接しているため、しめ代は小さくて良いと考えられる。そこで、今回はS-1, S-2はテーパ焼きばめ(しめ代MAX0.2 mm)、S-3は中間ばめ(h 7 H 8)とした。

Table 4 Mechanical property of sleeve

Sleeve No.	Heat tr(*)		Mechanical property				
	Q	T	Y·S	T·S	El	Hv	Iv
S-1	(°C)	(°C)	70	85	17	250	5
S-3	1 050	720	~72	~88	~18	~255	~6

(*) Heat treatment Q: Quench T: Temper

5.2 スリーブロールのテスト結果

テストスリーブロールの亀裂発生状況をFig. 11に示した。これよりいずれのスリーブロールも1 000チャージ近くで亀裂が発生したものの、一様な分散型の亀裂であり、その後の進展速度は中実ロールに比べて緩やかで、中でもS-1, S-2は従来の中実ロールの3倍程度の耐用寿命があることがわかった。こ

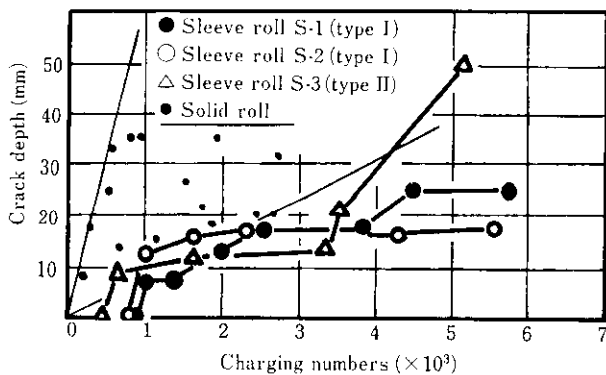


Fig. 11 Relationship between crack depth and charging numbers

の実機テストの結果と応力解析結果を比べるとほぼ一致した結論が得られた。すなわち、軸とスリーブ間に冷却溝のないスリーブロール（タイプ I）が非定常操業における熱応力を緩和できるといって優れており、亀裂発生が遅延化並びに進展速度の抑制を実現できる構造であることがわかった。

6. 結 言

水島製鉄所第 5 連鋳機における中実ロールの亀裂に対処するために、スリーブと軸との間に水冷の有り及びなしの 2 種のスリーブロールの使用を検討した。これらについて温度及び熱応力解析を行うと共に、実機テストを行って効果を確認した。これにより得られた結果は以下の通りである。

(1) ロール温度解析の結果、定常操業中の中実ロールの表面温

度は 550℃ 程度であるのに対し、軸とスリーブの間に冷却のないスリーブロールの表面温度は 673℃ にまで達した。また、その後行った中実ロールの温度測定結果では、解析温度に近い値を確認することができ、計算結果の妥当性を検証することができた。

- (2) NASTRAN によりロールの熱応力解析を行った結果、中実ロールに比べスリーブと軸との間に冷却のないスリーブロール（タイプ I）はタンディッシュ交換などによるロール停止後の表面の応力変化が最も小さく、亀裂の発生を抑制するという点で有利である。
- (3) 第 5 連鋳機においてスリーブロールの実機テストを行った結果、中間冷却のないスリーブロールは 1 000 チャージ近くで微小亀裂が発生するものの、その後の亀裂進展は中実ロールに比べ緩慢で、かつ安定しておりロール寿命を中実ロールの約 3 倍に延長できることがわかった。
- (4) ロールに亀裂が発生するまでの応力の繰り返し回数を低サイクル疲労の Langer の式で求めた結果、中実ロールに比べスリーブと軸との間に冷却のないスリーブロールは非常に多く、定常操業のみで考えても 10 倍以上であり、非定常操業を考慮すればさらにその差は大きくなる。
- (5) 連鋳ロールの亀裂対策を考えるにあたり、ロールの熱応力解析を実施し、その結果を実機テストにて検証した。これにより現状のロール亀裂を抑制し、寿命を延長するための対策の方向付けを行うことができた。現在、上記の結果に基づいてスリーブと軸との間に冷却のないタイプのスリーブロールの適用拡大を実施し、ロールの寿命延長、安定操業の維持を図っている。

参 考 文 献

- 1) 飯田ら：「水島製鉄所第 5 連鋳機における高速鋳造」川崎製鉄技報, 12 (1980) 3, 66
- 2) 市原ら：「連鋳設備技術の進歩」川崎製鉄技報, 12 (1980) 3, 127
- 3) 大西ら：「連続鋳造設備のロールに発生する応力の解析」日立造船技報, 34 (1973) 2, 733
- 4) 太田ら：「連続鋳造機用ロール」, R&D 神戸製鋼技報, 29 (1979) 3, 42
- 5) 井上：「簡単にできる焼きばめ設計技術の開発」, プラントエンジニア, 12 (1980) 8, 17
- 6) 奥田：「压力容器に関する最近の研究」, 日本機械学会誌, 70 (1967) 586, 1605