

日立金属(株)
新日本製鐵(株)

若松工場
プラント事業部

○佐野義一
木村和夫

1. 緒言

ホットストリップミルの高性能化，圧延製品の高級化にともない使用されるロールに対する要求水準は益々高くなってきている¹⁾。本稿でとり上げた後段用作業ロール（以下FHWロールと略す）に高合金グレンが用いられているのは，耐摩耗性，耐事故性ならびに肌の安定性に優れているからである。しかしながら，最新ミルが有する高度な機能を満足させるためには耐摩耗性の大巾な向上が必要とされる。一方では耐摩耗性と耐事故性とは相容れぬ点が多いので，耐摩耗の志向に際し耐事故性を損なわぬ配慮が不可欠である。この点に対するロール製造者，使用者双方の認識を深めたい。そのため本稿では，まずFHWロールに生じるロール事故について概説する。そしてFHWロールに特徴的なクラックとスポーリングに対して試みた臨床的な解析結果についてとりまとめ，その発生機構と対策につき考察を行なった。

2. 仕上後段作業ロールの破壊事故

FHWロールは，圧延摩耗で約50%，クラックなどのロール事故研削で15～20%，残りが通常研削で消耗される。FHWロール胴部に生じる様々な破壊事故をFig.1に，またそれぞれのロール事故とロール材質，圧延条件との関連をTable 1に示す。ロール内部起点の破壊事故は，ロール冷却不足などの操業異常のある場合を除いて，多くの場合鑄造欠陥，強度不足あるいは過大な残留応力等にその原因がある（Fig.1 b～e）。これに対して絞りなどの圧延異常の際にも，正常圧延時と類似な破壊形態がみられることがある（Fig.1 e, f）。このように，一見して破壊現象が似通っている場合に，その主原因がロール，圧延条件のいづれ側にあるか等を含めて，個々の事例について触れておく。

2.1 胴折れ 熱折れとも呼ばれ，ロール中心から外周にかけての破面模様で特徴づけられる。しかし表面クラックが内部に進んで胴折れしたり(Fig.2)，大スポーリングで2次的に胴折れを起こすことがある(Fig.1 d)。

2.2 大スポーリング 破面の巾が100mmをこえるような大きなスポーリングで，主因がある場合内部

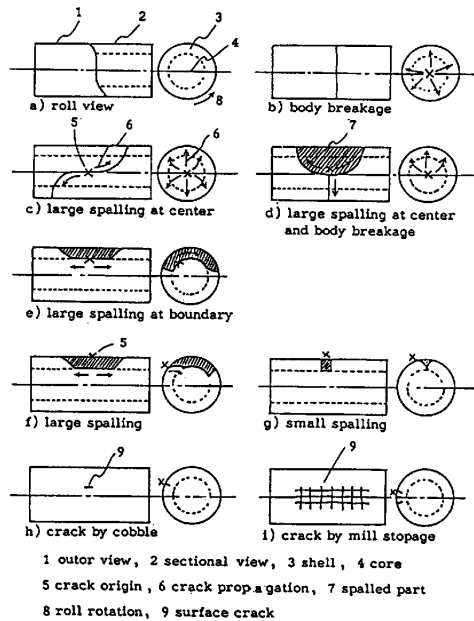
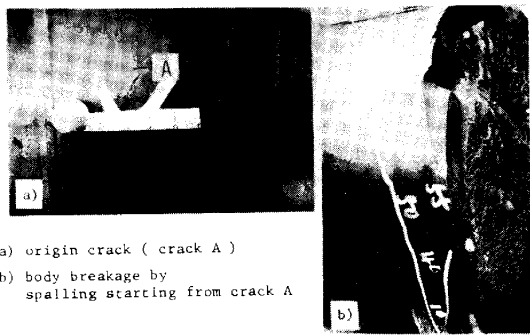


Fig.1 Schematic pattern of breakage in a roll body.

Table 1 Relation between breakage and its source.

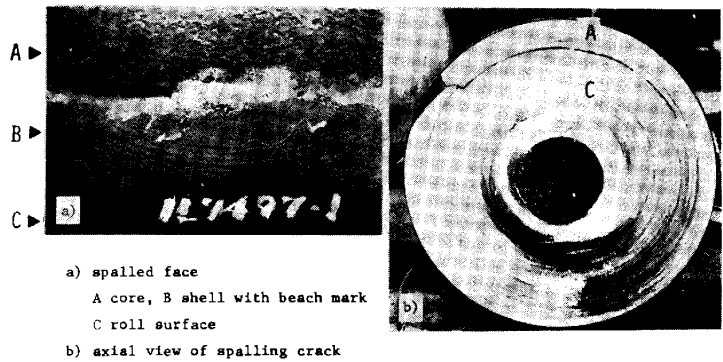
| Rolling condition | Breakage | Source of breakage | | | | | Reference |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|----------|-------------------|----------------|----------------|-------------|
| | | Roll material | | Rolling condition | | | |
| | | Defect | Strength | Residual stress | Thermal stress | Rolling stress | |
| normal | body breakage | ○ | ○ | ○ | ○ | - | Fig. 1 b |
| | large spalling at center | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | Fig. 1 c, d |
| | large spalling at boundary | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | Fig. 1 e |
| | large spalling from surface | ○ | - | - | - | △ | Fig. 1 f |
| | small spalling at surface | ○ | - | - | - | △ | Fig. 1 g |
| abnormal | large spalling | - | - | - | ○ | ○ | Fig. 1 f |
| | small spalling | - | - | - | ○ | ○ | Fig. 1 g |
| | crack by cobble | - | - | - | ○ | ○ | Fig. 1 h |
| | crack by mill stopage | - | - | - | ○ | - | Fig. 1 i |

Remarks : ○ strong effect, △ small effect, - little or no effect
※ accompanied with body breakage, sometimes, Fig. 2



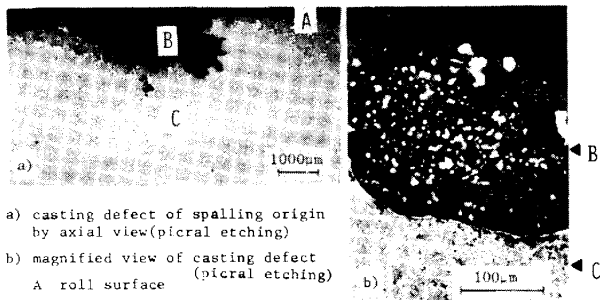
a) origin crack (crack A)
b) body breakage by spalling starting from crack A

Fig.2 Body breakage by spalling. A



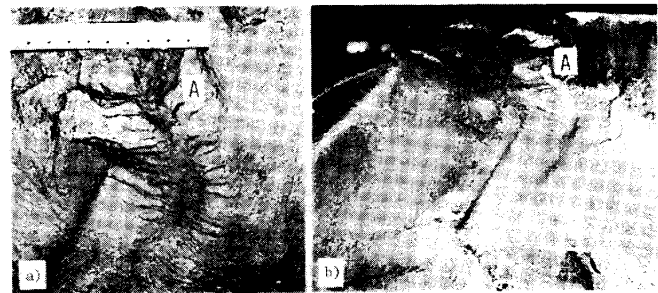
a) spalled face
A core, B shell with beach mark
C roll surface
b) axial view of spalling crack

Fig.3 Large spalling at boundary.



a) casting defect of spalling origin by axial view(picral etching)
b) magnified view of casting defect (picral etching)
A roll surface
B defect (Al, Si etc.)
C roll material

Fig.4 Casting defect of spalling origin.



a) crack A propergating from surface
b) spalled face starting from crack A

Fig.5 Large spalling origination from surface crack.

から表面に向かうビーチマークが破面にみられる (Fig.3)。しかし表面の鑄造欠陥が原因の場合には (Fig. 4) , 破壊は表面から内部へ向かう。また, 一見して内部起点形とみられる大スポーリングでも, 破面の中に表面からの進展経路が含まれる場合は表面に起点がある (Fig. 5)。

2.3 小スポーリング 起点は表面にあって, その付近に鑄造欠陥がなければ後述の絞りによるクラックが, 圧延負荷のくり返しによりスポーリングへ進展していくものと考えられている²⁾

2.4 クラック 咬止めクラックはその特徴的なパターンから, 他のクラックと判別できる (Fig.1 i)。これがスポーリングに進展していく例はまれにしかない。スポーリングの初期状態とみなされるクラック (Fig. 6) は, 絞りに起因すると考えられ, その理論的解析もなされている²⁾

3. スポーリング, クラックの臨床的解析

解析の対象は昭和51年1月から58年12月の8年間に事故調査された高合金グレンロール80本である。これらは原因や損傷程度に関する究明をロールメーカーへ要請されたものである。したがって, 圧延上の原因が明らかな場合などメーカー調査の対象外になった事故は多いと思われるが, ここでは含まれない。またロール欠陥が原因と判定された3例も対象外とした。以下の解析結果においては, これらの点に対する考慮を要する。なお解析に際して, 開口量がおよそ1mm以下のものをクラック, それ以上のものを小スポーリングとした。そしてスポーリングの軸方向の最大投影長100mm以上を大スポーリング, それ未満を小スポーリングと定義して区別した。

3.1 破壊の形態および特徴 (1) 外観上の形態 クラック>小スポーリング>大スポーリングの順に多い (Fig. 7)。最終前スタンドでは, 圧延中に発見されるものは50%以下である (Fig. 8)。

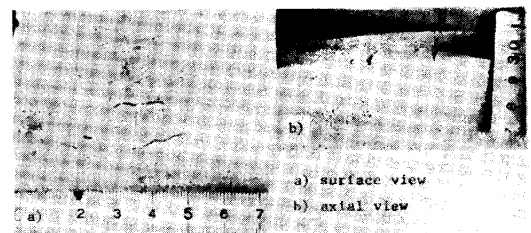


Fig.6 Crack by cobble.

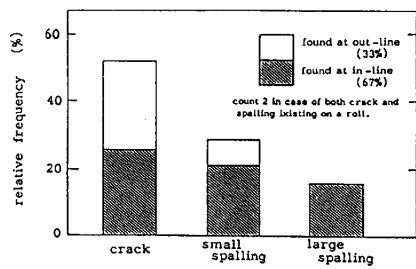


Fig. 7 Outer view of breakage at found.

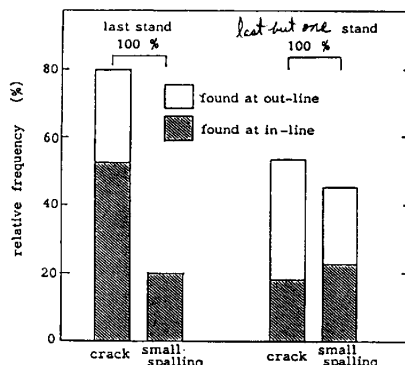


Fig. 8 Outer view of crack and small spalling.

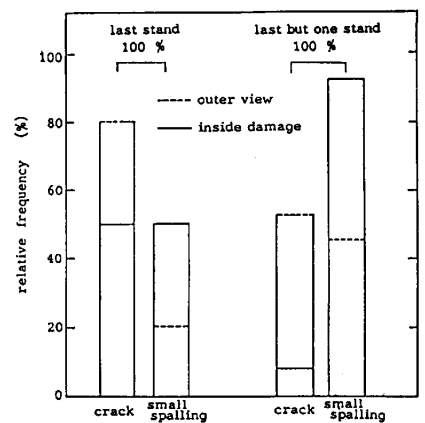


Fig. 9 Relation between inside damage and outer view.

(2) 内在形態

最終前スタンドでは80%以上のクラックがスポーリングに進展している (Fig. 9)。

(3) 進行方向

25件中の23件のスポーリングがロール回転と逆方向, 1件は両方向, 残り1件のみ同方向に進んでいる。

3.2 破壊の位置

3.3 破壊の大きさ

巾100mm未満の小スポーリングが過半数を占めるが500mm以上のものもある (Fig. 11)。

3.4 破壊の到達深さ

3.5 破壊発生スタンド

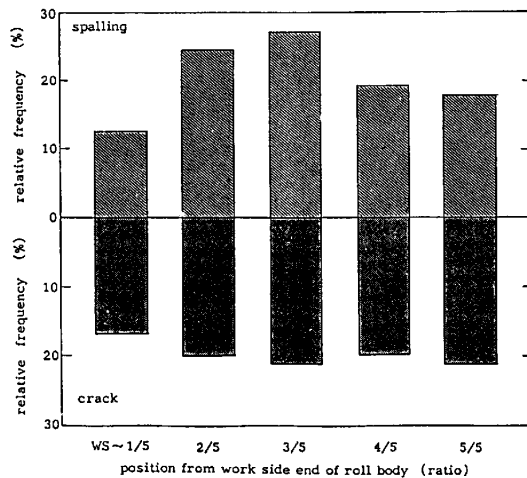


Fig. 10 Axial position of crack and spalling on a roll.

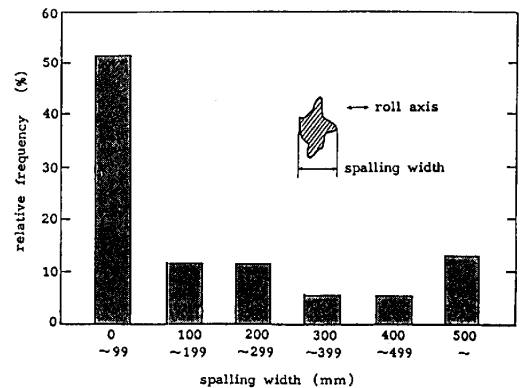


Fig. 11 Distribution of spalling width.

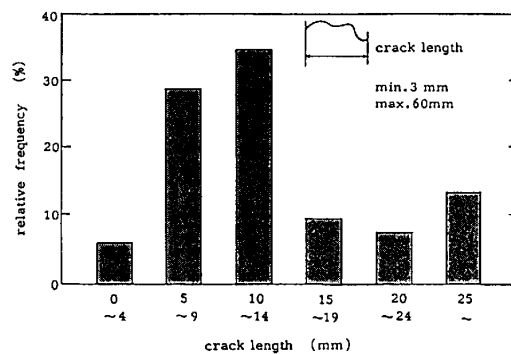


Fig. 12 Distribution of crack length.

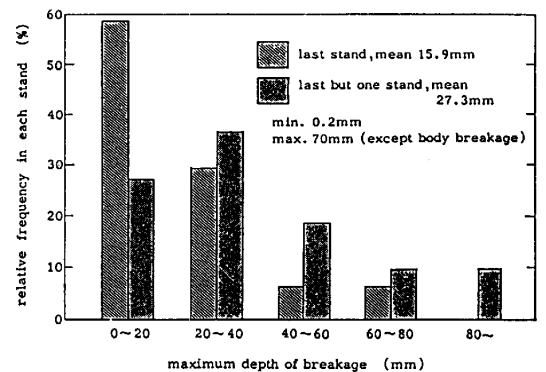


Fig. 13 Distribution of maximum depth of breakage.

は長さ5~14mmが60%以上を占め, 最小3mmである (Fig. 12)。

3.4 破壊の到達深さ 最終前スタンドで損傷が深いのは, 最終スタンドにくらべてロール疵のコイル肌への影響が検出され難いのでクラック発生状態で継続使用される可能性が高く, しかも圧延負荷が大きいためであろう (Fig. 13)。またクラックの平均深さ6.5~7mmに対して, 小スポーリングは約3倍, 大スポーリングでは6倍にもなる (Fig. 14)。これらは疵の早期発見の重要性を示唆している。

3.5 破壊発生スタンド 圧延工場内部で処理されたものを含めると最終スタンドでの事故が最も多いと考えられ, 下流スタンドほど絞り事故の多い傾向との関連が推察される。上下間の差は明確でない (Fig. 15)。

3.6 破壊発生口
一ル径 有効径

の60%までに大半の事故が発生している (Fig.16)。通常 FHWロールは下流から上流に移行して使用されるので前述のスタンドの影響が現われているためであろう。

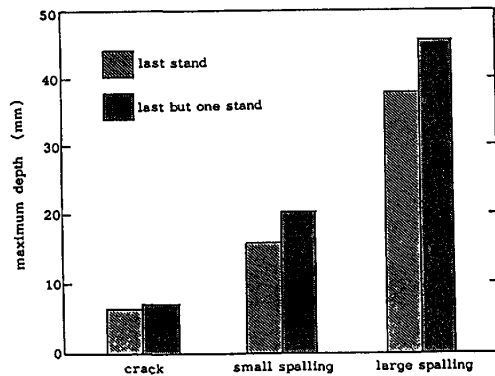


Fig.14 Relation between maximum depth and crack / spalling.

3.7 絞りとの関連

操業記録から破壊原因を絞りと確認できたものは27%で、推定を含めても半数にみえない (Fig.17)。

4. 解析結果の考察

4.1 スポーリングの生成機構

スポーリングの特徴をまとめてTable 2に示す。生成の主因と考えられるロール欠陥絞り、接触疲労と解析結果とを照合して、それらの検定を行なった (Table 2)。ロール欠陥は染色探傷やマイクロ観察を用いて検出可能であるから、健全なFHWロールに生じるスポーリングは、Table 2の結果から絞りに起因するクラックとその進展によって生成するとみるべきであろう。

4.2 スポーリングの防止

圧延において絞りをなくすことが困難である以上、これを前提にした対応をとる必要がある。(1)ロール材質 クラックが生じ難いか、クラックを浅く止めることを志向した研究が行なわれている。³⁾⁴⁾ロール欠陥の排除とその検出精度の向上もなされている。³⁾(2)ロールの保守管理 クラックを確実にしかも早期に検出し、排除してしまうことが基本である。この目的で検出精度の勝れた渦流探傷を用い、ロール研削毎に検査することにより成果がえられた⁵⁾

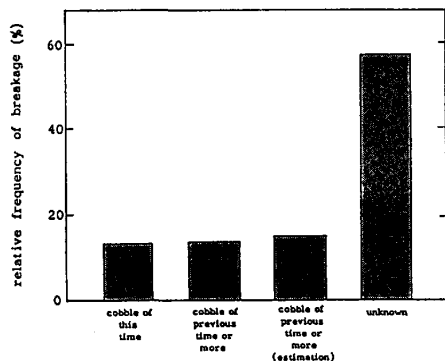


Fig.17 Relation between relative frequency of breakage and chance of cobble occurrence.

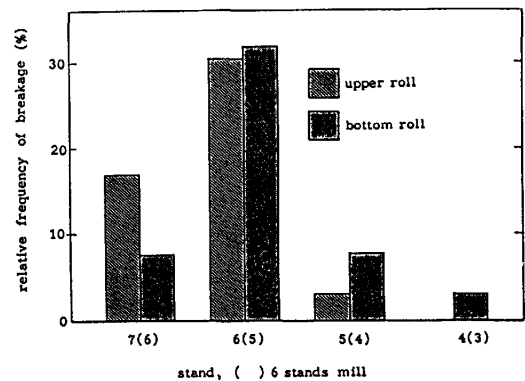


Fig.15 Relation between relative frequency of breakage and number of stand.

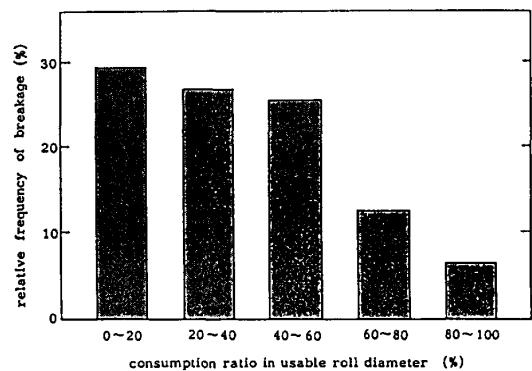


Fig.16 Relation between relative frequency of breakage and consumption ratio in usable roll diameter.

Table 2 Character of crack / spalling and the factor of its mechanism.

| Character of breakage | | Factor of crack and spalling mechanism | | | Reference |
|-----------------------------------|--|--|--------|-----------------|------------|
| Item | Result | Defect | Cobble | Contact fatigue | |
| Outer view | crack>spalling | ○ | ○ | ○ | Fig. 7,8 |
| Inside damage | spalling>crack | ○ | ○ | ○ | Fig. 9 |
| Propagating direction of spalling | opposition to rolling direction | ○ | ○ | ○ | |
| Position of spalling | uniform distribution along axis | ○ | ○ | × | Fig. 10 |
| position of crack | uniform distribution along axis | ○ | ○ | × | Fig. 10 |
| Size of spalling and crack | spalling: <100mm most crack: 10~14mm most | - | - | - | Fig. 11,12 |
| Max. depth of breakage | <20mm most | - | - | - | Fig. 13 |
| Number of Stand | 6>7>5>4st in 7st mill | - | △ | × | Fig. 15 |
| Upper / bottom in stand | equal | ○ | ○ | ○ | Fig. 15 |
| Roll diameter | large>small | - | ○ | × | Fig. 16 |

Remarks : ○ strong connection, △ small connection, × counter connection - nonconnection