

## 技術報告

## コールドストリップ用ロールの材質と寿命\*

標 正\*\* 広 瀬 春 彦\*\*\*

## Durabilities and Materials of Rolls for Cold Strip Mill

Tadashi SHIMEGI and Haruhiko HIROSE

## Synopsis:

The most important characteristics required for forged hardened steel rolls for cold strip mill are high wear and abrasion resistibility, high resistibility against heat cracking caused by rolling accidents and an enough depth of fully hardened layer.

In case of a dull surfaced roll, an important factor is that the roll works effectively for easy dull surfacing and keeps a long life.

The experimental data on the effects of alloy elements as dissolved in matrix show that, a roll-steel of the following chemical composition gives most excellent properties for the above-mentioned requirements; 0.8% C-1.0% Si-2.2% Cr-0.25% Mo-1.5% Co. Shore hardness reading on the roll surface always varies depending on residual stress. Therefore, much attention should be given to compressive because it has a serious effect on the hardness of a forged hardened roll regarding its dull surfacing work.

(Received Oct. 19, 1970)

## 1. 緒 言

近時コールドストリップミルの圧延速度はますます高速化するとともに使用条件も非常に苛酷となりつつある。このためロールの性能の向上、とくに耐事故性、耐肌荒性のすぐれた高深度の硬化層を有するものが強く要望されている。これらの要望に応じてロールの化学成分は高炭素低クロム鋼 (0.8%C-1.8%Cr)<sup>1)2)</sup> から高炭素低クロムモリブデン、バナジウム鋼(0.8%C-1.8Cr-0.2%Mo-0.1%V)<sup>3)4)</sup> と移行するとともに Ni, Mo を添加<sup>5)6)</sup> あるいは多量に添加したロール鋼<sup>7)8)</sup> あるいは Cr, Si を増加したり, Co を添加したロール鋼<sup>9)</sup> などの進歩開発がなされている。

ブリキなどの薄いストリップの圧延には Hs 95以上, 比較的厚手の板圧延にはこの硬度より低いものが使用される<sup>3)</sup>。また硬化層については近時使用径の減少に伴って硬度が低下した後の再焼入が省略できる程度の硬化層を有するロールが要望されるようになってきているが, 45~50 mm(径)の硬化層を有するロールの製造に成功している。

このような努力と使用の適切な管理によりロールの寿命, 性能は著しく改善されつつあるが使用条件の苛酷化,

板品質の高級化, 安全の面からより一層の性能改善が必要であると考え。以上のごとくロールの性能向上, 改善には絶えず大きな努力が払われているがロールの材質と耐肌荒性, 耐事故性, 硬度, 硬化層など寿命と関係の深い重要な事項について述べ参考供したい。

## 2. 耐肌荒性, 耐摩耗性

ロールの耐肌荒性, 耐摩耗性は板の品質に直接大きな影響を及ぼすのみならず, ロールの組替回数にも影響し圧延能率をも左右する。このために高硬度のロールが要求されているものである。さらにその改善を図るためにはロールの材質, 化学成分を改良せねばならない。

一般にロール作業面の肌荒れ進行状況は圧延量が増加するにつれてPhoto. 1に示した経過をたどって変化してゆくものである。すなわちPhoto. 1に示したごとく研摩状態(肌荒等級0)→研摩目消失, 平滑化(肌荒等級1)→凹凸が現われ始める(肌荒等級2)→凹凸は樹枝状模様を呈し始める(肌荒等級3)→樹枝状模様は明りようとなる(肌荒等級4)のが最も典型的な変化の状況であ

\* 昭和45年10月19日受付

\*\* 関東特殊製鋼(株) 工博

\*\*\* 関東特殊製鋼(株)

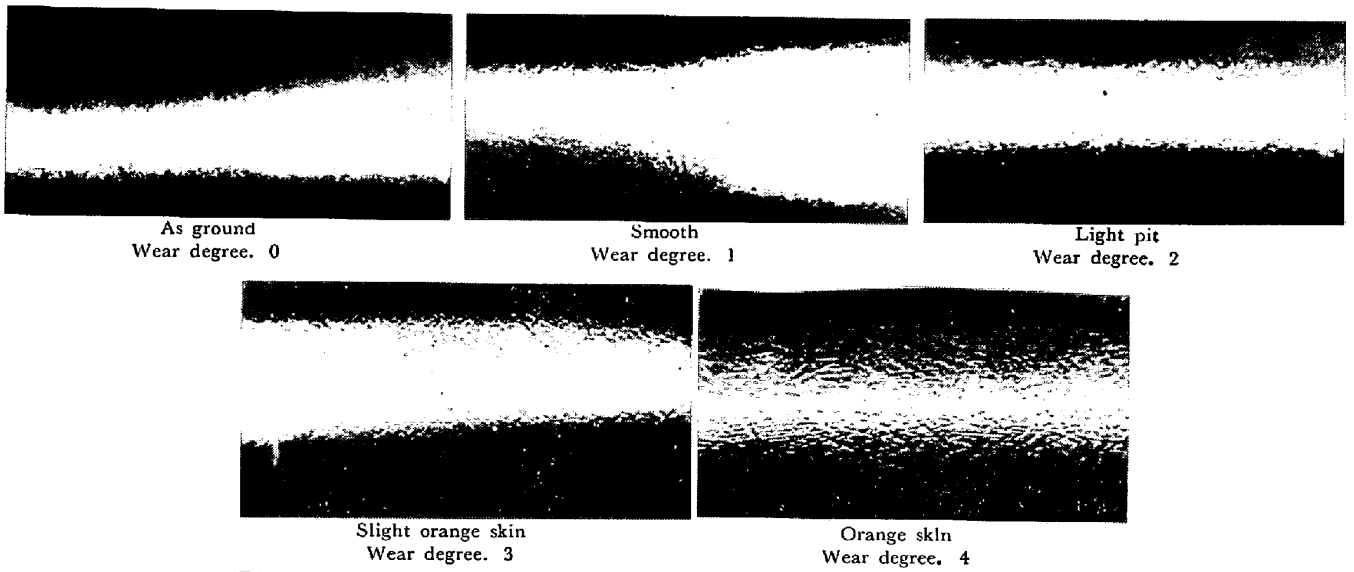


Photo. 1. The change of roll surface wear pattern during cold rolling.

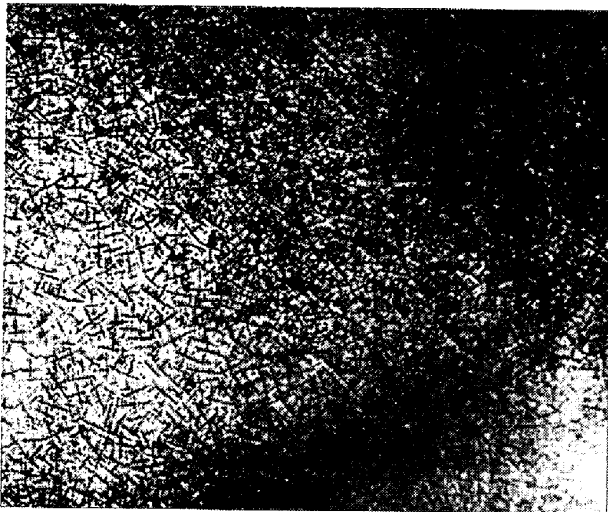


Photo. 2. The macrostructure of convention roll surface.

る。これらの肌荒れ、樹枝模様が板にプリントされるとミカンの皮の裏面の状況に近似しているためにオレンジピールあるいはオレンジスキンといわれて嫌われる。

Photo. 2はロール作動面のマクロ組織であつて樹枝状組織である。この樹枝状組織が圧延が進むにつれて肌荒れとして現われてくるものである。

上述のごとき肌荒れ基準でパーム油潤滑の場合の圧延  $t$  数と肌荒れの関係を図示したものが Fig. 1 である。Fig. 1 で明らかなおおりの約 1 000 t の圧延量まではほぼ圧延  $t$  数に比例して肌荒れは進行してゆくが、1 000~1 500 t 以上では肌荒れの悪化は止まりほぼ一定の状態となる。次に上、下ロールの肌荒れを比較したものが Fig. 2 であり、一般には下ロールのほうが肌荒れしやすい傾向にある。この原因としては下ロールは上ロールよりも潤滑が悪く、冷却も悪いことによるものであると考える。

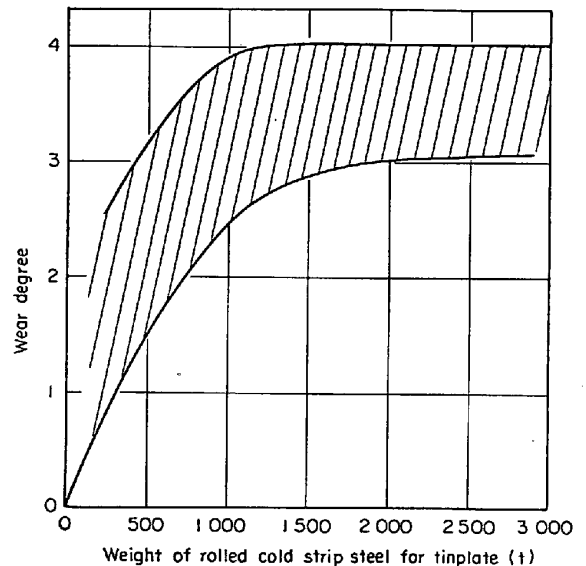
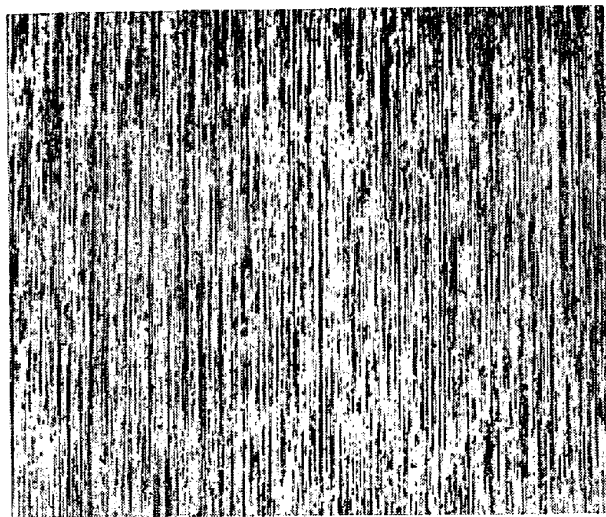


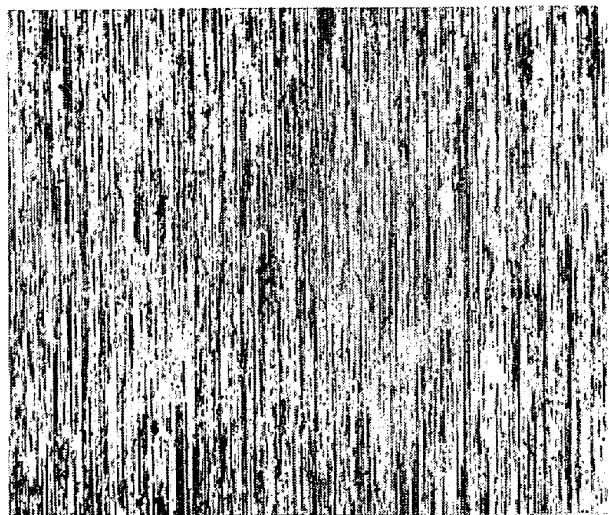
Fig. 1. The relationship between weight of rolled strip and wear of roll.

肌荒れ等級 2 および 4 のロール作動面の肌荒れ状況を 50 倍の倍率で検鏡したものが Photo. 3 である。写真で明らかのおおりの圧延中円周方向の条痕の生成によりロール作業面は摩耗していくものであり先に示した Photo. 2 のマクロ腐食像にみられる結晶偏析の影響を受け、条痕に深淺を生じ肉眼的には肌荒れとして先に示した樹枝模様がみられるものである。

圧延  $t$  数と摩耗量との関係は Fig. 3 に示したとおりであり、1 000 t 以上の圧延量となつてもなお比例的に摩耗量は増加の傾向が認められ、先に示した Fig. 1 とは異なつた傾向を有する。肌荒れは摩耗によつて生ずるものであるから耐肌荒れ性を改良するためには耐摩耗性を向上すれば効果が認められる。耐摩耗性の向上には硬度を高く



Wear degree. 2



Wear degree x50

Photo. 3. Typical microscopic appearance of wear roll surface after cold rolling.

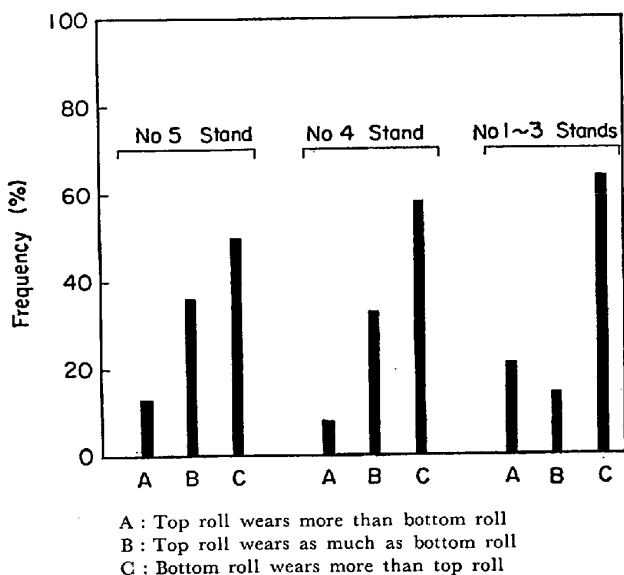


Fig. 2. Comparison of on the surface wear of top and bottom rolls in a pair roll five tandem mill for this steel strip.

する、あるいは Cr, Mn, V など硬質炭化物形成元素の添加量を増加することは当然効果を生ずるものである。また Co, Si など地に固溶し耐熱性を付与する元素の添加も効果がある。すなわち、Fig. 4 において 0.8% C-1.8%Cr 鋼、0.8% C-2.2%Cr-0.25%Mo-0.1%V 鋼および 0.8% C-2.2%Cr-0.25%Mo-0.1%V-1.0%Si-1.5%Co 鋼の 3 種類の組成を有するほぼ同一硬度範囲 (Hs 96~99) のロールを、4 号または 5 号スタンドに使用したときの肌荒れ圧延 t 数との関係を図示したものであるが、上述のとおり化学成分の影響はかなり顕著であるといえる。

先に述べたとおりロールの肌荒れはロールのマクロ組織すなわち鋼塊のマクロ組織と直接深い関係があるから

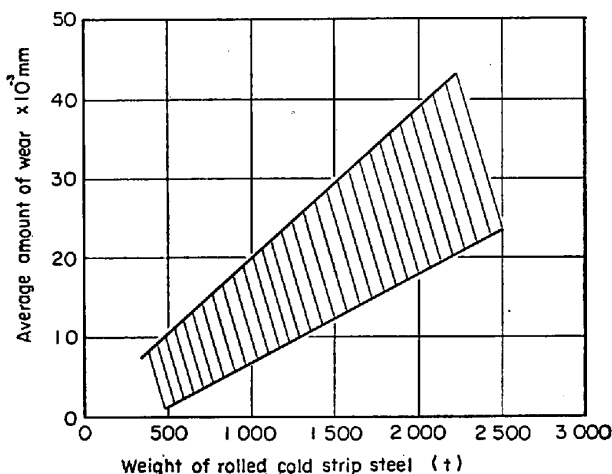


Fig. 3. The relationship between rolled weight and amount of wear of Cr-Mo-V steel roll with Hs 96~98 surface hardness in No 4 and 5 stands of the five tandem mill.

耐肌荒性のすぐれたロールの製造は鋼塊のマクロ組織の改善を図る必要がある。この改善には鋼塊凝固時において結晶の微細化、結晶偏析の微弱化、成分偏析の拡散均一化などの諸製造技術の開発が必要である。マクロ組織の改善に関してはすでに L. NORTHOTT<sup>9)</sup>、筆者ら<sup>10)</sup>の研究があり、これらの技術を応用し鋼塊のマクロ組織の改善を図った。0.8% C-2.2%Cr-0.25%Mo-0.1%V 鋼成分のロールの作業面マクロ組織はPhoto. 4 に示すとおりであり、ほとんど平滑に腐食を受け樹枝状模様は認められない。このロールを使用した結果は Fig. 5 に示すとおりであり、きわめてよい成績を得ることができた。

以上述べたとおり今後ロールの最重要性能の一として要求が次第に強くなる耐肌荒性に関しては、化学成分、特

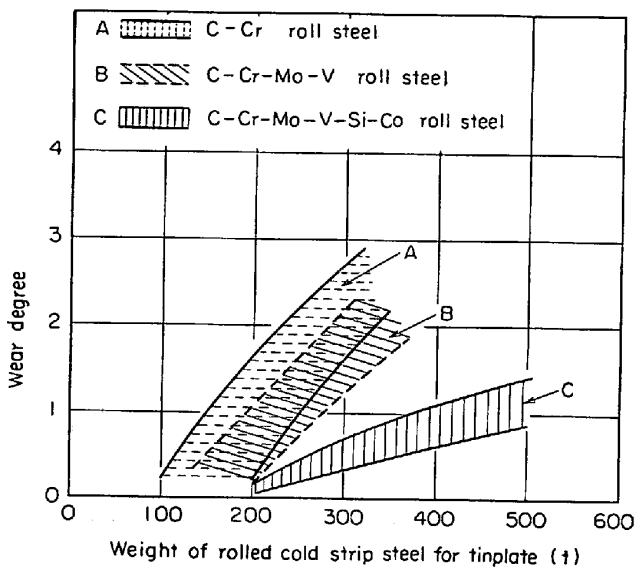


Fig. 4. The relationship between the wear resistance and chemical compositions of 21" × 56" roll with Hs 95~96 surface hardness.

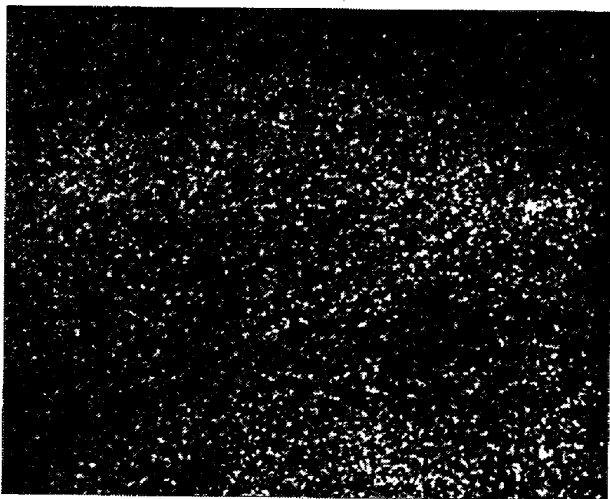


Photo. 4. The macrostructure of improved roll surface.

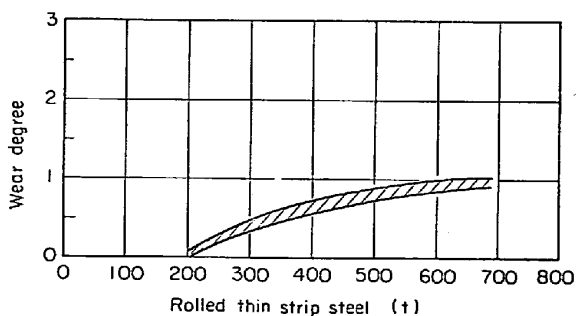


Fig. 5. The relationship between the wear resistance and rolled weight on in Cr-Mo-V steel roll with Hs 97~99 surface hardness that has improved macro structure in No 5 stand of the five tandem mill.

殊造塊法,あるいは特殊鍛造,熱処理法などの技術開発により,さらに著しい進歩がなされるものと考えている。

### 3. 耐クラック性 (耐事故性)

鍛鋼製焼入ロールは全く欠陥のないロールでも研削時には研摩クラック,圧延時にはヒートクラック,スリップ疵,表面剝離などの欠陥発生事故がある。これらの発生事故に関してはすでに幾多の文献<sup>12)11)~13)</sup>があるので説明は省略する。ロール表面上のクラック発生事故の多くは板の絞り込み焼着事故発生の著しい発熱によつて生ずるものであり,クラックを完全に除去しないまま圧延作業に使用すると,一瞬にしてロール寿命を絶つような大きな深い表面剝離事故を発生するから,クラックは完全に除去して再使用しなければならない<sup>13)</sup>。このクラック除去は後述の Fig. 17 の例より見てロールの有効使用径に大きな影響を及ぼすことが明らかであるから,耐クラック性に関して多大の関心が払われている。耐クラック性には化学成分,硬度,硬化層,焼入応力などが大きく関係しているものである。次にこれらの諸因子の影響について述べる。

#### 3.1 化学成分

現在広く使用されている化学成分は先に述べたとおりであつて C と Cr の両元素が根幹基本成分であり他の Mo, V などの添加量は少量であるので補助的成分であるといえる。そこでまず C, Cr 両元素のクラック性に及ぼす影響について述べる。

##### 3.1.1 C, Cr の影響

BAIN<sup>14)</sup> は高炭素合金鋼において焼入硬さを左右する最も強い因子は C 固溶量であつて, Cr, Mo のごとき合金元素が硬さを増す方向に働くかどうかについてわからないと述べている。ロール鋼には Cr は約 2%程度含有されているが,これは焼入性を増すために必要であり,耐摩耗性を改良することについても必要であると考えられる。耐摩耗性に関しては Cr は炭化物として存在することが望ましく,焼入性を増すためには地に固溶させなければならない。JELLINGHAUS<sup>15)</sup> が示しているとおおり,十分焼入性を増すためには地へ Cr を 1.2%以上固溶せしめる必要がある。一般に Fig. 6 に示すとおおり焼入温度,同保持時間により炭化物の固溶量が異なる。したがつて地に固溶する Cr 量も異なるために焼入性に差を生ずる。硬化層を大にするためには Cr 固溶量の増大をはかる必要があり, Cr の固溶をはかれば C の固溶も同時に増す因果関係がある。

そこでまず C, Cr 両元素の固溶量と耐クラック性との関係について述べる。Fig. 7 は ( $\gamma$  相中へ)横軸に示し

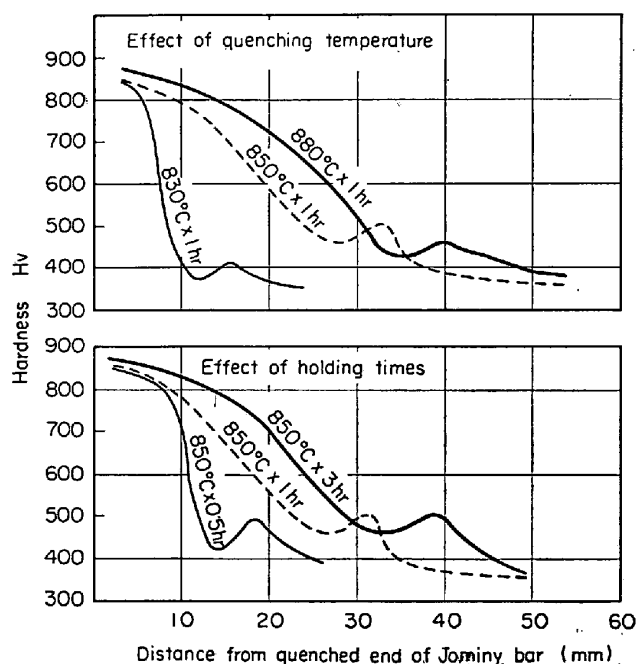


Fig. 6. Effects of quenching temperatures and holding times upon the hardenability of roll steel.

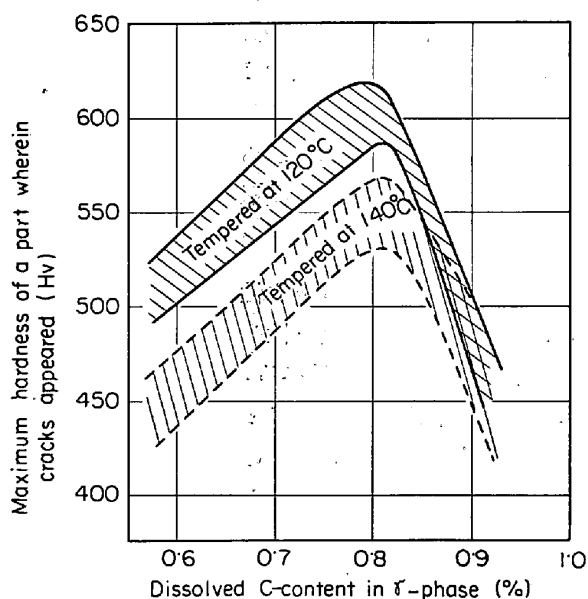


Fig. 7. Effect of dissolved carbon content in  $\gamma$ -phase on the heat crack resistibility.

た C 量を  $\gamma$  相中に固溶した後、冷水で焼入した供試体について耐クラック性の試験結果を示したものである。また Fig. 8 は C, Cr 両元素の  $\gamma$  相中の固溶量と耐クラック性との関係を図示したものである。

耐クラック性試験は 67.3 rpm で回転している  $50\phi \times 250$  mm の供試体の一端より他端へ、170kc の高周波表皮加熱コイルを 15M/min の速度で移動し、移動と同時に電流電圧を零から一定の速度で連続的に増大し、表皮

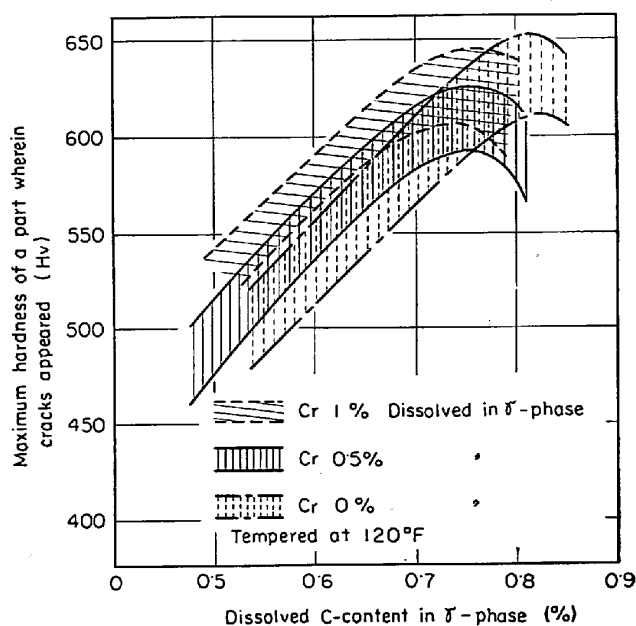


Fig. 8. Effect of chromium on the heat crack resistibility of roll steels tempered at 120°C.

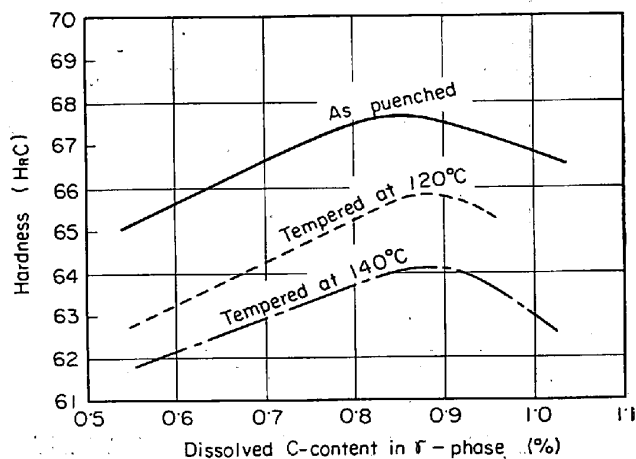


Fig. 9. The effect of dissolved C content in  $\gamma$ -phase on the quenched and tempered hardness.

加熱温度を連続的に変化して加熱と同時に急冷してクラックを発生せしめた。この場合ある温度以上に達するとクラックを発生するようになるが、このクラックの最低温度発生位置をマイクロピカース硬度計で焼戻硬度を測定することにより耐クラック性を判断することにした。縦軸はこの焼戻硬度数を示したもので、硬度が低いほど高温に加熱されてはじめてクラックを発生したことを示すものである。

Fig. 7 の C 固溶量と耐クラック性の関係図においては約 0.85 %C 固溶までは C 固溶量が増加するほど耐クラック性は劣化するが、約 0.85 %以上の固溶になるとかえって耐クラック性の向上があり、C 固溶量の増加に伴

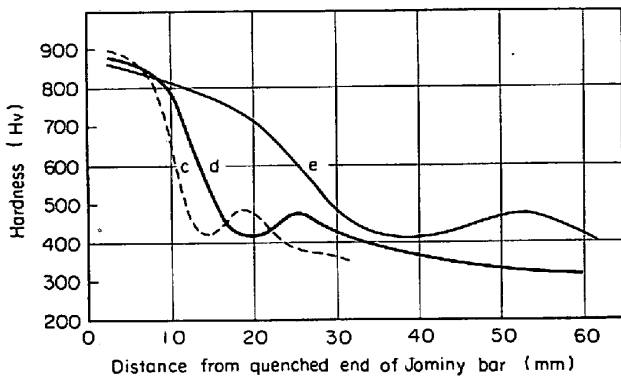


Fig. 10. Jominy hardenability curves for three steels; — (c) 1% C, 1.5% Cr; (d) 0.9% C, 1.7% Cr; (e) 0.8% C, 1.85% Cr, 0.15% Mo (F. W. JONES).

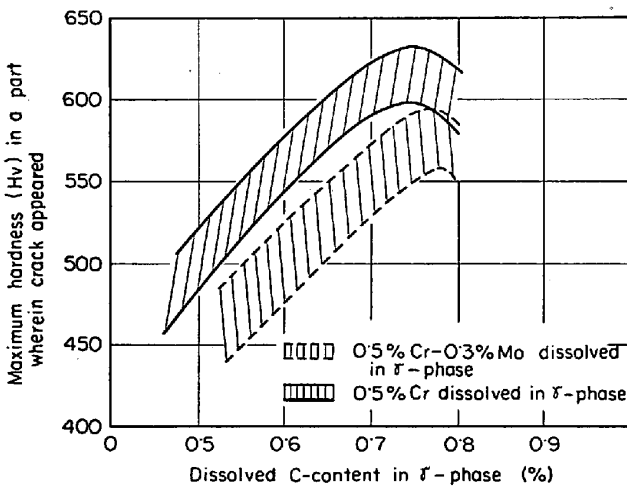


Fig. 11. Effect of molybdenum on the heat crack resistibility for roll steel tempered at 120°C.

いしだいに耐クラック性は改善されていることがわかる。次にC固溶量と焼入硬度の関係はFig. 9に示すとおりであり、約0.85% C固溶まではC固溶量が増加するほど硬度値は高くなり、0.85% C以上の固溶量になる

と残留オーステナイトの発生があり、C固溶量が増すほど残留オーステナイト量が増加するために硬度は低下している。したがって残留オーステナイトの発生は耐クラック性に対してはよい影響を及ぼすものといえる。

Fig. 8はCとCr両元素の固溶の影響を示したものであるが図示のとおりCr固溶量が増すほど耐クラック性は劣化するものである。先に述べたとおりC, Cr両元素はロール鋼の基本成分であり、C固溶量はロールの焼入硬度を支配し、Cr固溶量は焼入硬化層の深さを支配するものであるが、焼入においてはいずれも固溶するほど耐クラック性の面では好ましくないで、この点を考慮した製造を行なわねばならない。しかしながら焼入硬化層を増大する目的でCrの固溶をはかれば炭化物を形成しているCの固溶も自然に増加し、両者を必要最低限の固溶量に制御することはなかなか困難であると考えられる。したがってこれらの困難を打開する一つの方法としてCr以外の合金元素の適用が考えられる。

3.1.2 Moの影響

Moは焼入性を増す元素でありジョミニー法による焼入性能試験結果はFig. 10のとおりである。したがってMoの活用を図ればCrの固溶に余裕を生ずることになる。耐クラック性に及ぼすMoの影響はFig. 11に示したとおりであり、Moの添加は耐クラック性の改善に好影響を与える。しかしながらMo添加のみでは特に顕著な耐クラック性の改善は困難であると考えられる。

3.1.3 Co, Siの影響

Mo添加のみでは耐クラック性の改善は不十分であるので、地に固溶し耐クラック性の改善に効果があるCo, Si両元素の影響について述べる。

Fig. 12はCo添加量が耐クラック性に及ぼす影響について試験した結果である。Coの添加は耐クラック性の改善には著しい効果があることがわかる。しかしながら

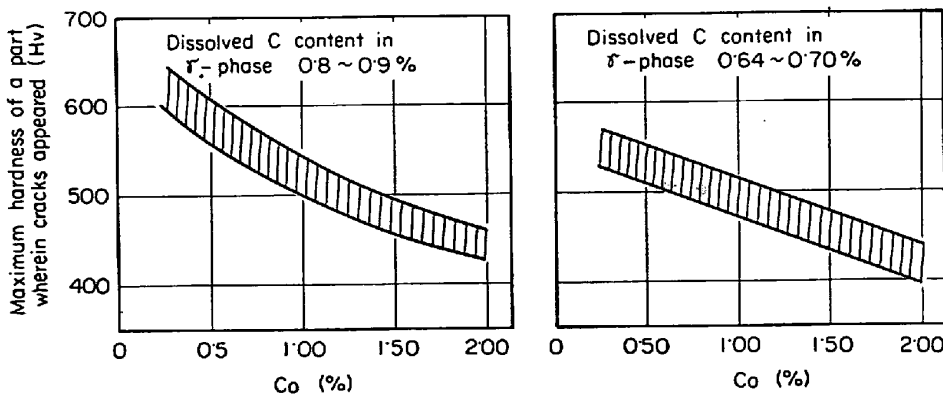


Fig. 12. The relationship between the cobalt content and the hardness when the roll beginning to crack owing to tempering by heat shock.

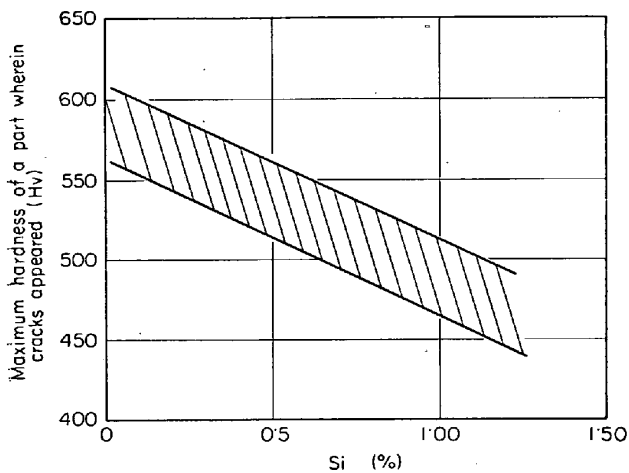


Fig. 13. Effect of silicon contents on the heat crack of 1% cobalt roll steels resistibility.

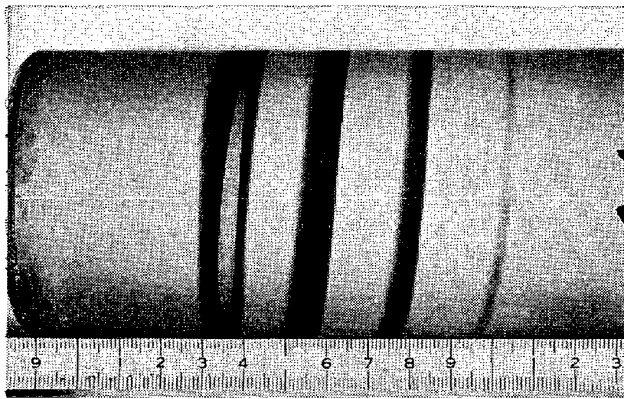


Photo. 5. Result of double etching after heat test on the 0.82%C, 1.22%Si, 2.31%Cr 0.26%Mo, 0.12%V, 2.30%Co hardened steel roll.

Co は焼入性を阻害する欠点があるので、焼入性を改善すると同時に耐クラック性の改善に効果がある元素の添加が必要である。Si はクラック発生原因となる第二次収縮温度<sup>12)</sup>を上昇するとともに収縮量をも減ずる効果があるから、Si は耐クラック性の改善元素として活用できる。Co を 1%含有する供試体に 1.25%までの Si を添加した場合の耐クラック性に及ぼす Si 量の影響を图示したものが Fig. 13 である。

0.82%C, 1.22%Si, 2.31%Cr, 0.26%Mo, 0.12%V, 2.30%Co の組成を有するロールの実験結果について述べる。Photo. 5 は表面硬度 Hs 98 に熱処理された 100φ×500 mm のロール表面に熱衝撃を加えた後に硝酸、塩酸で二重腐食し焼戻し状態、クラックの発生状況を試験したものを示したものである。局所的な急加熱の影響を受け再焼入させてもなおクラックの発生は認められないことがわかり、Co, Si 両元素の耐クラック性に

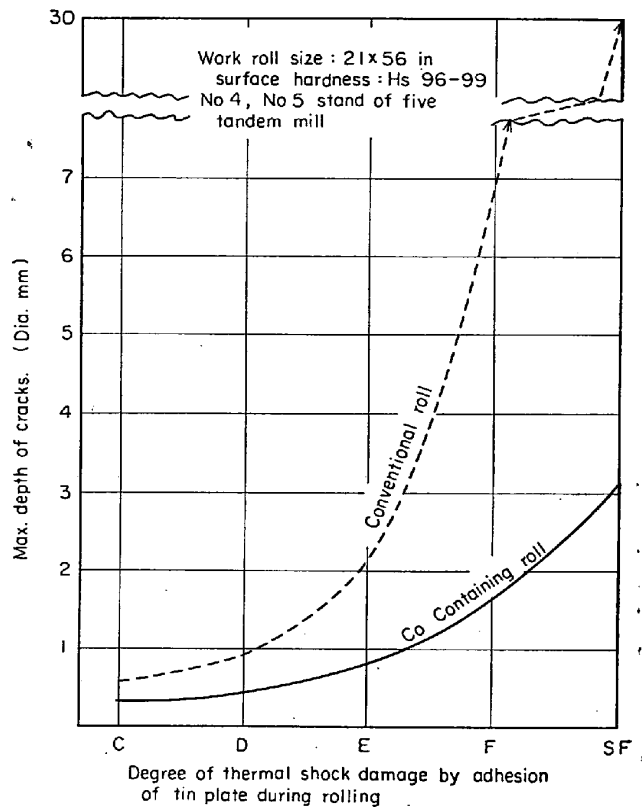


Fig. 14. Comparison of the heat shock crack resistibilities of conventional (C-Cr-Mo-V steel) roll and Co containing (C-Cr-Mo-V-Si-Co steel) roll.

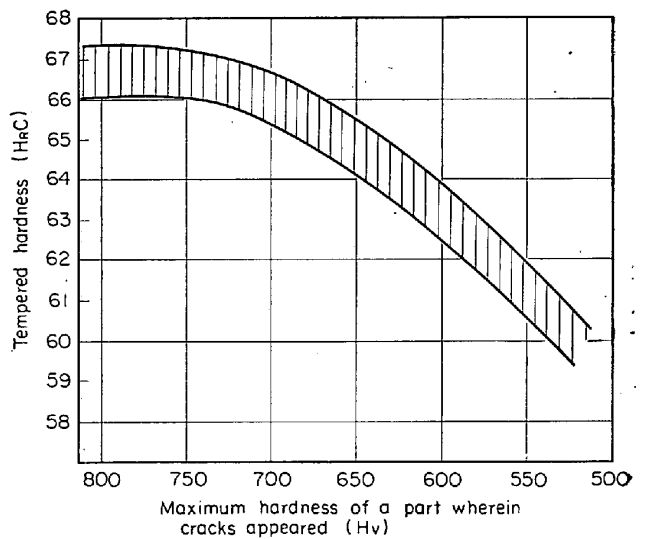


Fig. 15. The effect of heat crack resistance on the tempered hardness.

及ぼす影響はきわめて顕著であるといえる。

また 0.8%C, 2.2%Cr, 0.25%Mo, 0.1%V 系ロール鋼に 1.00%Si, 1.5%Co を添加した 21 インチ径のロールの実用試験結果は Fig. 14 に示すとおりであり、従来ロールに比し非常にすぐれた成績が得られた。なお

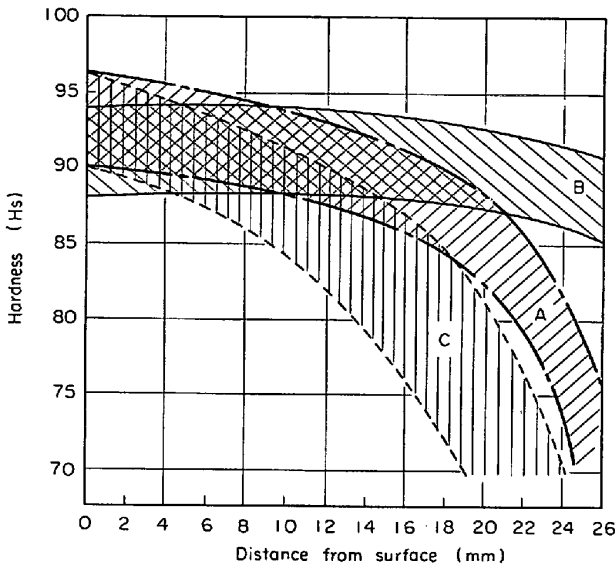


Fig. 16. Hardness distribution curves in rolls section.

図において横軸の焼着程度は焼着状態が異なればクラックの発生状態も変わるために、耐クラック性の判定は同一焼着状態で比較することが最も肝要である。焼着きの程度の分類は発熱がひどく黒色を帯びた褐色を呈するまで酸化を受けたもの、Fは焼着きがさらにはげしく青紫色を呈しているもの、超FはF以上のはげしい焼着きを呈しているものに大別し、それぞれの程度に応じた位置の発生クラックの深さを測定した。耐クラック性の判定は使用時のロールの比較は同一焼着状態で行なうことが必要であるが上述の方法は最も簡便で合理的であるといえる。

3.2 硬度、硬化層

冷延用作動ロールの硬度は主としてCの固溶量、残留応力によつて定まる。ロールの表面層は圧縮応力であるが、その大きさは焼入法によつて変化させることができる。21インチ(径)クラスのロールの場合、圧縮応力10

kg/mm<sup>2</sup> の変化で Hs 約 0.8 変化するので残留応力の影響は無視できないが、硬度は主としてC固溶量によつて定まるものである<sup>10)</sup>。硬化層は主として Cr の固溶量によつて定まるものであるから、表面硬度が高く焼入硬化層が深いほど耐クラック性に対して不利となることは免れない。また焼着事故のさいロール表面の変形が少ないために発熱量は大となり、クラック発生事故は大きくなる。

ロールは焼入後低温で長時間焼戻して所定の硬度にする。焼戻硬度と耐クラック性との関係は 1.22 %C 鋼で試験した結果は Fig. 15 に示したとおりであり、焼戻硬度が低くなるほど耐クラック性は改良される。

ソ連のザボジスタリ工場において 0.24~0.29 mm 厚さのプリキ圧延用の 3 タンデムミル用ロールとしてオーストリアの Bohler, Voest より輸入したロールは、表面剝離事故が多発したために 150~160°C で再焼戻したが硬度にはほとんど変化もなく剝離事故にも効果がなかつたため、再度 165~180°C で再焼戻を行なつたところ、硬度は Hs 1~3 低下し、ロールの寿命は著しく改良されたことが報告されている<sup>17)</sup>。またチュルポベック製鉄所において 0.5~2.0 mm 厚、1 000~1 450 mm 幅のストリップ圧延のさい、B工場製の 90KhMF 鋼 (Cr-Mo-V 系鋼) ロールと A工場、C工場製の 9 Kh 2 鋼 (Cr鋼) ロールを使用し圧延したが、そのときのロールの寿命は下記のとおりで B工場製ロールの寿命が最も長い結果が得られた。

ロール納入工場	T/ロール
A	24 691
B	33 072
C	18 515

各ロールの内部硬度分布曲線は Fig. 16 のとおりで、硬化層の最も深い B ロールが最もすぐれ、浅い C ロール

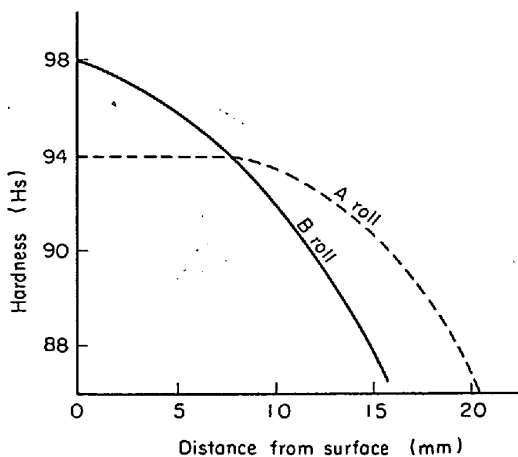
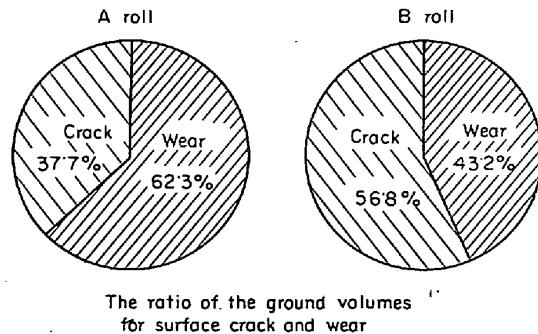


Fig. 17. Relation between mode of hardness distribution curve and roll life.





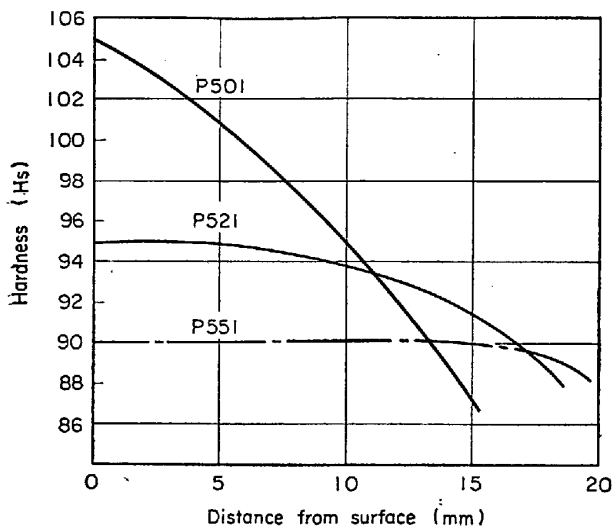


Fig. 18. Standard recommended hardness distribution curves of roll.

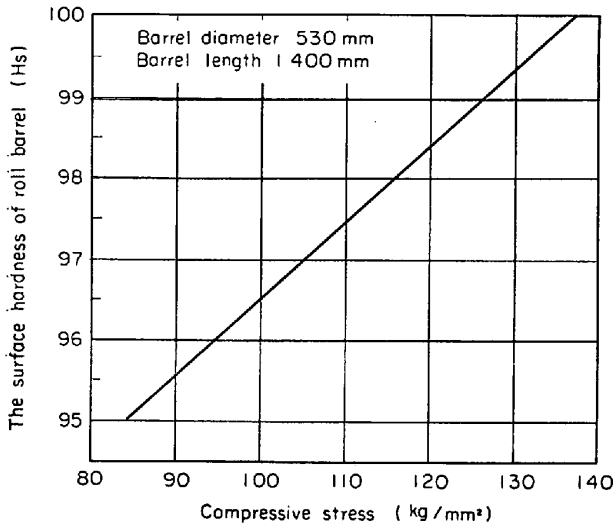


Fig. 19. The effect of residual stress on the surface hardness of roll barrel.

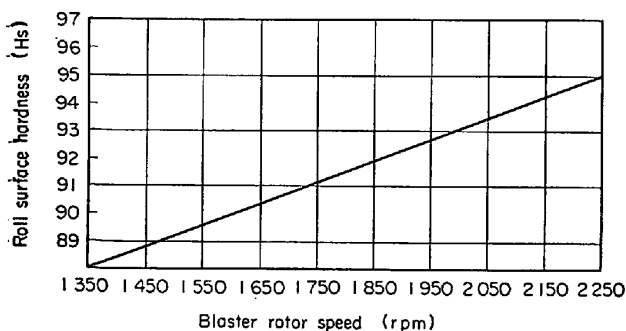


Fig. 20. The relationship of hardness of roll surface vs. blaster rotor speed for the desired rms range of 110 to 120. (D. V. BARNEY and G. C. ROBB).

が最も劣ることが報告されている<sup>18)</sup>。

以上の両報告から事故の多い圧下力の大きいミル用ロ

ールは表面硬度は低いほうが、事故の少ないミルでは硬化層の深いロールのほうが寿命は長くなることを示しているものといえる。

二種の硬化深度を有するロールの圧延成績の例を Fig. 17 に示したがこの図からも明らかとなり硬度、硬化層は耐クラック性に顕著な影響を及ぼすものであるから使用条件と適合した硬度、硬化層を選択する必要がある標準的な選択基準を Fig. 18 に示した。すなわちスキンプスミルには P-501 型ロールを、タンデムミルには P-521 型ロールを、スピードの速い苛酷の使用条件で耐事故性を重視するタンデムミルには P-551 型ロールが使用される。

#### 4. ダル加工と永続性

近時ロール作業面をダル加工して使用されることが多くなり、ダル加工しやすくダルの永続性の長いことが要望されてきた。ダル加工性については同一ショアー硬度であつてもダル粗度に差を生ずることがある。この原因としては Fig. 19 に示したとおり、ロール表面ショアー硬度は残留応力の影響を受けているものでありダル加工の難易に関係のある地の硬さを明確に示しているものではないことによるものと考える。

Table 1 に示したとおり 残留応力の影響を受け難い Hv 硬度とダル加工性とは明らかに関係があり、同一粗度を得るためには Hv 硬度が高いほどインペラー回転数を大にする必要がある。

また D. V. BARNEY, G. C. ROBB<sup>19)</sup> はダル仕上程度が定められている場合、ロールのショアー硬度が高くなるほど、インペラー回転数を増加せねばならないことを述べている。すなわち要求されるロール粗度が rms 110~120 の場合ロールのプラスト装置のローター速度と硬度との関係は Fig. 20 である。さらに両氏は種々試験の結果ダルの永続性は Fig. 21 に示したとおり Hs 91~93 の場合最も良好であり、Fig. 22 に示したとおりペアロール間の粗度の差は少ないほどダルの寿命は長く、また Fig. 23 に示したとおりダル粗度が粗いほどダルの永続

Table 1. Relations between roll hardness and roll roughness.

Roll No	Roll Hardness		Roughness H <sub>max</sub>	Impeller rpm
	Hs	Hv		
A	97	825	24.5 μ	2 150
B	97	840	26.3 μ	2 300
C	97	890	23.6 μ	2 350

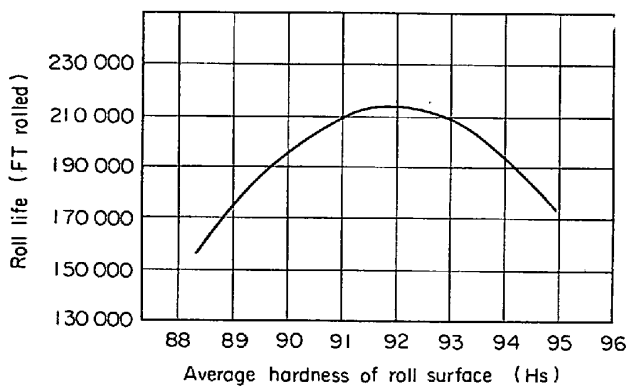


Fig. 21. The effect of roll surface hardness on roll life (D. V. BARNEY and G. C. ROBB).

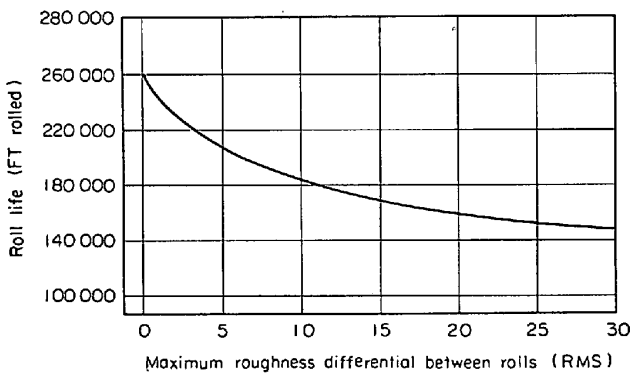


Fig. 22. The relationship of roughness difference between rolls in a set vs. the resulting mill life (D. V. BARNEY and G. C. ROBB).

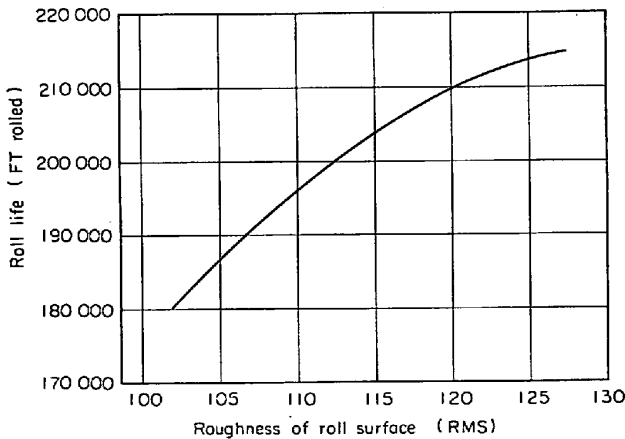


Fig. 23. The relation between roll roughness and roll life. (D. V. BARNEY and G. C. ROBB)

性は長い、製品の要求により制限を受けるうえに高い硬度では十分な粗度が得られないと述べている。ダル加工の程度はロール寿命に影響するとともに板の形状にも影響を及ぼすものであるから広い範囲にわたりダル粗度

を自由に調節しやすいダルの永続性の長いロールの開発が必要であると考える。

## 5. 結 言

コールドストリップ用ロールの寿命に関係の深い耐肌荒性、耐摩耗性、耐クラック性、硬度、硬化層、ダル加工性などについて述べたが、これら要求される諸性能は相互に相反する性質であることも多くあり、さらに経済的、製造技術的な制約もあるために、十分満足できる性能を有するロールの製造には多くの困難がある。しかしながら常に安定した性能のすぐれたロールを使用者に提供することは製造にあたる者の使命である。ロールの性能の改善についてはロールの使用によつて初めてその性能が確認されることが多い。したがって使用者側の理解ある援助、指導、助言が必要であるので、今後とも両者緊密なる関係によりさらにロールの諸性能向上のための努力を続けねばならないと考えている。いつその助言、支援をいただきたい。

## 文 献

- 1) A. V. RUSSELL and S. S. SMITH : JISI, 20 (1936), p. 47
- 2) R. SCHERER : Stahl u. Eisen, 59 (1939) p. 1105
- 3) ASM Metals Handbook, 1948 Edition. p. 59
- 4) F. W. JONES : Steel & Coal, Aug. 24 (1962) p. 154
- 5) 橋本, 東, 松倉: 日曹技報, Vol. 2, p. 79
- 6) 根本, 田野崎: 特許出願公告, 昭 43-4095
- 7) G. F. MELLOY : Blast Furn. Steel Pl., (1964) S. p. 250
- 8) 標, 広瀬, 小沢: 日本特許 523370
- 9) L. NOTHCOTT : Iron Steel Inst., Vol. CXXXIX (1939), p. 297
- 10) 標, 広瀬, 小沢: 日本特許 271592
- 11) A. H. WAIN : JISI, 165 (1950), p. 279
- 12) 川村: 生産技術, 2 (1947), p. 7
- 13) 標, 小沢: 鉄と鋼, 41 (1955), p. 341
- 14) E. C. BAIN : Alloying Elements in steel, ASM (1952)
- 15) W. JELLINGHAUO : Stahl u. Eisen, (1922) p. 429
- 16) 穴沢: 金属材料, 第2巻, 12号 p. 72
- 17) ワシリチェンコ: 製鉄技術総覧別冊, Vol. 2 (1967), p. 395
- 18) ベニヤコスキー, ブトウィルキナ: 製鉄技術総覧別冊, (1967), p. 31
- 19) D. V. BARNEY and G. C. ROBB : Iron Steel Eng., (1969) 7, p. 126