

.....  
**技術報告**  
 .....

## 2 重周波移動式誘導加熱による焼入ロールについて\*

久保慶正\*\*・中野 平\*\*\*・池野雅雄\*\*・林 康代\*\*

### Some Properties of Work Rolls for Cold Rolling Mill, Hardened by Progressive Double Frequencies Induction

Yosimasa KUBO, Taira NAKANO, Masao IKENO, and Yasuhiro HAYASHI

#### Synopsis:

The increment of hardened depth is effective as one of the means for prolonging the life of work rolls for cold rolling. From this point of view, efforts have been made to increase the hardened depth. In the case of induction heating, the depth depends mainly upon its frequencies. Recently, lower frequencies have been applied rather than higher frequencies.

This paper reports some properties of work rolls for cold rolling hardened by progressive induction hardening method using double frequencies of 60 and 1 200 cycles.

(Received Aug. 31, 1970)

#### 1. 緒 言

薄板冷間圧延用ワークロールは、圧延の高速および高荷重に加えて圧延鋼板の美観性が要求されるため、その品質はきわめて高度なものが必要であるが、今後さらにこの傾向は強くなることが考えられると同時に、ロールコストの低減も重要な要素となつてきている。このようなすう勢に対処するためロールメーカーは、それぞれ種々の改善や開発を行なつてきた。その内容はおおまかに分けると、成分、溶製法および焼入前の熱処理、などの素材の問題と、焼入法の2つの要素になる。素材に関しては非金属介在物の少ない清浄な鋼塊ならびに肌荒れの点から、微細な鑄造組織を有する鋼塊の開発により、現在実用上問題のないロール素材が得られているが、最近エレクトロスラグ溶解法を適用し、好結果が得られている。他方焼入法に関しては、当初の1 200 Hzの中周波移動式誘導加熱法による焼入ロールを種々調査し、その後新しく60 Hzと、1 200 Hzの相異なる2つの周波数による誘導加熱を組み合わせた2重周波移動式誘導加熱焼入ロールを開発し製造してきた。

ここでは2重周波移動式加熱焼入ロールの諸性質およびエレクトロスラグ溶解材のロールへの適用、などを主に紹介し参考に供したい。

#### 2. 装置および焼入法

焼入機および焼入作業中の外観を Photo. 1 に、焼入

機の主要装置および容量を Table 1 に示す。焼入は Fig. 1 に示すように、上段の低周波誘導コイルで加熱された後、下段の中周波誘導コイルによつて焼入温度および温度分布を調整し、ロールは回転させながら漸次下段の中周波コイル直下で、強烈な噴水焼入を行なつたのち、下方の水冷タンク内に降下し、完全に内部まで冷却される。

移動式誘導加熱焼入法に対して、全体を均一に加熱後焼入を行なう全体加熱焼入法、および全体の表面のみを一時的に誘導加熱後焼入する定置式誘導加熱焼入法りの比較の概略を Fig. 2 に示す。誘導加熱焼入法の定置式の場合には移動式に比べて必要な水量、水圧および電気容量がきわめて大きくなり、ロールの焼入れによる品質は、加熱時間その他の条件から、全体加熱焼入法と、移動式誘導加熱焼入法の間間的なものと思われる。

#### 3. 焼入ロールの品質について

冷間圧延用ワークロールに要求される性質は、深い硬化深度、耐肌荒れ性、耐摩耗性、耐スポーリング性ならびに、衝撃荷重や熱衝撃に耐える強さ、などである。他方製作上は、焼割れに対する安定性、製品品質の安定性、製作費の低廉さが必要である。

以上の諸問題に対して、2重周波移動式誘導焼入ロー

\* 昭和45年8月31日受付

\*\* (株)神戸製鋼所鑄鍛鋼本部

\*\*\* (株)神戸製鋼所中央研究所

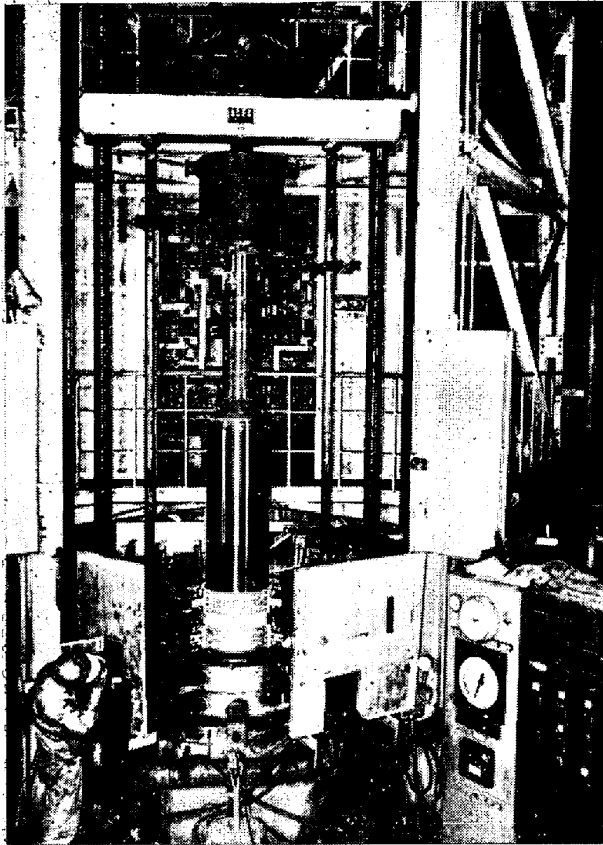


Photo. 1. Apparatus of progressive induction hardening of rolls for 60-1 200 Hz/sec frequencies.

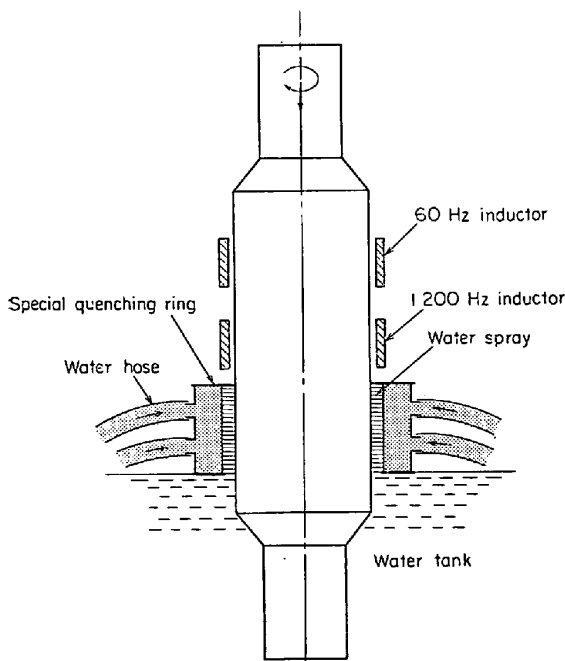


Fig. 1. Schematic illustration of the method of progressive induction hardening with the frequency of 60-1 200 Hz/sec.

Table 1. Specification of 60-1 200 Hz/sec progressive induction hardening equipment.

○ Heating apparatus	
60 Hz/sec inductor :	1 000KVA
1 200 Hz/sec inductor :	600KVA
○ Capacity of quenching apparatus	
Diameter :	850 mm max.
Total length :	6 000 mm max.
Weight :	15 t max.
Rotation rate :	8-50 rpm
Traveling rate :	0-2mm/sec

ルの特色, ならびに製作上留意すべき点について述べてみたい。

### 3-1 硬化深度

冷間圧延用ワークロールの硬化深度の増大は, 再焼入れ回数の減少, あるいは新製から最終径までの有効使用径を大きくすることによつて, ロールの原単価の低減にきわめて重要な意味をもっており, 近年しだいに硬化深度は増大する傾向を示している。

全体加熱焼入法では, 硬化深度は焼入性の大きな材料であれば, いくらでも大きくすることは理論的には容易であるが, 実際の製作に当たつては種々の制約がある。

その制約の第一は, 焼割れの問題である。冷間圧延用ワークロールは, きわめて高い硬さが要求されるために強烈な水焼入れが行なわれ, マルテンパー, マルクエンチなどの焼割れ防止法が適用できないことから, 焼割れが起こりやすく, 焼入性が大きくなるとその傾向は大きくなる。したがつて中心孔からの冷却をも行なつて焼割れを防止しているのが実状のようである。これに対して移動式誘導加熱焼入の場合には発生する内部応力が小さく, 焼割れに対してははるかに安全な焼入法といえる。

硬化深度の増大に対する第二の制約は, 全体加熱焼入法では焼入れは冷却能が無限大に近い強烈な水焼入れが行なわれているため, 冷却速度をさらに大きくすることは不可能で, 必然焼入性の大きな鋼種を使用しなければならないが, この場合, 硬化深度以外のロール性能との関係についても十分な試験が必要である。他方, 中周波移動式誘導加熱焼入法では表面加熱であるため, 焼入時の外周部加熱層の冷却速度が大きく, かつ内部応力が小さいため焼割れ防止の面で利点があるが<sup>2)</sup>, 焼入硬化に必要な加熱層が浅いという制約がある。2重周波移動式誘導加熱焼入法は中周波にくらべて焼入硬化に必要な加熱層を深くし, かつ全体加熱焼入にくらべて加熱層の冷却速度を大きくできる点から, 従来の鋼種を用いて硬化深度の増大を意図したものである。Fig. 3は中周波移動式誘

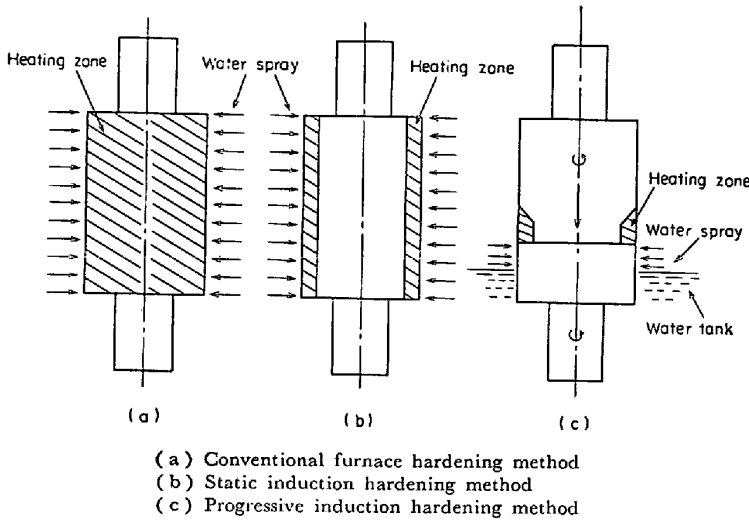


Fig. 2. Schematic illustrations of various hardening methods of cold work rolls.

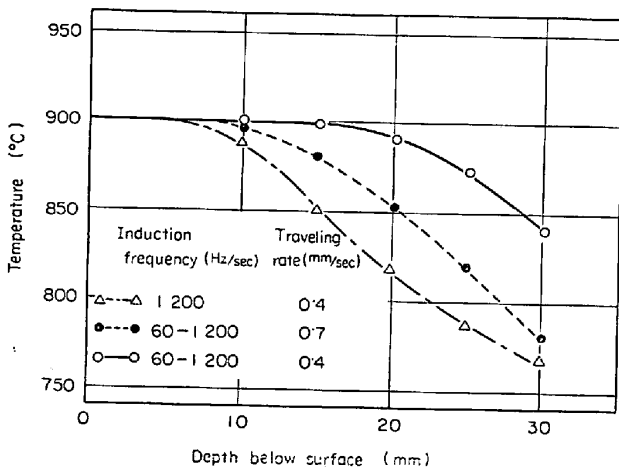


Fig. 3. Some examples of temperature distribution below roll surface with 1200 Hz/sec and 60-1200 Hz/sec progressive induction heating for hardened roll. (roll diameter : 450 mm)

導加熱焼入法 (中周波焼入法) と 2 重周波移動式誘導加熱焼入法 (2 重周波焼入法) の表面から内部へかけての温度分布の実測値を示したものであり, Fig. 4(a) は 1 例として表面下 10 mm の冷却速度を比較したもので, 2 重周波の場合も降下速度の影響は小さく, 中周波にくらべて各点の冷却速度はあまり差がない. 他方, 全体加熱焼入法との比較の参考として, 無孔円柱を全体均一加熱後, 全体焼入したときの表面下各深さの冷却曲線を Newton の式を用いて計算したものを Fig. 4(b) に示した. ただしここでは冷却能無限大の焼入と仮定し, 鋼材の熱伝導率は  $0.8\%C$  で温度による変化<sup>9)</sup> も加えて計算したものである. 実際の全体加熱焼入では中心孔をもうけて冷却されているが, この場合でも外層部では十分水冷

効果がきいているため, 中心孔冷却の影響は外層部にはあまり現われないといわれている.

Fig. 4(b) より冷却速度に関してはロール表面に近い部分ではむしろ計算によつて求めた全体加熱焼入法が大きい, より深くなると 2 重周波焼入法が大きいことを示唆している. しかしながら 2 重周波焼入法でのロール本体では表面の焼入性を同じにしたとき, 全体加熱とことなり, Fig. 3 に示したように内部にゆくにつれて加熱温度が低く, 当然内部ほど焼入性が全体加熱にくらべて小さくなるので冷却速度の比較だけでは硬化深度の比較はできない. 焼入性と冷却速度の 2 つを加味して全体加熱焼入法による焼入性と硬化深度の関係を Fig. 4 の冷却速度とジョミニー焼入試験における焼入端からの

各距離における冷却速度とその点の硬度の関係をを用いてロールの硬化深度を推定したものと, 2 重周波焼入法による硬化深度の実測値を Fig. 5 に示す. ここで硬化深

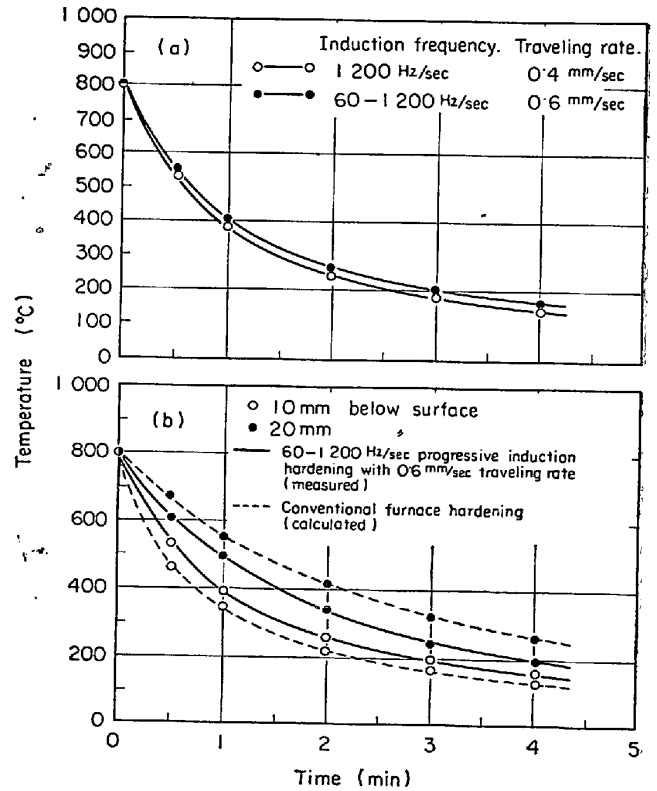


Fig. 4(a) Comparison of cooling curves with 1200 Hz/sec and 60-1200 Hz/sec progressive induction hardening. (measured at the point of 10 mm below surface for 450 mm diameter roll)

Fig. 4(b) Some cooling curves for conventional furnace hardening and progressive induction hardening in various depths below surface. (roll diameter : 450 mm)

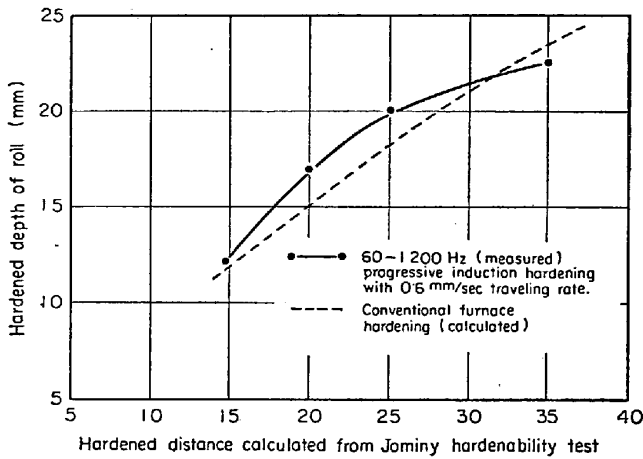


Fig. 5. Relation between hardenabilities and hardened depth of roll (450 mm φ).

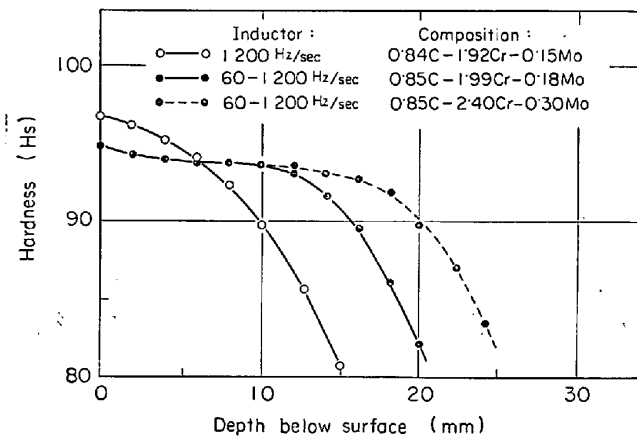


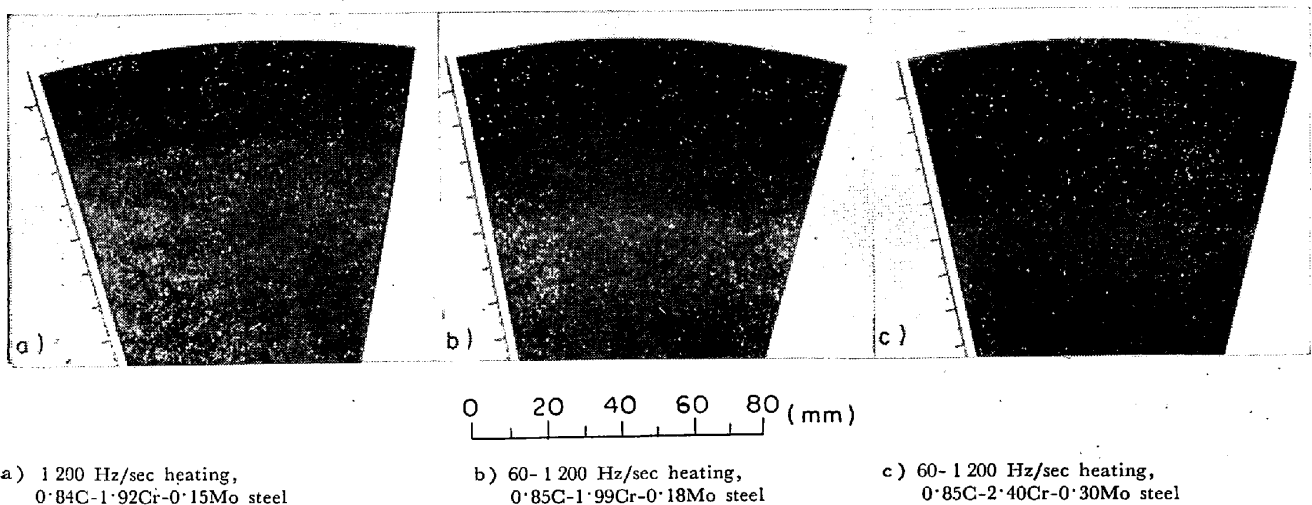
Fig. 6. Some hardening curves for 1200 Hz/sec and 60-1200 Hz/sec progressive induction hardening. (roll diameter : 450 mm, travelling rate : 0.5mm/sec, tempering : 140°C × 48hr)

度の基準としてロックウェル C 60 までの硬化深さとした。さらに2重周波焼入ロールの焼入性は実際のロール表面の加熱条件で別に行なつたジョミニー焼入性試験の結果を用い、その焼入性は鋼種を変化させて変え、加熱温度および降下速度はそれぞれ 900°C, 0.6 mm/secである。このほか表面の焼入性を同じにしてもロール降下速度の変化によって硬化深度は変わるが、硬化層の焼入組織との関係でロール降下速度を小さくすると加熱時間が長くなり、当然焼入温度を下げるの必要があり、加熱温度と降下速度は鋼種によってそれぞれ決定する必要がある。

Fig. 6 に焼入性の異なる2つの鋼種について、降下速度 0.5 mm/sec で焼入後 140°C × 48hr 焼戻した試験ロールの硬化深度曲線を、Photo. 2 に横断面マクロ組織を示す。

### 3.2 肌荒れおよび摩耗

誘導加熱では、その加熱深さは一般にパワー、加熱時間および周波数によって決まる。硬化深度の増大をはかるためには中周波焼入では加熱温度を高くしなければならず、加熱時間が短かいために温度調整に高度の技術を要し、たとえば過熱された場合には焼入組織中の残留炭化物の減少、残留オーステナイトの増加などにより耐摩耗性および耐肌荒れ性に問題が起こりやすいと思われる。これに対して低周波を用いると、表面温度を高くしなくても深く加熱できることから、加熱に伴う残留炭化物の減少、および残留オーステナイトの増大などは中周波の場合に比べて起こりにくくなる。しかしながらこの場合も全体加熱焼入法に比べて加熱時間が短いため、加熱温度は高目であり、かつ焼入層各深さの加熱温度も均一でないので、焼入層内のすべての組織の均一化に対して全体加熱焼入法に比べてより配慮が必要である。すな



a) 1200 Hz/sec heating, 0.84C-1.92Cr-0.15Mo steel

b) 60-1200 Hz/sec heating, 0.85C-1.99Cr-0.18Mo steel

c) 60-1200 Hz/sec heating, 0.85C-2.40Cr-0.30Mo steel

Photo. 2. Macro structures of cross section of hardened rolls for 1200 Hz/sec and 60-1200 Hz/sec progressive induction hardening.

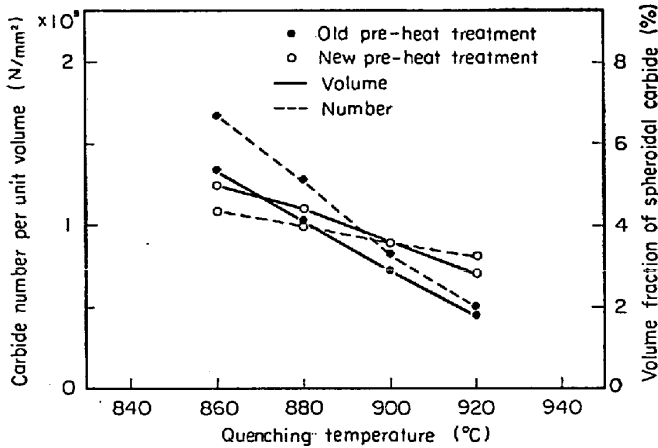


Fig. 7. Effect of pre-heat treatment and quenching temperature on distribution of residual carbide in quenched structure (steel composition: 0.85C-1.99Cr-0.18Mo).

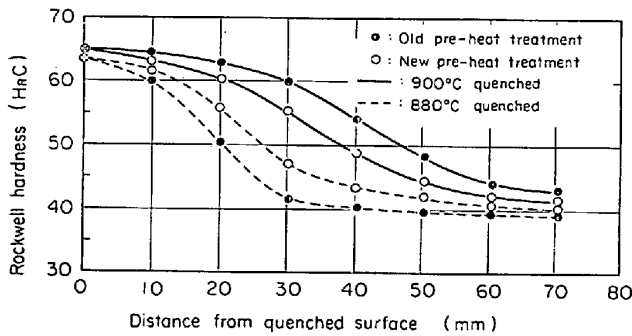


Fig. 8. Effect of pre-heat treatment and quenching temperature on hardenability of specimens taken from test rolls (steel composition: 0.85C-1.99Cr-0.18Mo).

わち短時間加熱で基地中の残留炭化物の量が加熱温度によつてできるだけ変化が小さいことが望ましい。このような条件に近づけるため焼入前の球状化、および調質処理について試験を行ない<sup>6)~9)</sup>、Fig. 7 および Fig. 8 に示すような結果がえられることを見出した。すなわち Fig. 7 に短時間加熱焼入後の基地中残留炭化物の量におよぼす焼入温度、および前処理の影響を、Fig. 8 に硬化能におよぼす前処理、および焼入温度の影響を示す。図中 Old-pre-heat treatment (図中●印で示す) は打上焼鈍後、 $A_{c3}$  直上に加熱後徐冷し (球状化処理)  $830^{\circ}\text{C}$  で焼入焼もどし (調質処理) を行なうものであるのに対して、現在適用している方法 (図中○印で示す) は打上焼鈍後、 $A_{c1}$ ~ $A_{c3}$  間で長時間加熱後、 $A_{c3}$  直上と  $A_{c1}$  直下の適当な温度で繰り返し加熱冷却を行なったもの (球状化処理)、従来より高い温度 ( $850^{\circ}\text{C}$ ) で全体加熱焼入焼もどしを行なうものである。この方法によれば、焼入硬化に必要な外周部の組織は、安定な球状炭化物と焼もどしマルテンサイトになつているため、その後焼入時の短時間

加熱でも容易に大きい焼入性がえられると同時に、基地中の球状炭化物は加熱温度によつてそれほど大きく変わらない。2重周波焼入ロールでも摩耗にともなう肌荒れについては全体焼入ロールとなら差がない。Photo. 3 に試験ロールの焼入組織を示す。

耐肌荒れ性は焼入条件以外に素材の品質にも大きく支配され、各ロールメーカーはそれぞれ独自の方策を講じているが、その1つとして、エレクトロスラグ溶解法を適用するとデンドライトの微細化、合金成分の均一化に有効である。エレクトロスラグ溶解法の詳細についてはすでに報告してあるので省略するが<sup>10)</sup>、Photo. 4 にロール断面のマクロ組織を真空鑄造材と比較して示す。本ロールの特長は、柱状晶が十分内部まで発達し、かつ微細であるため新製ロールはもちろん、再焼入ロールでも耐肌荒れ性が従来の真空鑄造材に比べてすぐれている点にあると考えられる。

### 3.3 耐クラック性

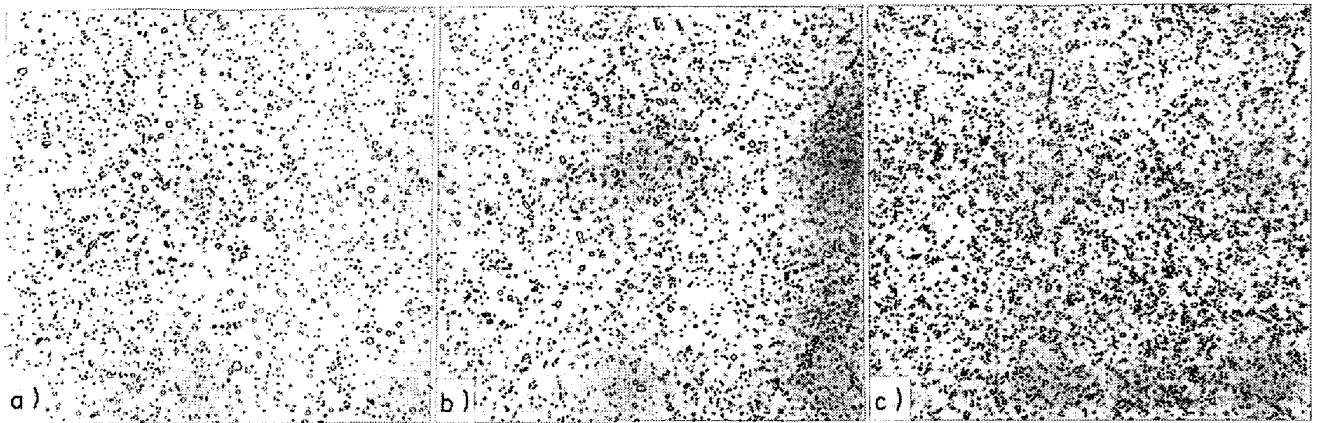
冷間圧延用ワークロールでは、焼割れ、中心孔からの疲労クラック、硬化層からの疲労クラック、および絞り込みなどの異常負荷と熱衝撃によるクラックの発生によつて、廃却あるいは有効径の大部分が消耗されることがある。

#### 3.3.1 焼割れおよび中心孔からのクラック発生

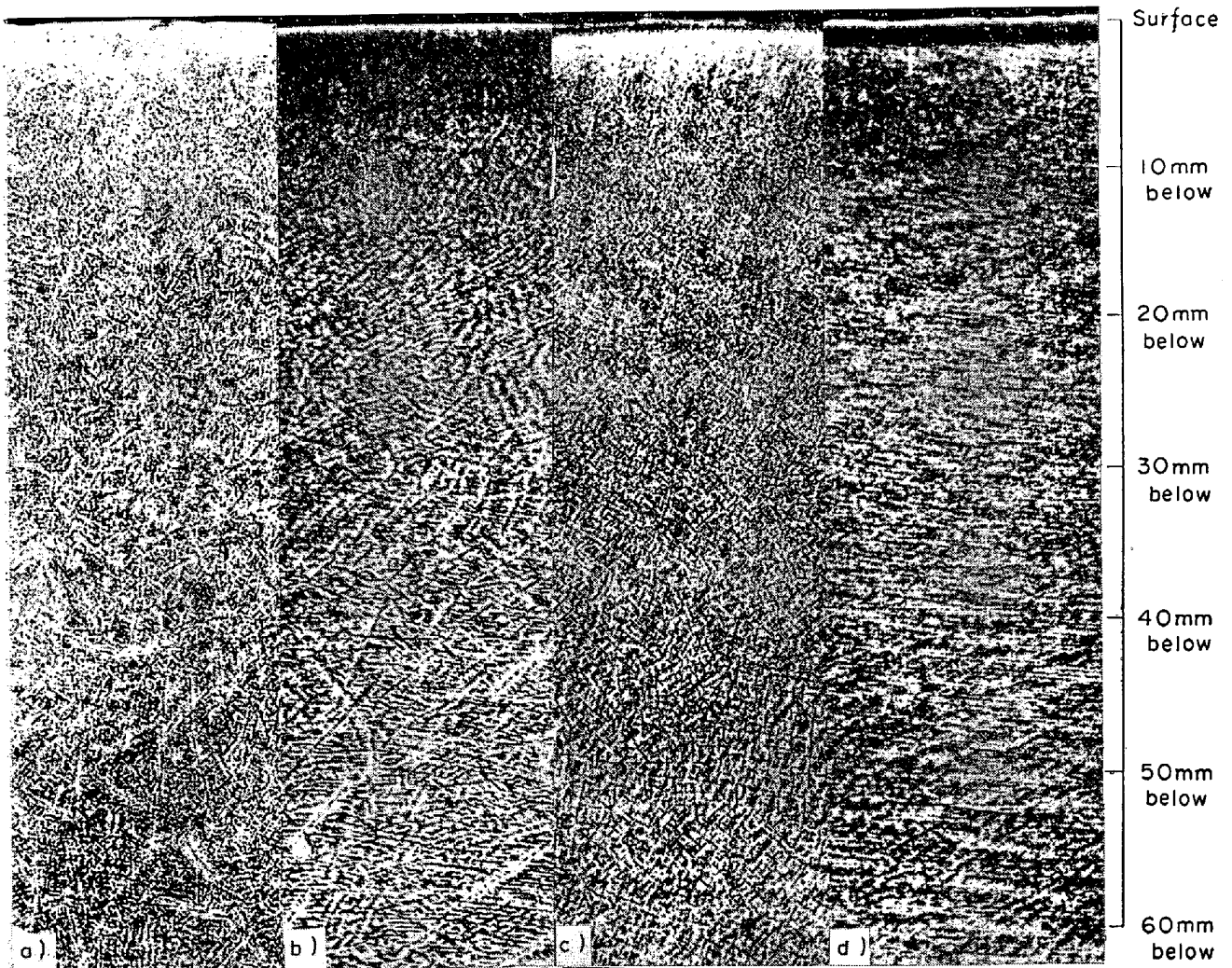
全体加熱焼入法では、内部に大きな引張応力が生成するため、中心孔をあけて内外同時に焼入を行ない引張応力を軽減することにより焼割れを防止しているようである<sup>11)</sup>。このような焼入法でも、硬化深度が深くなるほど焼割れに対して注意が必要となる。これに対して、移動式誘導加熱焼入法では、内部の引張応力が小さいので焼割れについて考慮する必要がなく、したがって中心孔はあけていないが、過去内部クラックによる事故をまったく経験していない。

#### 3.3.2 表面の疲労クラック

正常な圧延条件にもかかわらず、ロール表面にクラックが発生することがある。そのもつとも代表的なものがスポーリング、またはチルはげと呼ばれるものである。この種のクラックは普通、疲労破面を呈することが多い。この疲労クラックは、圧延荷重、ロールの温度変化による熱応力、ならびにロールに内在する残留応力の3つの応力によつて生ずるものと考えられている<sup>12)</sup>。したがってロール品質上からは疲労強度を高めることが必要で、とくに応力が集中しやすい非金属介在物などの少ない清浄な素材を用いることが必要である。このような意味から従来の真空鑄造材よりもエレクトロスラグ溶解材はさらにすぐれた素材といえるわけで、Table 2 に示す



a) Surface                      b) 10mm below surface                      c) 15mm below surface                      ×400 (5/6)  
 Photo. 3. Micro structures of variable positions of 60-1 200 Hz/sec induction hardened roll (0.850-1.99Cr-0.18Mo).



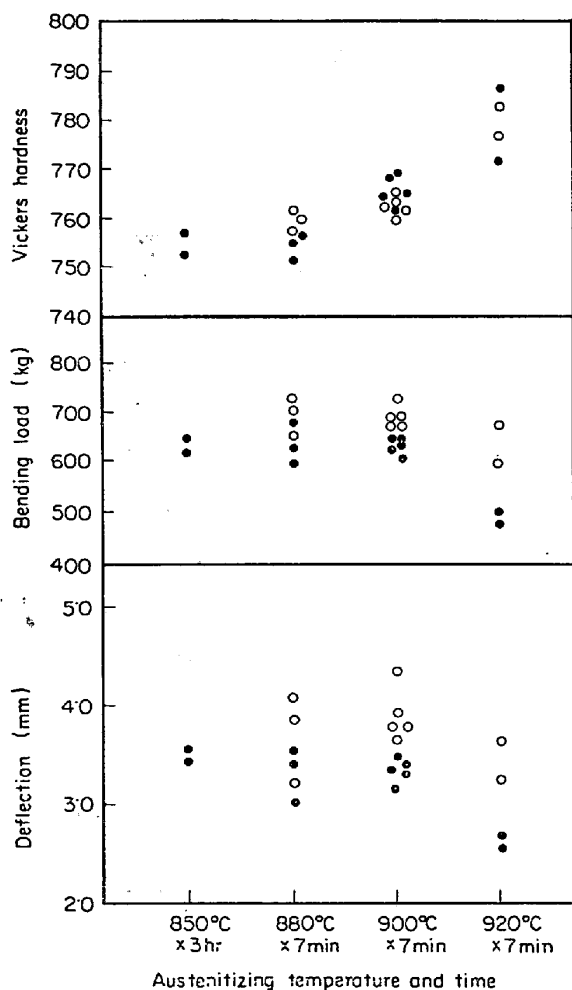
a), b) 450mm, dia. roll forged from 840mm dia. vacuum casted conventional ingot  
 c), d) 450mm, dia. roll forged from 740mm dia. electro slag remelted ingot  
 a), c) Cross section  
 b), d) Longitudinal section

Photo. 4. Macro structures for vacuum casted conventional roll and electro slag remelted roll.

Table 2. Comparison of oxide inclusion and cleanness in the cold work rolls.

Ingot making	Oxide inclusion (ppm)						Cleanness (%) (d60×400)		
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	ΣSand	Sulfide	Oxide	Total
Vacuum casting	27	14	14	7	—	62	0.058	0.029	0.067
Electro slag remelting	16	10	9	8	—	43	0.008	0.017	0.025

Note: Experimental charge number: 5 charges  
Steel composition: (0.8~0.9) C-(1.8~2.4) Cr-(0.1~0.4) Mo



- Vacuum casted roll specimen (Steel composition: 0.85C-1.99Cr-0.18Mo)
- Electro slag remelted roll specimen (Steel composition: 0.86C-2.0Cr-0.19Mo)

Fig. 9. Effect of austenitizing on bending properties of hardened subzero treated and 160°C tempered specimen of roll material. (Bending test were carried out by the three point loading with the supporting distance of 80 mm with 5×10×100 mm specimen)

ように含有するガス、サンドおよび非金属介在物の量が真空鑄造材よりも非常に少ない。

このほか、焼入条件および焼もどし条件によつても影

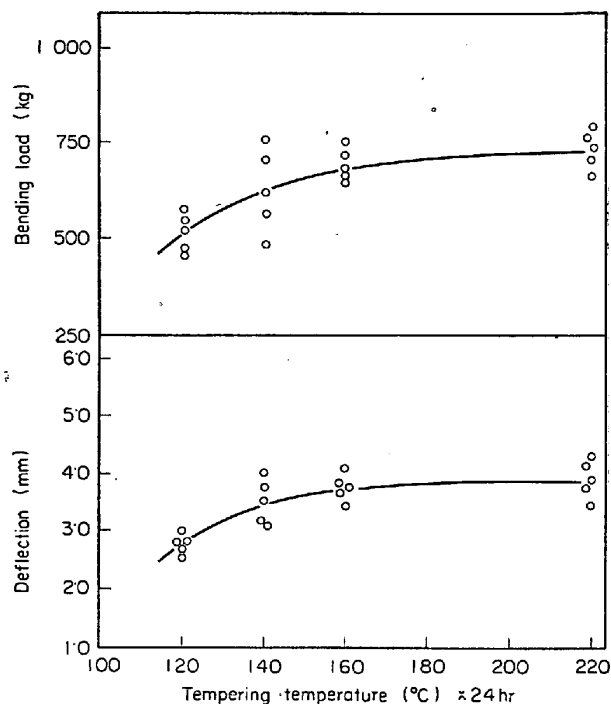
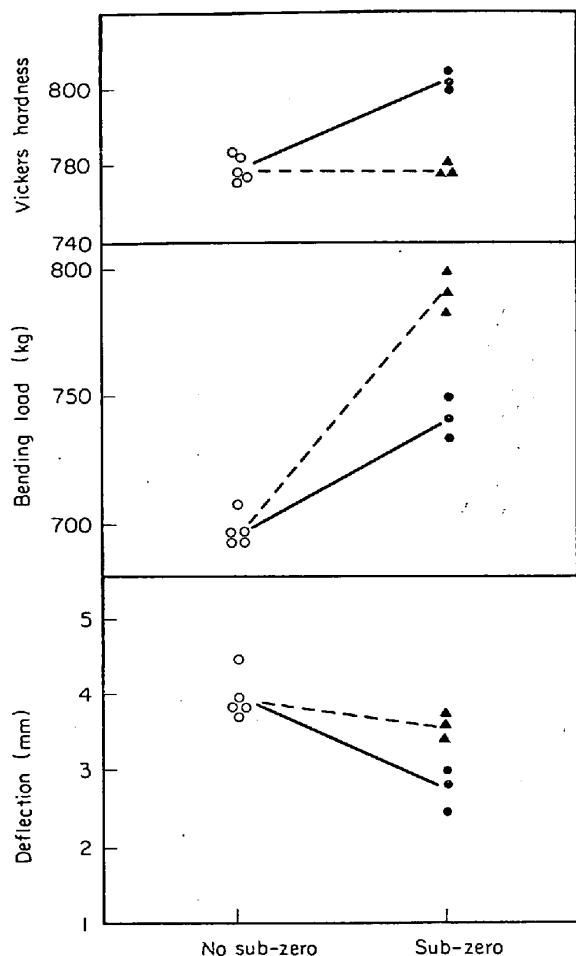


Fig. 10. Effect of tempering temperature on bending properties of cold work roll material. (Steel composition: 0.85C-1.99Cr-0.18Mo) Quenching condition: 900°C×7 min oil quenched. The method of bending test is the same as shown in Fig. 9.

響されると考えられる。Fig. 9は2重周波焼入法と同じ加熱条件で、加熱温度のみ変えて、焼入れした試験片の抗折力、およびたわみの変化を示したもので、真空鑄造材もエレクトロスラグ溶解材も、強度とじん性の両者を考えたとき、900°Cで最大となり、920°Cになると劣化する。この傾向は全体加熱焼入法のように加熱時間が長い場合<sup>12)</sup>とはやや異なり、最大強度とじん性を示す温度が高温側に移行している。

焼戻し温度に関しては、冷間圧延ロールのようにショアー硬さ90~100のきわめて高い硬度で使用されるものでは、焼戻し温度を高めにして硬度を低めにした場合、耐クラック性が増大することが認められるが、Fig. 10



○ No sub-zero treatment, 150°C×48hr tempered  
 ● Sub-zero treatment, 150°C×48hr tempered  
 ▲ Sub-zero treatment, 170°C×48hr tempered  
 Quenching treatment: 900°C×7min, Oil quenched  
 Steel composition: 0.85C-1.99Cr-0.18Mo

Fig. 11. Influence of sub-zero treatment on fracture properties of roll material with bending test. The method of bending test is the same as shown in Fig. 9.

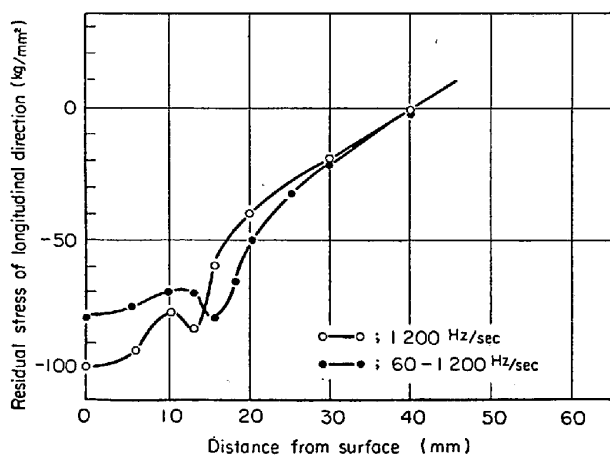


Fig. 12. An example of the distribution of residual stress in induction hardened roll.

に示すように焼戻し温度の上昇につれて強さ、じん性とも向上することが示される。他方、残留オーステナイトの影響については、軸受鋼の疲れ試験では疲れ強さを低下させるといわれているがロールの場合は明らかではないと考えられる。抗折試験では Fig. 11 に示すようにサブゼロ処理を行なって残留オーステナイトを減少させると、強さは低下しないがじん性は減少する。しかしながら焼戻し温度を高くして硬度レベルを同じにして比較すると強さ、じん性とも向上する。このような焼入層の材質的因子以外に、実体ロールにおいては、内在する残留応力も重要な因子と考えられる。すなわち圧延荷重によってロールに働く主応力は圧縮応力であり、ロールの残留応力も焼入層も普通圧縮応力であるためこの両者が加算される。したがってロールの残留応力は小さいほうが望ましいと考えられる。従来耐スポーリング性を目的に焼戻し温度を高目にする例は多く見られる。これは前述のように材質的に強度およびじん性の向上も期待されるが残留応力の減少も影響していると考えられる。他の例として、従来中周波焼入ロールでスポーリングが多発する圧延機に2重周波焼入ロールを適用してまったくスポーリングが防止された。これら両者のロールの焼入組織、焼戻し温度は同じであることから、材質的な因子の変化とは考えられず、残留応力を比較したところ Fig. 12 に示すように2重周波焼入ロールが約 20 kg/mm<sup>2</sup> 圧縮残留応力が小さかった。

### 3.3.3 圧延ミスによるクラック

圧延中の絞り込みなどの事故によるロールの損傷は、現在もきわめて多く、ロール品質面からこの損傷の程度を小さくすることが強く望まれているが、事故の大きさが定量的に判断できないこと、損傷の程度を支配すると考えられる因子が多く、かつ複雑なことから実用面で明確な成果がえられにくいのが現状である。

絞り込み事故での例では、損傷内容として、焼もどしを受けた部分だけで被害がとどまる場合があり、これに対しては、焼もどし軟化抵抗を高める鋼種の開発、および焼入後の焼もどし温度を高目にするのが効果的と考えられる。しかしながら、一般に事故が大きくなると、Fig. 13 に示すように、クラックが焼もどし軟化を受けた領域より内部の正常な硬化深さまで進行することが多い。

従来から経験的に焼もどし温度を高くすると、損傷が軽いといわれているが、これは硬化層が熱影響に対して安定化していることが主因であるのか、あるいは材料の強さや、残留応力の減少が影響しているのかは明らかでない。われわれは、これら3つの因子を同時に考慮して、



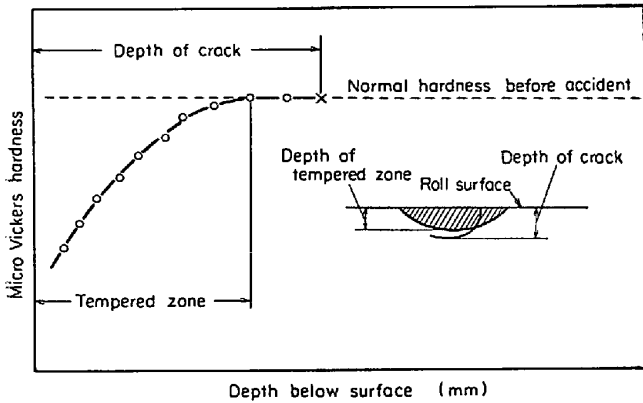


Fig. 13. Schematic model indicating relation between tempered zone and crack depth.

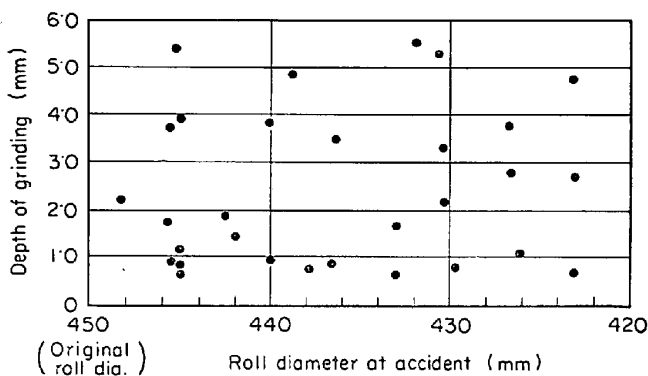


Fig. 14. Distribution of surface damage depth due to rolling accidents at various diameters of rolls, omitted the 135 points of depth of grinding smaller than 0.5 mm from this figure.

焼もどし温度をできるだけ高目にするを意図して、硬さ低下を軽減するために十分低い温度でサブゼロ処理を行なった後、焼もどしを行なっている。この点、2重周波焼入ロールでは、焼入後十分低い温度でサブゼロを行なっても割れに対してなんら制約されない利点がある。このようなサブゼロ処理を行なった場合、材料の強さが低下することは好ましくないが、前に示したように、焼もどし硬さを同じレベルにすれば、とくに問題ないと考えている。

ロール硬化層の残留応力に関しては、小さいほうが損傷は軽いだろうといわれているが<sup>13), 14)</sup>、実体ロールで、どの程度の効果をもつものか明らかでない。同じ条件で製作したロールでも、使用径の減少につれて表面および内部の応力分布が変わってくるので、残留応力が大きな影響をもつ場合、損傷の程度が変化することが予想される。この関係を調べるためには、事故の程度を定量的に決定して、そのときのクラック深さの変化との関係でみなければならぬが、実際使用中の事故程度の判定は現

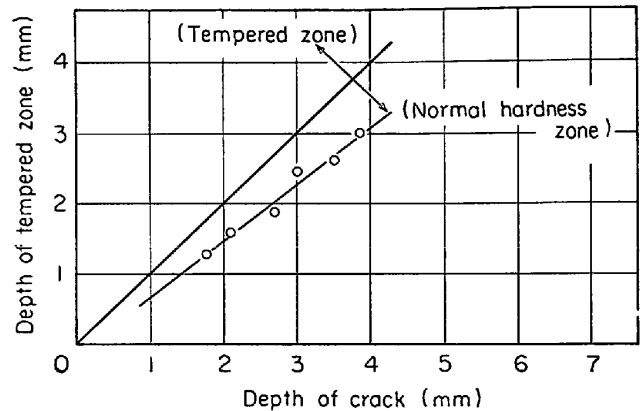


Fig. 15. Relation between depth of tempered zone and crack depth.

在困難なので、ここでは事故程度は不明であるが、事故時のロール径と、そのときの事故による被害損傷研削量との関係を、同じ製作条件の12本のロールを同じ圧延機で使用し146回の事故のうち研削量が1 mm  $\phi$  以上のものについて調べた結果を Fig. 14 に示した。この図からは事故発生時のロール径と、その損傷深さの間にはとくに相関関係は見い出されていない。これには対象となつたロールの残留応力の変化がまえに示すように小さいため残留応力の影響を調べるのに適当でないことと、データ数が十分でないことも原因と考えられる。ロール自身のこのような耐事故性については、事故の程度を定量的に評価する方法を確立する必要があるが、われわれはその一例として、被害部の硬さ変化を測定し、軟化深さ(焼もどし熱影響部)とクラック深さの関係を調べてみた。その結果を Fig. 15 に示すが、このようなデータを、さらに事故時のロール径の因子も加えて集積すると、残留応力分布の影響、ならびに全使用径を通じたロールの耐事故性の評価が可能になることも考えられる。

#### 4. 結 言

低周波と中周波を同時に組合せた2重周波移動式誘導加熱焼入ロール、ならびにエレクトロスラグ溶解材のロールへの適用、およびサブゼロ処理の影響について説明した。それを要約すると、

1) 2重周波移動式誘導加熱焼入法は、他の焼入法に比べて操作が単純で再現性にすぐれ、しかも深い硬化深度が得られる。また残留応力分布の形態から焼割れの危険性がなく、中心孔も不要である。

2) 肌荒れ、摩耗に関しては本焼入法による劣化はなく、また正常圧延のもとではチルはげ、スポーリングはこれまで経験していない。

3) サブゼロ処理の適用は1)に述べたことから本焼

入法には問題がなく、高い焼もどし温度の採用が可能であり、それに伴って高強度高じん性が得られ、したがって事故発生時の熱衝撃に対して効果があるものと考えられる。

4) エレクトロスラグ溶解材は、マクロ組織の微細化、清浄度の向上などにより、耐肌荒れ性あるいは種々のクラック発生に対する抵抗性が優れていることが示唆される。

今後さらに硬化深度の増大、圧延条件の苛酷化、さらには耐事故損傷性の評価法の確立とその向上などに対して、現在の2重周波移動式誘導加熱焼入法の改良あるいは、新しいロール製造方法の開発が必要となろう。

#### 文 献

- 1) R. E. JENNINGS: Metal Prog., 94 (1968) 1, p. 71
- 2) 阪部: 鉄と鋼, 53 (1967) 6, p. 625
- 3) BISRA: Physical constants of some commercial

steels at elevated temperature

- 4) 武市, 宇和野: 日立評論, 24 (昭33. 7) p. 44
- 5) F. WEVER and A. ROSE: Atlas Zur Wärmebehandlung der Stähle (1958) p. 22
- 6) 中野, 後藤, 林: 鉄と鋼, 54 (1968) 3, p. 223
- 7) 中野, 後藤, 林, 川谷: 鉄と鋼, 54 (1968) 10, p. 182
- 8) 中野, 後藤, 川谷, 落田, 井手: 鉄と鋼, 55 (1969) 3, p. 203
- 9) 中野, 後藤, 川谷, 落田, 井手: 鉄と鋼, 55 (1969) 11, p. 264
- 10) 成田: 鉄と鋼, 52 (1966) 13, p. 1890
- 11) P. I. POLUKHEN, Yu. D. ZHELE, G. G. GRIGORGAN, A. V. RYZHOV, V. A. NIKOLAEV, and L. A. KOSTYNCHENKOVA: Stal, (1964) 4, p. 285
- 12) 下田, 荒木田, 堀, 工藤: 鉄と鋼, 52 (1966) 1, p. 28
- 13) 渡辺, 岡本, 仕幸: 鉄と鋼, 54 (1968) 3, p. 226
- 14) 佐藤, 竹内, 三浦, 坂下: 塑性と加工, 10 (1969) 101, p. 410