

t s u k u r u

[創る]

No.3

Fujico Technical Report 1995



表紙のことは

tsukuru [創る]

創意工夫による複合技術でトータルエンジニアリングを目指す
弊社の理念を「創る」という、物づくりの原点で表現しました。
表紙タイトルバックをギャラリーとして位置づけし、北九州市
の産業基盤や文化的側面を反映するような創作活動を行っている
人たちの「創る」行為をとりあげて『創造的な技術開発』と
いう弊社からのメッセージにかえるものです。

表紙の作品は、ニューヨーク在住の彫刻家：篠原有司男氏の、
[兎と蛙の乗ったケンタウルス鉄鋼モーターサイクル]で、第2
回国際鉄鋼彫刻シンポジウム-北九州'93で製作された鉄鋼彫刻
です。実際の製作過程で、弊社の特殊溶接技術が用いられ、産
業技術と芸術表現が融合した作品として全国で注目を集めてい
ます。

作者紹介

篠原有司男 Ushio Shinohara [彫刻家] 1932年生まれ
1960年前後日本の前衛美術運動に深く関わり、読売アンデパン
ダン展を舞台に派手なアクションで一世を風靡した日本を代表
する前衛美術家のひとり。'69年からニューヨークに在住し、一
連のオートバイ作品はパワフルでエネルギーにみちた作品とし
て有名である。

参考資料/「ザ・リサイクル」第2回国際鉄鋼彫刻シンポジウム-北九州'93より

Photograph : Yuji Shinomiya

目 次

巻頭言	・フジコー技報のさらなる発展を願って! 住友金属工業(株) 社長 中村 爲昭	1
随 想	・今どきの年寄り 九州工業大学物質工学科 教授 岸武 勝彦	3
技術論文	・WC - Co 溶射皮膜の密着性とその冶金的検討 加藤 治、尾崎 健一、洲崎 真二、吉村 武憲	5
	・連続注入クラッド法による熱延仕上後段ワークロールの製造と使用結果 坂本 眞一、玉川 進、斉藤 弘道、津田 篤信、山本 厚生	10
	・連続注入クラッド法による冷延ワークロールの製造と使用結果 坂本 眞一、斉藤 弘道、津田 篤信	15
	・X線回析法による冷延ハイスロールの表面疲労層の測定 光成 俊一、広常 公明、斉藤 弘道	21
	・熱延搬送ローラ材の材質特性 李 平、坂本 眞一、斉藤 弘道	26
技術解説	・金属材料の焼付き現象 加藤 治	34
調査報告	・鑄造複合ライナーの使用成績 木下 利哉、立花 隆	39
フジコーオリジナルルーツ 技術の紹介	・鑄掛け肉盛技術 野田 茂実	43
新製品, 新技術	・熱延ストリップ工場仕上ミルサイドガイド縦ローラ	47
	・棒鋼ミル用スリーブロール	49
全社組織		51
工場、事業所 所在地		52

C O N T E N T S

Foreword	Tameaki Nakamura	1
Memoir	Katsuhiko Kishitake	3
Technical Paper	<ul style="list-style-type: none"> • Adhesive Property of Thermal Sprayed Coating of Tungsten Carbides-Cobalt and its Metallurgical Consideration 5 • Production Process and Application Result of C.P.C Work Rolls in Rear Stands of Hot Strip Finishing Mill 10 • Result of Production and Application for Cold Strip Mill Work Roll by Continuous Pouring Process for Cladding 15 • Measurement of Surface Fatigue in High Speed Steel Roll for Cold Strip Mill by X-Ray Diffraction Method 21 • Material Characteristics of Run-out Table Rollers for Hot Strip Mill 26 	
Commentary	• Scoring Phenomena of Metals	34
Technical Report	• Application Results of Composite Cast Liner	39
Original Technology in FUJICO	• Technology of Special Cast Welding	43
New Products, New Technology	<ul style="list-style-type: none"> • Vertical Side Guide Roller for Finishing Stand of Hot Strip Mill 47 • C.P.C Sleeve Rolls of Shrink Fitting for Bar Mill 49 	
Organization		51
Address		52

フジコー技報—Tukuru No.3 平成7年10月1日発行

発行人 山本 圭太郎
発行所 株式会社 フジコー
技術開発部 事務局
〒804 北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
Tel.093(871)3724 Fax.093(884)0009
印刷所 株式会社サンフジ
〒804 北九州市戸畑区中原2丁目18-12



シンボルマークは、富士山の形とフジコーのFをデザイン化したものです。小ブロックが右上がりにHOP、STEP、JUMPと飛躍、拡大していく状態を表現しております。

巻頭言

フジコー技報のさらなる発展を願って！

住友金属工業(株) 社長

中村 爲昭

Tameaki Nakamura



今から42年前の、1953年12月に、当社小倉製鉄所内に富士工業所小倉事業所を開設されたのが(株)フジコーとのお付き合いの始まりである。その後、1968年には和歌山製鉄所内に、1972年には鹿島製鉄所内に事業所を開設され、(株)フジコーとの関係は、益々深まり、今日に至っている。

就中、小倉製鉄所では、チルドロールネックの亀裂修理、鋳型、鍋修理、鋼片疵取り、に始まり高炉、製鋼、圧延、…他各工場の改修工事、据付け工事へと事業を拡大され、最近ではステンレス棒鋼の機械加工や試験作業のような職種までお世話になっている。まさにフジコーさん無しでは鉄鋼生産が成り立たないと云っても過言ではない。

(株)フジコーの発展の流れを、技術面から見ると以下の三つに区分できる。即ち、

- ① 得意技術である肉盛溶接、溶射技術を高度化その装置の開発、設計製作へと“技術の高度化”を図る。
- ② CPCの開発に見られるような“革新的独自技術”の開発を推進。
- ③ ユーザーニーズを的確に、かつ最も早くキャッチ出来る現場に居を構え、ニーズに即応する“現場技術”を基本とする。

と云うことである。

とくに、社会の変化、経済情勢の変化、鉄鋼製造技術の変化に技術開発と経営を巧みにマッチングさせ、あるときは、金と時間をあまり掛けずに“知恵による開発”を、また、あるときは社運を賭けた“革新的技術開発”を推進し、事業を発展させて来

られた経営手腕には、感服するばかりである。

さて、1982年から小倉製鉄所では、サッカーロッドという製品の生産を開始することになり、継手となるカップリングの加工をフジコーさんをお願いすることになった。

自噴しない、または自噴しなくなった油井の地下最深12000フィートにあるポンプの弁を数ヶ月に亘って開閉しつづけ、石油を汲み上げるために使用されるロッドである。地底の温度は300°Fにもなり、かつ、CO₂、H₂S濃度が極めて高いという苛酷な腐食環境にあり、耐腐食疲労、耐磨耗性が要求され、万一保証期間内に破断した場合は高額クレームとなる。このため、カップリングの表面には、溶射処理が施される。

溶射はフジコーさんのお得意の技術である。にもかかわらず、5名の技術者を山陽工場に派遣され、6ヶ月に及ぶ技術研修を基礎から再度やりなおし、実生産に取組んで頂いたおかげで、カップリングに起因するトラブルは全く発生することはなかった。

正に、経営の基盤に“技術に対する責任と誇り”が確固として存在することを目のあたりにした次第である。

技術の育成の面でも、常に将来を見据えた教育がなされており、例えば、1976年には小倉と仙台の2ヶ所に保全教育センターを開設された。この技術基盤がその後のエンジニアリング事業へ進出する足掛りとなったことは、誰の目にも明らかである。

フジコーさんの発展の経過をゴルフに例えるなら

◎得意なクラブで基本技術を習得！

(鋳型修理、肉盛溶射、…)

◎各種クラブへと応用技術を拡げスコアも向上！

(水プラズマ溶射、自溶性合金溶射、…)

◎やがて、バーディやイーグルも！

(CPC、ハイスロール…)

◎そして今や、押しも押されぬシングルプレイヤー

の仲間入り (総合エンジニアリング)

ということになるろうか。しかも、O.Bを出されぬとは、誠に敬服するばかりである。

さて、日本における製造業の果たす役割の重要性については言うまでもないことであるが、昨今の経済情勢は円高を始めとして製造業にとっては、変化の時間軸を極端に縮めた負の象限の中にあり、これから脱出することは容易なことではないと思われる。

しかし、社会の求める人間尊重、多様性、そして人間を中心とした創造性への対応に、企業活動の理念を置き、高収益を上げ得る独自技術の開発が、今こそ真に切望されている。

米国の経営者達との会話の中でよく云われることの一つに、“金と人材のスカウトが出来ればどんな事業でも成功させられる”ということがある。デジタル思考の多い欧米人の社会にあっては、事実として、一面では正しいと云えよう。

アナログ思考の好きな日本人には、マニュアルやペーパーではなく歴史や企業風土、言い換えれば、人からしか伝承し得ない何かがある。善し悪しは別にして、日本では優良企業と云われる会社にはそれがあり、フジコーさんには、長年のお付き合いの中で、とくに、それを感じている。

“自らの創造開発を基に社会に貢献し、自らの興隆を図る。”という社是の中からその何かがにじみ出て来るのであろう。

この分野では、既に、シングルプレイヤーであるフジコーさんが“一貫責任体制を有する総合エンジニアリング企業”を目指して、益々、御発展されることを願い、技術創出立社として、その技術の中核にフジコー技報が位置付けられ、発展し続けることを念じる次第である。

略 歴 書

なかむら ため あき
中 村 爲 昭

昭和5年2月5日生

出身地 (主たる生育地) 福岡県

【学 歴】

昭和30年3月 京都大学大学院冶金工学専攻修士課程修了

【職 歴】

昭和30年4月 住友金属工業株式会社入社
同 52年7月 小倉製鉄所工程部長
同 53年7月 技術調査役
同 54年4月 小倉製鉄所工程部長
同 56年4月 同 副所長
同 59年6月 取締役就任 小倉製鉄所長委嘱
同 63年6月 常務取締役就任 小倉製鉄所長委嘱
平成元年6月 鹿島製鉄所長並びに米国EGL建設本部長委嘱
同 2年6月 専務取締役就任 鹿島製鉄所長並びに米国EGL建設本部長委嘱
同 3年6月 米国EGL建設本部長解嘱
同 4年6月 社長就任
現在に至る。

随 想

今どきの年寄り

九州工業大学 物質工学科
教授岸武 勝彦
Katsuhiko Kishitake

毎年6、7月は就職を控えた学生諸君にとっては落着かない時期である。就職して社会に出るには、長年なれ親しんだ“大学湯”とでもいうべきぬるま湯から上がらなければならないので、就職活動はあまり気の進まないものであるらしい。近頃は親も裕福になったため、もう暫くぬるま湯につかっていたいのがために大学院に進学する者までいる恵まれた時代なのである。しかも希望の企業に採用が決っても、この後定年まで働き続けなければならないと考えると、「喜びも中ぐらいなり就職内定」というところだろう。最近の学生はバブル崩壊前の座して待てば企業が三顧の礼をもって迎えに来てくれたイメージを抱いて入学しているので、昨年来の就職氷河期といわれる状況を理解し、受入れるのに戸惑いを感じているようである。

こうして胸ふくらませて第一希望の会社に就職した学生も、また不本意ながら第二、第三希望の会社に就職した学生も、昔と違って理由もなくあるいは同僚や上司との些細なトラブルでいともあっさり職場放棄するのであるから、会社第一主義で頑張り、日本の高度成長を支えてきた世代の会社幹部の人にとって、今どきの若い者は理解の範囲を越えた新人類とかエイリアンに思えるのも無理からぬことである。このような理解し難い若い者に我々の将来を託していかなければならないのだから、将来は暗たんたるものであろうか。いや悲観するには当たらないだろう。

江戸時代にも「今どきの若輩者は……」と不満をもらす話があるし、奈良・平安の時代はおろか縄文・弥生の時代にも年寄りは若い者を批判したこと

だろう。おそらく石器時代でも「今どきのワッカもんはロックにうつつをぬかしてマンモスのワナかけもろくにできない。こんなことではワッシらのお先は真暗だ。」と年寄り連中はぼやいたであろう。しかし未だに破滅には至っていない。新人類と言われた学生達も幹部社員になる頃には同じような不満をつぶやくのであろう。世の変化のテンポが指数関数的に速くなっても、古今東西同じようなことが言われてきたということは、“今どきの若い者”は今どきの社会の変化とは関係なく、ただいつの世にも存在する世代間の確執なのであろう。と考えるとあまり心配することもなからう。

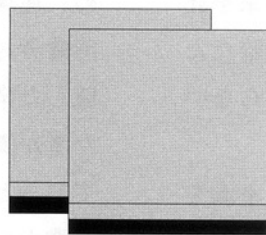
しかし、就職試験の時期に会社の人事担当の方から“今年も”ではなく、「今年は優秀な学生をよろしく」とやんわりとではあるが厳しいことを言われると、時には欠陥商品と言われる最近の若い者を輩出してきた大学の教師として責任はないのだろうかと一抹の不安を感じることもある。このようなことを感じていると、7月1日（平成7年）に欠陥商品による消費者被害の救済を目的にする製造物責任法（PL法）が施行されてハッとしました。欧米ではかなり前から施行されているが、日本でも遅まきながら、政府・自治体も相談窓口や検査機関の体制整備を進め、産業界も個別分野ごとの苦情処理機関を作り、消費者対応を計っている。この考え方を拡げて、就職した卒業生について、その卒業生を世に送り出した者が責任を負うとしたらどうなることやらと考えるとハッとしたのである。おそらく卒業生を受入れた企業からはもちろんのこと、卒業生本人からもクレームがつくことは想像に難くない。大学の教師も今ま

でのように不況もリストラもどこ吹く風とノーテンキではいられまい。クレームに対しては原材料が悪かったとか、もっと上工程に問題があると他に責任転嫁するか、あるいは真面目に製品（卒業生）に対する苦情処理機関を作ってアフターケアをしたり、産業界が進めているように具体的な警告表示を製品につけるなどの対策を講じなければならないだろう。

天下に有能ぶりを知られた日本の役人はかなり前からこのような事態を予知していたのか、いつの頃からか「生涯学習」という言葉を頻繁に耳にするようになった。そして数年前、「リカレント教育」と「リフレッシュ教育」と例によってお役所の好きな英単語を使った清涼飲料水か基礎化粧品と紛う名前の社会人再教育計画が始まった。文部省の勝手な定義では、どういう訳かりフレッシュ教育がリカレント教育より高度な内容を教えるそうである。私の勤める九工大でも「リカレント教育」の一翼を担わされて三年間試行した。私は“NO”と言えない性格から、材料工学科におけるリカレント教育の企画・運営に当たることになり、近隣の会社からアンケート調査を行い、「材料工学に関する基礎的な講義」を設定した。当初定員割れでは格好が着かないので定員を25名にしたところ、三年間とも定員を上回る応募があった。社会経験のある受講生は皆向学心に

燃えているので、単位を揃えることが目的の学生とは目の輝きが違い、教える側も学生相手の講義では味わえない喜びを感じることができた。馬耳東風と聴く気のない者に講義するのは苦痛であるが、講義中にも質問があり受講生の反応が伝わってくるリカレント教育は教えることを業としている者にとっては、一度味わうと止められない麻薬のようなものである。

過日、女子大生の姪と大学生と社会人の聴講態度の違いについて喋っていると、「学生が居眠りするような講義をするのは教える方が悪い。15分に一回は面白い話をして笑わせないと、今どきの若者は講義を聴いてくれないよ。」と反論し、「今どきの年寄りには自分の不勉強と無能を棚に上げて学生を批判する。」とのたまう始末である。18才人口の激減の昨今、今どきの若い者でも耳を傾けるように努力しなければ、製造物責任法で責任をとる前に、製造物を世に送り出すこともできなくなり、大学でもリストラを考えなくてはならなくなりそうである。こうなったら、話しべたの私も落語か漫才でも勉強して、若い者に迎合する術を磨くか、あるいはちと早いが後進に道を譲るか迷っていると、「あなた、いつまで寝てるの！また朝の授業に遅れるわよ。会社だったら真先にリストラよ。」という声で朝の心地よい眠りから覚めてしまった。



技術論文

WC-Co溶射皮膜の密着性とその冶金的検討

Adhesive Property of Thermal Sprayed Coating of Tungsten Carbide-Cobalt and its Metallurgical Consideration



溶接溶射技術開発室
加藤 治
Osamu Kato

溶接溶射技術開発室
尾崎 健一
Ken-ichi Ozaki

溶接溶射技術開発室
洲崎 真二
Shinji Suzaki

溶接溶射技術開発室長
吉村 武憲
Takenori Yoshimura

要 旨

近年急速に製鉄プロセスロール用などに普及しつつある炭化タングステン・コバルト (WC-Co) 溶射皮膜の基本的特性である密着性評価法として、従来は引張り式または剪断式が適用されていた。しかし、実際の皮膜剥離は接触応力が原因となることが多いので、新たにころがり疲れ方式を考案した。この方式により3種類のWC-Co溶射皮膜の剥離寿命を求めたところ、高温にさらされて変質するプラズマ溶射皮膜は寿命が短く、Coが金属として存在する高速フレイム溶射による皮膜の方が寿命が長いことがわかった。今後はこの評価方法と実機での寿命との対応を確認することが重要であると考えられる。

Synopsis:

As an evaluation method on an adhesive property, a fundamental characteristic of a tungsten carbides-cobalt (WC-Co) sprayed coating, which has been being rapidly propagated for a steel making process roll and so forth in recent years, a tensile method or shearing method has been conventionally applied. Because a contact stress becomes frequently a cause of an actual coating peeling, a rolling contact fatigue method was newly devised. When a peeling life for 3 kinds of WC-Co sprayed coating was searched for by this method, it was found that a plasma sprayed coating, which was altered in quality if it is exposed in a high temperature, had a shorter life, and a high speed flame sprayed coating, in which Co existed as a metal, had rather a longer life. It is considered that confirming a correspondence of life by this evaluation method and an actual performance in practice is important from now on.

1 緒 言

表面改質の一つである溶射は工業的に適用範囲が極めて広いが、とりわけ、タングステン炭化物-コバルト (以下WC-Co) 溶射は製鉄プロセスロール用などに、従来の硬質クロムメッキに代わって普及しつつある技術である¹⁾。その原因は、近年高速フレイム溶射法が出現してその膜質、特に密着性が向上して皮膜の剥離トラブルが減少し、信頼性が増したからであると考えられる。たとえ表面に優れた耐磨耗性などの機能を持たせても、皮膜が使用中に剥離しないようにまずその密着性を確保せねばならないのは極当然のことである。

皮膜特性の評価法として、密着強度の測定法は J I S

などに定められているが、次章で述べる種々の問題点が残されているために必ずしも満足されているとはいえない。それは、測定値のバラツキが大きいことなどの他に、実際の使用状態での密着性との対応があまり認められないためではないかと推察される。

本報告ではこの点に関し、実際使用中に皮膜が剥離する時の応力に近い状態で行う評価法のひとつとして、ころがり疲れによる方法²⁾をWC-Co溶射皮膜に適用した結果について、新しい方法の提案という意味を含めて述べたいと思う。

2 現在の皮膜密着性評価方法とその問題点

現在の溶射皮膜の密着性評価法はASTM C633 および JIS H8664、8666に定められている引張り式のほか、引抜き法、剪断法、曲げ法、スクラッチ法など様々な方式が用いられている。この内、最もよく使われる引張り法では接着剤を用いるために、接着剤の強度7 kgf/mm²を越えるものは測定ができない。また、ポーラスな皮膜には接着剤が浸透して基材にまで達し、正確な値が出ないこともある。さらに引抜き法あるいは剪断法ではFig. 1³⁾のように、初期の剥離から剥離した皮膜そのものの引張りあるいは剪断へと破壊モードの遷移が生じることもある。さらに付言すれば、皮膜厚さによって試験時の応力分布が変わったり、残留応力の影響を受けたりすることも十分あり得る。一般的に、薄膜の機械的性質あるいは物性値を正確に求めることは、単に形状が膜であるからだけでなく、成膜条件によって膜品質が変わるためであって極めて困難なのではあるが、溶射皮膜についてもこのような問題を抱えたまま、密着性の評価が実施されているのが現状である。

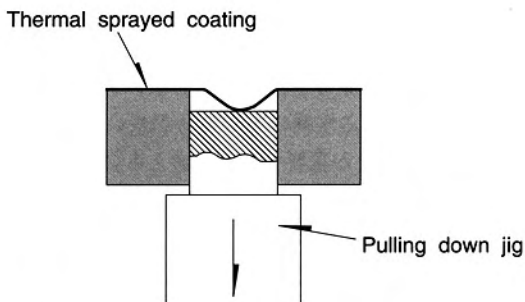


Fig. 1 Peeling off of coating by pulling down method³⁾

3 ころがり疲れの原理

ころがり疲れ (Rolling Contact Fatigue) とは、接触疲労の一種で、軸受け、歯車、ロールなど見かけ上のすべりがなく摩擦が比較的少ないころがり摩擦において、疲れと同じように、ある摩擦回数に達すると突然出現する、ピitting、フレーキング、スポーリングなどと呼ばれる表層の剥離に至る表面損傷をいう。剥離の初期亀裂は疲れにより発生するもののほかに、非金属介在物、炭化物、あるいは空孔などの欠陥が相当するので、これらの量、大きさが疲れ寿命に大きな影響を及ぼすことは引張り、曲げなど他の疲れと同じである。

二円筒の接触における弾性力学的解析は、100年以上前にヘルツによって行われており、現在でも理論はその延長上にある。数10年前には既に塑性変形まで含めたころがり接触問題が盛んに研究された⁴⁾。この古典的理論によれば、2本のロールの弾性接触の場合には、応力分布はFig. 2⁵⁾のように、ある深さの位置で剪断力のピークが現われることが示されている。表面に圧縮力のみが加えられても、内部では剪断力が生じ、材料が回転して繰り返し作用することにより疲労破壊、すなわちある深

さにある初期亀裂が伝播して表層の剥離を誘起する。これがころがり疲れである。

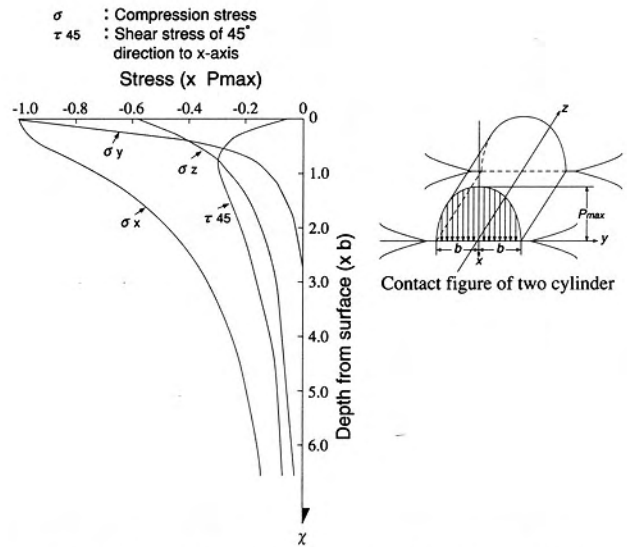


Fig. 2 Stress distribution under contact surface of two cylinder at center⁵⁾

表層に皮膜がある場合の応力解析は、皮膜の物性値が正確に把握できないため一般的に困難であるが、皮膜と基材の弾性定数が不連続に変化していると歪みを連続化させるために応力がその界面に集中することが考えられる。一例として、クロムメッキ膜について有限要素法を用いた計算結果⁶⁾によると、膜厚が接触半巾の1.5倍に等しい場合に界面への剪断応力集中が起こることを示している。

他の例として、皮膜のヤング率が基材の2倍と仮定した時のすべり摩擦の場合にも塑性降伏開始位置が界面近傍にあるという計算結果がある⁷⁾。

実際に使用中の溶射皮膜剥離はころがり摩擦時に発生することが多い。この時の応力は引張りではなく、表面に加えられる圧縮応力である。そして前述のように、三次元的に分布する圧縮応力に伴って生じる剪断応力が皮膜界面に集中的に作用してその剥離を誘起するものと推定される。このことから、皮膜の密着性をころがり疲れによって評価することに着眼した。しかしながら、この方法は密着力あるいは密着強度を求めるものではなく、ある一定応力の下での疲労寿命 (転動数) を相対的に比較するものである。

4 ころがり疲れによる皮膜密着性評価結果

4.1 試供材

供試材はTable 1に示す3種類である。すなわち、No.1は粉末が最も高温状態になるといわれるプラズマ溶射、No.2は助燃剤に酸素を用いる高速フラーム溶射 (High Velocity Flame Spraying)、No.3は助燃剤に空気を用いる高速フラーム溶射によって作製された。正確な数値は不

明であるが、粉末温度はNo.1、No.2、No.3の順に低くなり、粉末速度はNo.3が最も大きいといわれているので、温度、速度によって変化する皮膜性状の影響を見ることを今回の目的とした。

Table 1 Used materials

No.	Kind of thermal spraying	Sprayed powder	Substrate
1	Plasma spray	} WC-12Co	} Quenched and tempered SUJ 2 (Hv900)
2	HVF 1		
3	HVF 2		

基材はいずれも調質した軸受鋼SUJ 2を用い、溶射材料はすべてWC-12Co、膜厚 $150\mu\text{m}$ である。また、表面仕上げはいずれも研磨により粗さ $0.3\mu\text{m}$ 前後とした。溶射皮膜の中では、自溶合金を除くとWC-Co系が最も密着力が高いといわれており、接着剤を用いる引張り式では測定不能である。

4.2 実験方法

試験機はFig. 3に示す二円筒ころがり方式であり、油圧により所定のヘルツ応力 P_{max} が得られるように保持し、一定回転速度 V で、皮膜が剥離するまでの回転数を求める方法である。剥離は目視観察によって判定した。

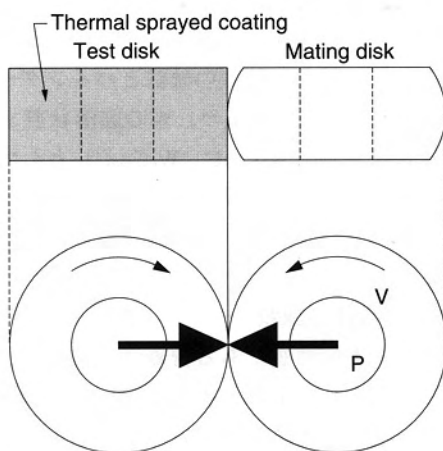


Fig.3 Experimental method

試験片と相手片寸法はいずれも外径 200mm 、巾 50mm であるが、相手片には 500R のクラウンを与え、所定位置に所定応力が加わるようにした。接触面は楕円となり、中心に最大応力 P_{max} が加わる。また、試験片を駆動側、相手片を従動側としてみかけ上のすべりはゼロとし、発熱防止のために両片とも水冷して長時間の実験を可能とした。

4.3 実験条件

今回採用した実験条件はTable 2のとおりである。接触応力 P_{max} を 1078MPa に選定した理由は文献²⁾により、圧延ロールが受ける応力としたのであるが、これより低応力になると試験にかなりの長時間を要することになる

う。本実験が試験応力の影響をどのように受けるかについては別途調べることにしたい。

Table 2 Experimental conditions

Contact stress	
P_{max} (MPa)	1078
Revolution speed	
V (rpm)	1000
Lubricant	Water

4.4 実験結果

ころがり疲れ試験により生じた皮膜剥離の外観をFig. 4に示す。いずれも起点は明確でないが、プラズマ溶射試験片 (No.1) は接触部の皮膜が全面剥離している。剥離面はプラスト後の表面と類似の粗さと金属色をしており、基材表面が露出しているように観察された。

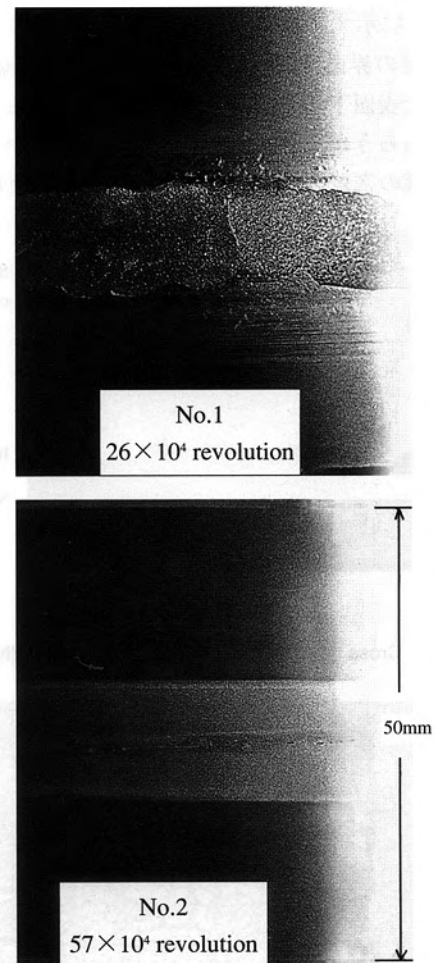


Fig.4 Appearance of peeled-off coating

この実験の結果得られた3種類の皮膜の剥離寿命をFig. 5に示す。最も短寿命なのはNo.1で26万回、最も長寿命なのは粉末温度が低い高速フレーム溶射膜 (No.3) で100万回でも剥離しない。当然であるが、この回転数を実機のそれと対比させることはできない。なぜならば、

実ロールでは接触位置と接触応力が変動しているが実験ではそれらを一定としているからである。

Kind of thermal spraying	Number of revolution at peeling off ($\times 10^4$)					
	0	20	40	60	80	100
No.1 Plasma spray	26					
No.2 HVF 1	57					
No.3 HVF 2	≥ 100					

Fig.5 Results of peeling test by rolling contact fatigue

5 冶金的考察

皮膜の剥離がどこで起きているかを知るために、剥離部近傍の断面のSEM（走査電子顕微鏡）による観察結果をFig. 6に示す。この写真によれば、剥離は大部分が基材と皮膜の界面であることがわかる。この原因は第3章で述べた表面下の剪断応力が界面に集中することにもよるのであろうが、機械的結合にしか過ぎないといわれる溶射皮膜の密着機構についても考慮せねばならない。

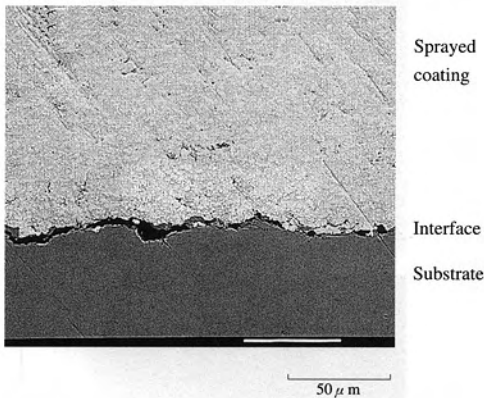
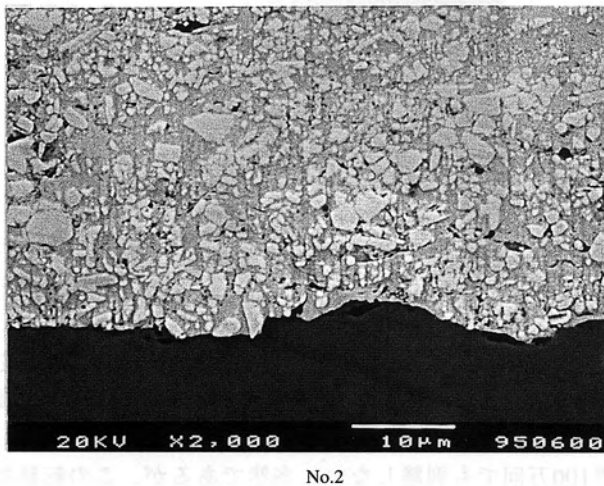
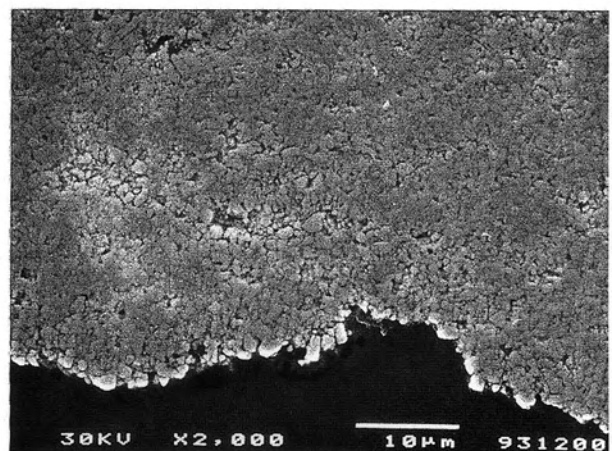


Fig.6 Cross section in vicinity of peeling-off (No.2)



No.2



No.3

Fig.7 Interface of sprayed coating and substrate

10 μm

そこで、No.2 とNo.3 試料の界面近傍断面のSEM 写真 Fig. 7 を観察すると、WC粒子の基材への食い込み方が若干異なっているように見える。すなわち、No.3の方がより低温で固体状態の粉末がより高速度で衝突するので、基材表面に食い込み、初期表面より更に複雑に入り組んだ界面を呈し、皮膜と基材の結合を高めているものと推測される。

次に、3種類の供試材の組成を、原料粉末のそれと比較してX線回折(XRD)により調べた結果をFig. 8に示す。X線源としてCoを使用したために、Coのピークは見られない。粉末の場合にはWCのピークのみであるのに対し、プラズマ溶射皮膜(No.1)では W_2C 、 η 相などの反応生成物⁸⁾のピークが中間に明らかに認められる。このピークの高さからNo.3試験片の反応生成物が最も少ないことがわかる。これらの相は脆弱であり、焼結超硬においては1400℃以上で出現し⁹⁾、特性の劣化をもたらすとして知られているが、溶射皮膜のころがり疲れにおいても、特にクラック伝播の点で有害となることは十分考えられることである。

以上述べたように、WC-Co系においてはより低温高速の粉末を溶射する方がころがり疲れによる皮膜密着性が向上することの原因として、基材との複雑なかみ合わせによる機械的結合の強化、及び高温酸化に基づく反応生成の抑制という2点であることがほぼ明らかになった。しかし、これらの関与の程度の確認とバインダーであるCoの状態分析、すなわちCoの、Wの固溶状態および η 相という複合炭化物(W_3Co_3C 、 W_6Co_6C)としての存在状態などの明確化については今後の詳細な調査が必要である。

6 結言および今後の課題

溶射皮膜の基本的性質である密着性の新しい評価方法としてころがり疲れによる方法を提案し、WC-Co皮膜について適用した。その結果、溶射方法によって異なる皮

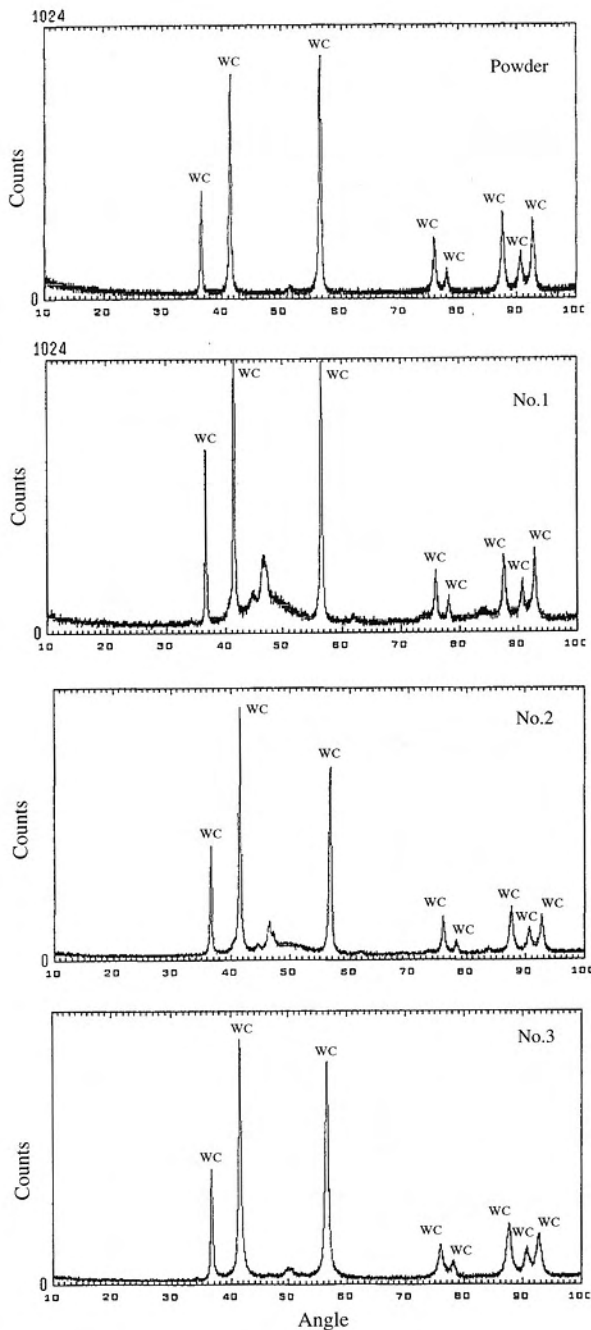


Fig.8 X-ray diffraction patterns of powder and sprayed coatings

膜の性状によって密着性が大きく影響を受けることがわかった。つまり、WC-Co系においては、粉末温度は高過ぎず、固体状態で高速となる溶射条件が好ましいということである。

今後はこのような結果が実機での評価結果とどの程度対応するかの確認を時間をかけて行う必要がある。さらに、界面近傍の応力解析を含めた皮膜厚さと接触応力が密着性に及ぼす影響と、最新の解析機器を活用したCoの状態分析については、今後の体系的な研究課題であると考える。

謝 辞

本研究の遂行に際し、ころがり疲れ試験機の使用を許可し、試験の実施に協力して頂いた新日本製鉄(株)プロセス技術研究所 庄延プロセス研究部に感謝致します。

また、X線回折による皮膜の組成解析について研究指導して頂いた九州大学工学部大城桂作教授に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 原田良夫：溶射技術，13 (1993)，2，P.32
- 2) 井上 剛，加藤 治，山本普康，阿高松男：CAMP-ISIJ (材料とプロセス)，4 (1991)，P.477
- 3) 伊佐重輝，曾我部光晴：日本溶射協会誌，3 (1966)，1，P.52
- 4) J.E.Merwin, K.L.Johnson：Proc. Instn. Mech. Engrs.,177 (1963)，P.676
- 5) 赤堀公彦：塑性と加工，6 (1965)，6，P.329
- 6) 藤田公明，吉田 彰，エリック・オラートン：潤滑，28 (1983)，4，P.266
- 7) 刁東風，加藤康司：日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集，(1993-5)，P.235
- 8) 荒田吉明：セラミックス溶射と応用，日刊工業新聞社，(1990)，P.107
- 9) 白井勝之：溶接技術，(1995-5)，P.85

連続注入クラッド法による 熱延仕上後段ワークロールの製造と使用結果

Production Process and Application Result of C.P.C Work Roll in Rear Stands of Hot Strip Finishing Mill



CPC 技術開発室
坂本 眞一
Shin-ichi Sakamoto

CPC 技術開発室
玉川 進
Susumu Tamagawa

CPC 技術開発室長
斉藤 弘道
Hiromichi Saito

本社営業部長
津田 篤信
Atsunobu Tsuda

社長
山本 厚生
Atsuo Yamamoto

要 旨

ホットストリップミルのワークロールは、従来、高クロム鑄鉄、高合金グレん鑄鉄などの特殊鑄鉄が適用され、近年、使用条件において、高負荷化、高速化に伴ってロールの高性能化が要求されてきた。このような要求に対し、ロール材として、多種類の合金元素を含有する工具鋼系材料を選定するとともに、製造法に連続注入クラッド法（以下C.P.C法と略す）を適用することによって、すぐれた耐用を有するロールの製造技術を確認した。使用結果として、耐摩耗性および耐肌荒れ性が改善され、研削毎の圧延量の増加がもたらされ、従来の高合金グレん鑄鉄ロールに比して、5倍以上の耐久性を有することが確認された。

Synopsis:

While a special cast iron such as a high chromium cast iron and high alloy grain cast iron et al has been conventionally applied for a work roll of hot strip mill, on the other hand, accompanied with a higher load and higher speed in the application conditions in recent years, making a work roll a higher performance has become to be required. For such requirements, together with selecting the tool steel series materials containing many kinds of alloy element as a work roll material, by applying a Continuous Pouring Process for Cladding (abbreviated as C.P.C in the following) as a manufacturing method, a manufacturing technology for the work roll with an excellent useful life longevity has been established. As a consequence of usage, the wear resistance and rough surface resistance were improved, the rolling tonnage per 1 time of grinding was increased and it was confirmed that C.P.C work roll has a durability above 5 times compared with a conventional work roll made of high alloy grain cast iron.

1 緒 言

ホットストリップミル、ワークロールは、熱延鋼板の形状寸法、表面性状などの品質に影響を及ぼすだけでなく、ロールの耐久性が圧延作業の効率を左右する。このようなことから、ワークロールには、高度の耐摩耗性、耐肌荒れ性および、耐事故性（折損、クラック、焼付き）が要求されている。

当社は、創業以来、鉄鋼圧延ロール、ローラの製造技術の開発に取組み、多くのクラッドロールの製造法を開

発してきた経緯がある。中でも、当社の発明であるC.P.C法は、高炭素高合金材などの高耐摩耗材と強靱鋼との組み合わせのクラッドロール、ローラを容易に製造することが可能である。このようなことから近年のワークロールに必要とされている特性を引き出すことを目的に外層材として多合金系白鑄鉄（高炭素ハイス材）、芯材として強靱鋼の組合せを選定した。

以下に、製造工程および、使用結果について報告する。

2 製造方法

2.1 工程の概略

Fig. 1に、C.P.Cハイスロールの製造工程を示す。中周波誘導炉で溶解した肉盛材をC.P.C装置により肉盛り、その素材を熱処理、加工して、製品ロールとする。

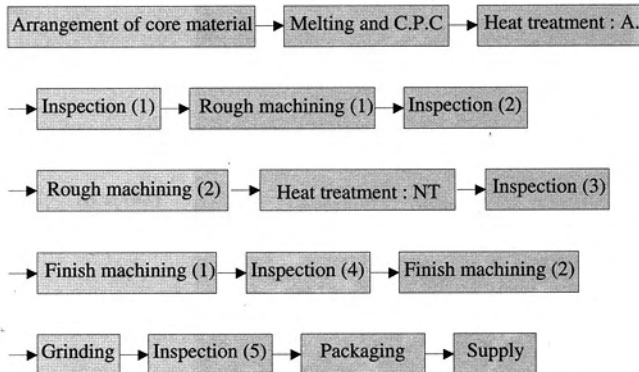


Fig.1 Production process of C.P.C high speed steel roll

2.2 C.P.C法について

C.P.C法とは、Continuous Pouring Process for Claddingを略した呼称である¹⁾。Fig. 2に示すように、中実または、中空の芯材をモールドの中央にセットし、モールドと芯材の間にクラッドしようとする熔融金属を鑄込み、誘導加熱により融接させながら、断続的に引き抜き、複合材料を製造するプロセスである。

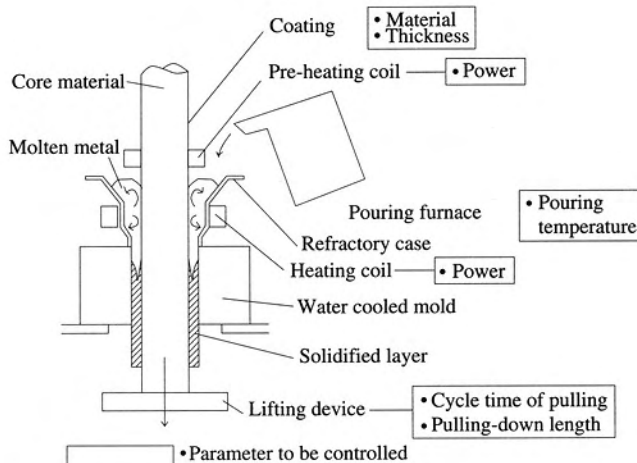


Fig.2 Schematic diagram of C.P.C system and parameter to be controlled

芯材の表面はあらかじめ、特殊なガラスのパウダーをコーティングしておき、芯材が耐火枠上部にセットしてある予熱コイルを通過する際に予熱され、その熱でガラスが熔融軟化し、芯材の表面を清浄化、活性化することによって、健全な接合部をもつクラッド層を構成することができる。C.P.C法は一層肉盛であるため、熱の集中度が極めて小さく、従来の溶接肉盛法では不可能であった材質、たとえば、多合金系白鑄鉄（高炭素ハイス材）および過共晶材などのクラッドも可能である。

2.3 C.P.C法の制御因子

Fig. 2にプロセス概略図に合わせて、主要な制御因子を示した。良好な性状をもったロール用素材を製造するためには、

- (1) 肉盛材と芯材の境界の完全溶着
- (2) 芯材の溶込みのバラツキの最小化
- (3) 凝固組織の微細化、均一化
- (4) 鑄肌の健全化

を図る必要がある。

これらの要求を満足するためには、使用する道具類およびFig. 2に示す制御因子を、最適寸法、形状および最適値に設定することが重要である。道具類については、設計検討から製作まで、自社内で実施している。主要な道具類の設計における留意点は、次のことが挙げられる。

(1) 予熱、加熱コイルは、肉盛金属と芯材との健全な溶着を得るために必要な投入熱量を決定することから、加熱物との径差および、幅、巻数が、重要な因子で、このことによって、加熱物とのマッチングおよび有効な加熱効率もたらされる。

(2) 耐火枠の形状についても健全な溶着を得ることおよび凝固金属への押湯効果に影響を及ぼすことから、芯材と湯溜り部との断面積比および高さが重要な因子である。

(3) モールドは、凝固組織および鑄肌に影響を及ぼすことから、適正な冷速が得られるよう、モールド材質、厚みおよび冷却水への熱伝達率などが重要な因子である。

C.P.C法の制御因子に関するC.P.C条件について、溶着、鑄肌、凝固組織に影響を及ぼす因子として、次のことが挙げられる。

- (1) 高周波誘導予熱、加熱コイルによる投入電力量
- (2) 母材表面のガラスコーティング剤
- (3) 引き抜き速度

これらの因子の重要性が把握され、適正化を図った。Table 1 にC.P.C条件、Fig. 3にC.P.C中の状況写真を示す。

Table 1 C.P.C condition

Diameter of core material	φ 620mm
Diameter of mold	φ 745mm
Coating material	B ₂ O ₃ -SiO ₂ -R ₂ O glass powder
Power of pre-heating coil	100~250 kW
Power of heating coil	450~700 kW
Pulling down velocity	10~18mm/min

2.4 ロール材の選定

肉盛金属には、大幅な耐久性の向上を狙って、高炭素ハイス材を適用し²⁾、芯材には、強靱性と軸部の耐摩耗性を兼備したSCM440材を選定した。Table 2 に肉盛金属

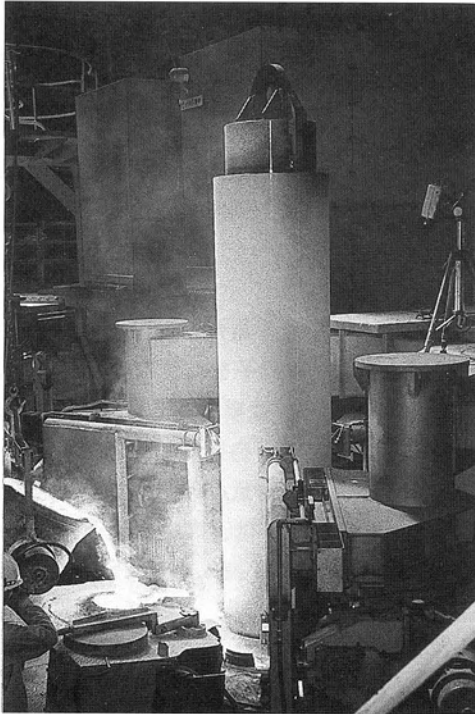


Fig.3 View of the work roll under producing by C.P.C

Table 2 Chemical composition and hardness

Chemical composition (wt.%)							Hardness (Hs)
C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	
1.8~2.4	0.2~0.8	0.2~0.8	3.5~7.0	4.5~8.0	3.5~8.0	4.5~7.0	80~85

の化学成分組成および硬さを示す。

2.5 熱処理

CPCハイスロールの熱処理条件は、設備上の制約および芯材の劣化の防止を考慮し、1000~1100℃の焼準温度³⁾を設定した。

焼戻し処理については、硬さと残留応力を確認しつつ、500~600℃で、2回以上繰り返して、施工した。Fig. 4に焼戻し後のマイクロ組織を示す。マイクロ組織に観察される炭化物は、MC およびM₆Cで、基地は焼戻しマルテンサイトの均一微細な状況が窺える。焼準時の状況写真をFig. 5に示す。

3 実機使用結果

3.1 ミルおよびロール

C.P.Cハイスロールは4 High ホットストリップミルの仕上げ後段、F5 および F4 スタンドで使用し、耐久性を従来の高合金グレンロールと比較した。Table 3 にミルとロールの概要を示す。

3.2 使用結果

C.P.Cハイスロールを圧延使用し、ロール摩耗量、削量、耐久性を従来ロールの代表的な一例と比較した。また、連続5回圧延後の肌荒れ外観と表面粗さを測定、調査した。

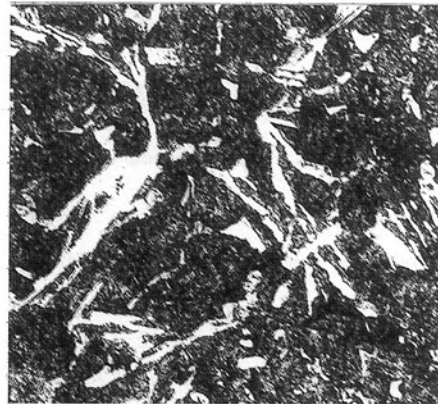
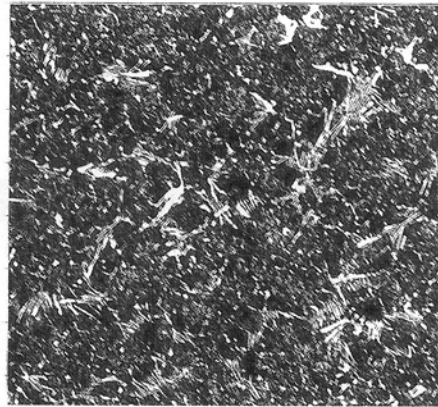


Fig.4 Microstructure

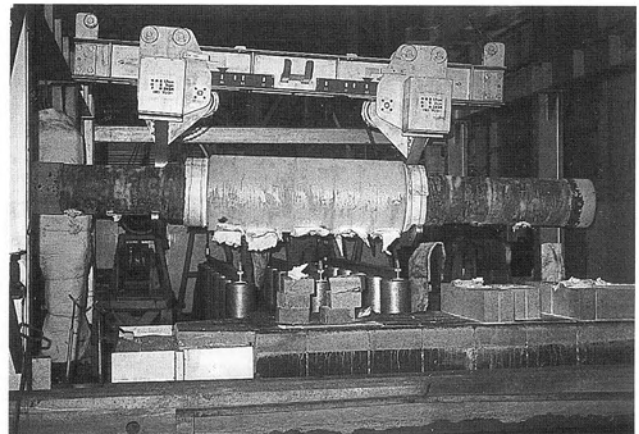


Fig.5 View of quenching procedure of C.P.C work roll after austenitizing

Table 3 Outline of mill and roll

Mill	4high hot strip mill
Rolling product	Hot coil for tinplate 974~1555 w × 1.16~2.30 t
Rollstand	F5 and F4 stand
Rollshape	Barrel dia. ϕ 706 Barrel Length 1830 Total Length 5190

3.2.1 摩耗

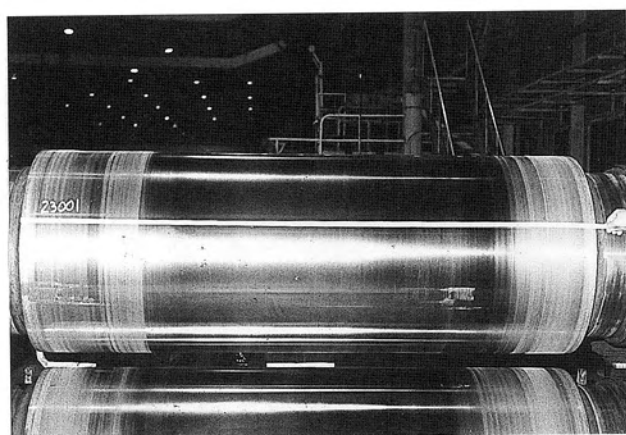
本ロールおよび従来ロールの圧延使用結果をTable 4に示す。本ロールにおいては、摩耗量が減少することに加え、連続圧延使用が可能のため研削毎の圧延量が増加したことにより、従来ロールの5倍以上の耐久性を示した。

通りである。

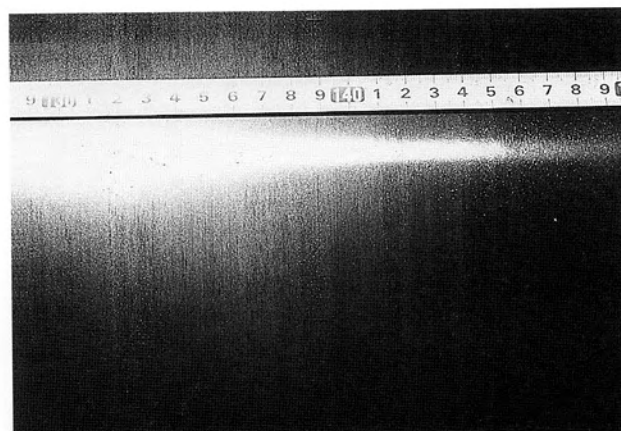
(1) ホットストリップミルのワークロールの近年の高負荷使用条件に対する高性能化を、C.P.C法により、肉盛金属を高炭素ハイス材、芯材に強靱鋼を適用することで達成した。

Table 4 Result of application to hot strip mill

Stand	Roll	Rolling times	Rolling tonnage (ton)	Depth of wear (mm/1000ton)	Depth of grinding and machining(mm/1000ton)	Durability (ton/mm)	Durability ratio to conventional
F5	C.P.C Roll	143	147,284	0.0079	0.0739	12,213	5.3
	Conventional	177	119,971	0.2613	0.1742	2,296	1.0
F4	C.P.C Roll	103	101,075	0.0067	0.0578	17,337	5.7
	Conventional	183	199,574	0.1844	0.1427	3,058	1.0



View of the work roll



Center of barrel

Fig.6 Roll surface after rolling (F5, 3742 ton)

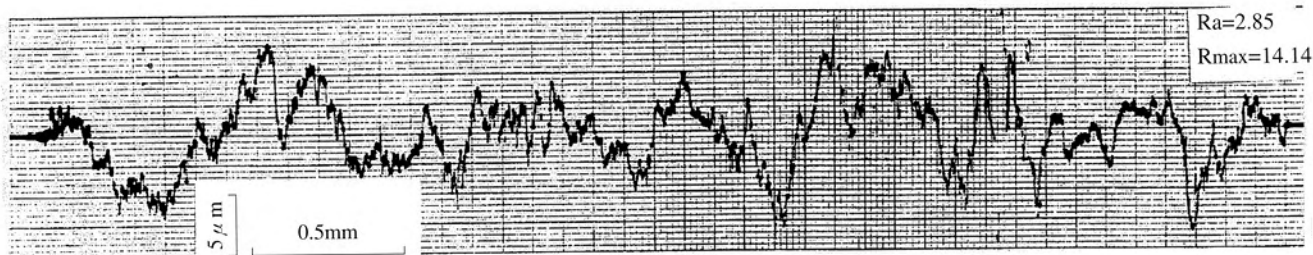


Fig.7 Roughness of roll surface after rolling (F5, 3742 ton)

なお、従来ロールは1回（約1000トン）の圧延で研削再使用となるが、本ロールは連続5回の圧延例も多い。

3.2.2 肌荒れ

5回連続圧延後のロール表面状況をFig. 6に示す。本ロールは、表面に均一な黒皮皮膜が生成しており、全体が緻密な表面状況を示している。また、表面粗さを測定した結果をFig. 7に示す。表面粗さの値 Rmax が14.14 μ mであり、十分5回連続圧延に耐えることが確認できた。

(2) C.P.C法における使用道具類および制御因子の適正化により、所期の特性を有するワークロールの製造技術を確立した。

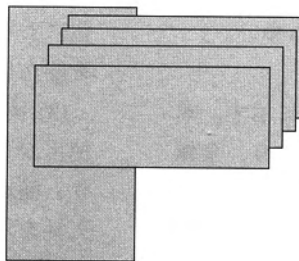
(3) 実機使用の結果、摩耗量の減少、および連続圧延使用が可能となり研削毎の圧延量が増加したことにより、従来の高合金グレンロールに比して、5倍以上の耐久性を示した。なお、従来ロールは1回（約1000トン）の圧延後研削再使用となるが、C.P.Cハイスロールは5回連続圧延例も多い。また、ロール表面は緻密な黒皮皮膜が均一に生成しており、5回連続圧延後も肌荒れは少なく、良好な結果が得られた。

4 結言

C.P.C法による、ホットストリップミル用ハイスロールを開発し、実機圧延使用を行った。その結果は以下の

参考文献

- 1) 坂本眞一, 齊藤弘道, 津田篤信, 堀 正夫, 山本厚
生：材料とプロセス, 4 (1991), P.448
- 2) G.Steeven, A.E.Nehrenberg, T.V.Philip : Trans.ASM,
57 (1964), P.925
- 3) 同上, P.640



技術論文

連続注入クラッド法による冷延ワークロールの製造と使用結果

Result of Production and Application for Cold Strip Mill Work Roll by Continuous Pouring Process for Cladding



CPC技術開発室
坂本 眞一
Shin-ichi Sakamoto

CPC技術開発室長
斉藤 弘道
Hiromichi Saito

本社営業部長
津田 篤信
Atsunobu Tsuda

要 旨

冷延ワークロールの性能向上を目的として、当社開発の連続注入クラッド法（C.P.C）によるハイスロールの開発を行った。

高炭素ハイス鋼を肉盛した、かたさHsD90～92のロールを製造し、実機使用した結果、従来の鍛鋼ロールの3倍の耐久性が得られ、ロール表面状況も良好で、均一であった。また、圧延前、後のロール表面粗さの変化が小さいことなど、従来ロールとは全く異なる良好な特性が確認できた。

Synopsis:

For a purpose of performance improvement of the cold strip mill work roll, a development of high speed steel roll through applying a Continuous Pouring Process for Cladding (C.P.C) invented by our company was carried out. A roll overlaid a high carbon/high speed steel, with a hardness of HsD 90~92, was manufactured, and subsequently was applied to actual practice. As its consequence, a durability with 3 times of a conventional forged steel roll was obtained, and moreover the surface circumstances were also good and homogeneous. In addition it was confirmed that it had the excellent characteristics completely different from a conventional roll like a slight change in surface roughness of roll before and after rolling and so forth.

1 緒 言

当社が創出した連続注入クラッド法¹⁾（以下C.P.Cと略す）は、クラッドロール・ローラの製造法として、製品品質および生産性の両面において、すぐれた特長をもっている。

当社はこのプロセスによって、各種のロール・ローラの高性能化を進めて来ており、圧延ロールとしては、熱延ワークロール²⁾、棒鋼ロール等^{3) 4)}の開発、適用を行ってきた。

本プロセスによれば、使用中の大きな発生応力に耐え得る鋼系材料を母材（芯材）にすることによって、強靱なクラッドロールを製造することができる。この特長を利用するねらいで、冷延ワークロールへのC.P.Cハイスロールの適用を試みた。

冷延ワークロールは、鋼板の形状寸法、表面性状を決

定し、また、ロールの耐久性が圧延作業能率に影響を与えることから、高度の耐摩耗性、耐肌荒れ性、および耐事故性（クラック、焼付き）が要求される。従来、このロールには、高クロム鋼鍛造焼入ロール（以下鍛鋼ロール）が用いられており、成分、溶解精練、造塊、鍛造、熱処理等、各製造工程にわたって各種の改善がなされてきた⁵⁾。

しかし、従来の一体造塊法による単体ロールでは、適用する成分を高炭素化、高合金化することは困難であり、耐久性の向上には限界があった。今回の冷延ミル用C.P.Cハイスロールの製造と適用は、従来の鍛鋼ロールと全く異なる材質によって、飛躍的な性能向上をねらったものである。以下にその結果を報告する。

2 C.P.Cによる冷延ワークロールの製造

2.1 製造工程

C.P.Cによって高炭素ハイス鋼を肉盛する圧延用ロールの製造法は、すでにほぼ確立している。本報の冷延ワークロールにおいても製造法は、従来のプロセスに準じた工程、方案を採用した²⁾。

2.2 溶解および成分組成

C.P.C用の溶湯は、中周波誘導溶解炉で溶解し、所定の注湯温度まで昇温、保持する。肉盛材の成分組成をTable 1に示す。冷延ワークロールとしての耐摩耗性を確保するため、Coを添加し、マトリックスの緻密化を図った（当社材質記号FKC704）。

Table1 Chemical composition of roll (mass %)

	C	Cr	Mo	V	W	Co
FKC-704	1.6~2.4	3.5~7.0	4.5~8.0	4.5~8.0	3.5~7.0	<2.0

また母材（芯材）は、冷延ワークロールに要求される強度特性を考慮し、CrMo鋼（JIS SCM440）鍛造材を使用した。

2.3 C.P.C 鑄造

C.P.C 鑄造条件は、肉盛材の成分組成とならんでロールの特性を決める重要な因子である。冷延ワークロールの製造においては、無欠陥であることと、肉盛層の成分、組織の均一性を確保することに主眼を置き、下記の項目を重点的に管理した。

(1) 注入温度

(2) 母材および溶湯を加熱する2つの誘導加熱コイルの投入電力量³⁾

(3) 母材表面のコーティング（配合と塗布厚さ）³⁾

(4) C.P.Cの引き抜き条件（1回当たりの引き抜き幅、引き抜きサイクルタイム）

これらの条件を調整して、肉盛材の母材への完全溶着を確保し、全周・全長にわたる溶込深さの均一化、凝固組織の微細・均一化をはかった。

2.4 熱処理

肉盛材が含有するC、Cr、Mo、V、W、Coの多元組成の特質を活用して、二次炭化物の析出を制御し、マトリックスの微細化と安定化をはかるために、焼準および3回の焼戻し処理を行った。

その結果、硬さHsD90~92のロール素材を製造することができた。マイクロ組織をFig. 1に示す。

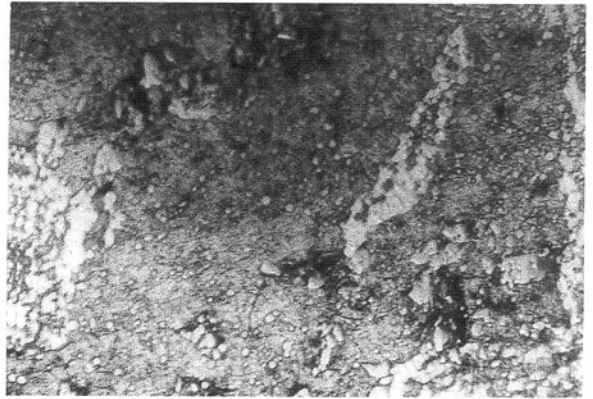
2.5 加工

高炭素ハイス鋼は切削性、研削性に難点があるが、当社ではウィスカー強化セラミックス工具および超微粒アルミナ砥石によって、最終的にロール胴部表面平均粗さ $Ra \leq 0.3 \mu m$ を確保している。

以上の製造方法によって、現在（H7.11）までに4セットの冷延ワークロールを製造し、実機使用に供してい



100 μm



25 μm

Fig.1 Microstructure

る。製品ロールの外観をFig. 2に示す。

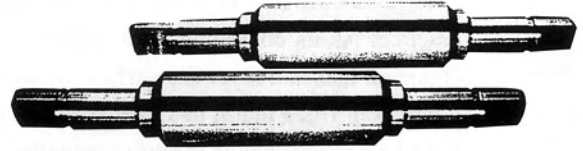


Fig.2 View of cold strip mill work roll by C.P.C

3 C.P.C冷延ワークロールの使用結果

開発製造したC.P.Cプロセスによる冷延ワークロールをTable 2のミルで実機使用した。使用に際しては、従来ロールである鍛鋼ロールとのペア使用による耐久性比較試験、およびC.P.Cロールをペアにして使用し、ロール表面状況、板状況を調査しつつ、通板量を増大し、耐用限界を確認する試験等を行った。

Table2 Outline of mill and roll

Mill type	4 High reverse mill	
Stand number	1 Stand	
Roll size	ϕ	$\phi 380 \times 1259.6^L \times 3003^L$
Hertz' stress Pmax	1.05~1.18GPa	

3.1 鍛鋼ロールとの耐用比較試験

C.P.Cハイスロールの耐摩耗、耐肌荒れ性を鍛鋼ロールと比較するために、両者をペアにして使用した。通板量は、鍛鋼ロールが耐用できる最大長さ(通常は約330km)として、557km長さを圧延した。両ロールについて、圧延前後のロールプロフィール(摩耗量)、表面粗さ(平均粗さRa、最大粗さRmax)を測定した結果をFig. 3、ロール表面外観をFig. 4に示す。

この結果、冷延ワークロールとしてのC.P.Cハイスロールと鍛鋼ロールの耐用特性には大きな差異があることが判明した。すなわち、

(1) C.P.Cハイスロールの摩耗量は非常に小さく、特に、エッジ摩耗が鍛鋼ロールに比べて著しく軽微である。

(2) C.P.Cハイスロールの表面粗さは、Ra、Rmaxともに圧延前、後の差が少なく、Fig. 3の場合、むしろ圧延後の方が表面粗さが大きくなっている。一方鍛鋼ロールでは、圧延後の表面粗さが著しく小さくなっている。この特性は、冷延ミル全般の鍛鋼ロールに共通の欠点であり、使用中の表面粗さの減少がスリップ等の要因となり、圧延性の阻害とロール事故発生の原因になる場合もある⁶⁾。この点から、C.P.Cハイスロールの表面粗さ特性は極めて注目すべき特長であると考えられる。

(3) 圧延後のロール表面外観によると、C.P.Cハイスロールの表面肌は良好で、エッジ部の肌荒れも発生していない。鍛鋼ロールでは、前述のごとく、表面粗度の低

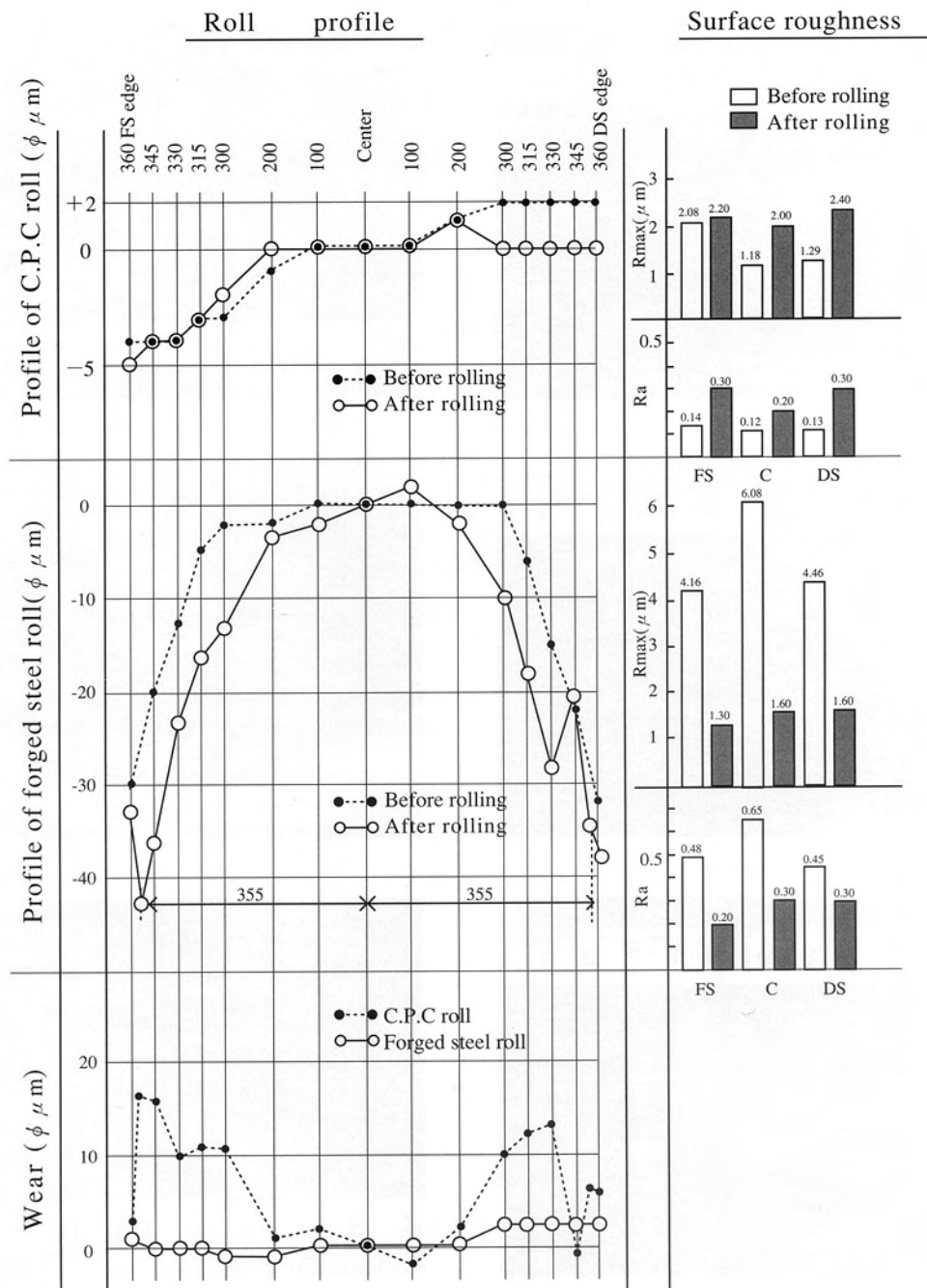


Fig.3 Comparison of roll profile and surface roughness between C.P.C roll and forged steel roll

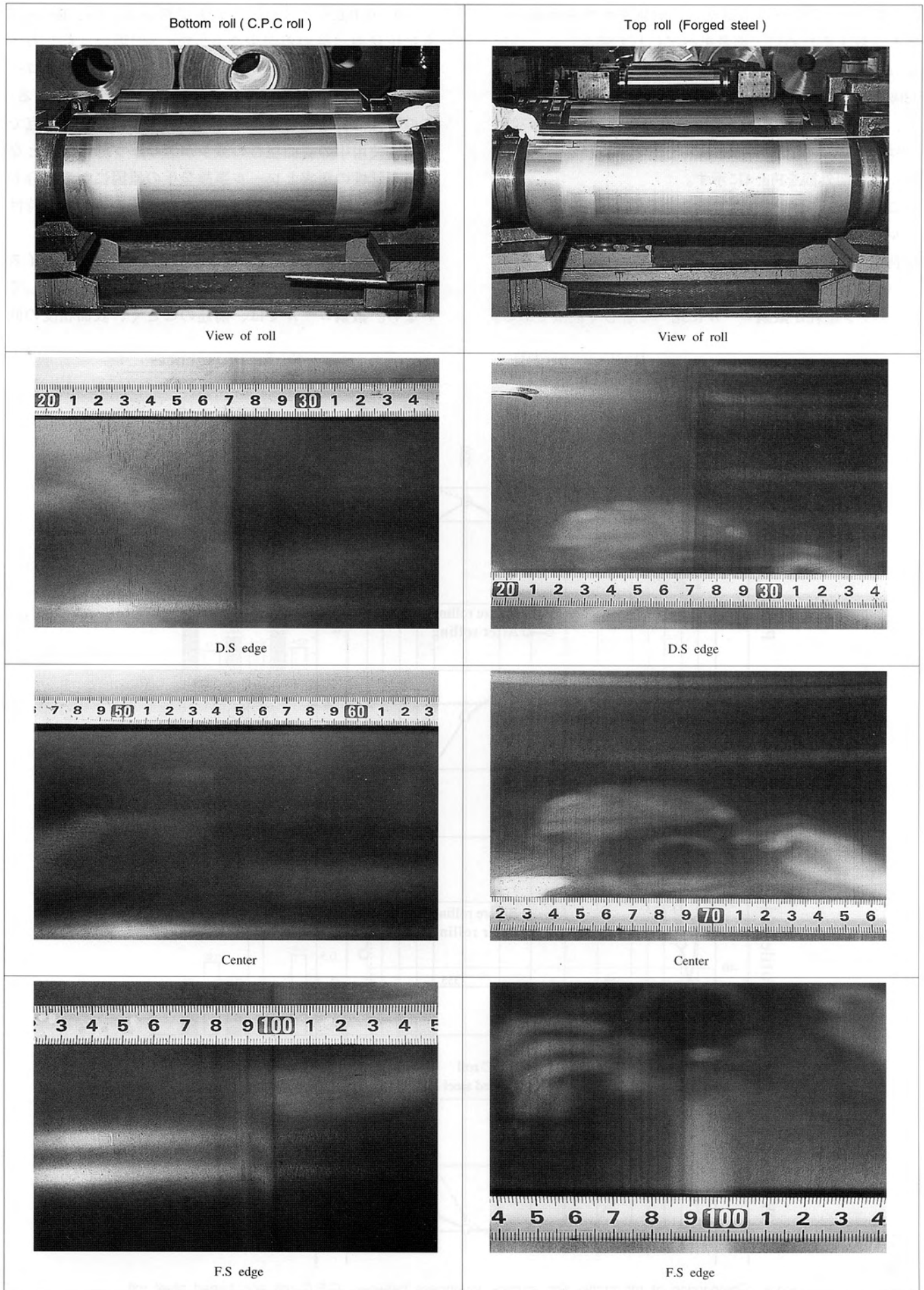


Fig.4 View of roll surface after rolling (557 km)

下から鏡面状態に達しており、また、他の圧延チャンスの例であるが、Fig. 5に示すようなスジ庇が発生する場合もある。これに対して、C.P.Cハイスロールの表面肌は均一である。

なお、C.P.Cハイスロールの通常量の圧延に先立ち、通板性（噛込み性、通板中のスリップ有無、通板速度確保可否、反りの傾向、焼付き等）を確認したが、特に問題はなかった。

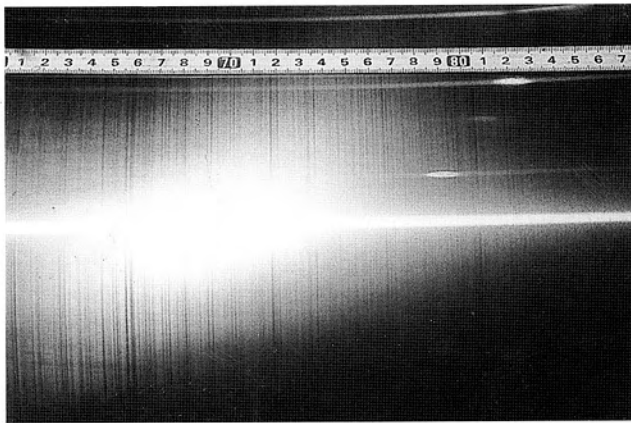


Fig.5 Scratch in forged steel roll after rolling 423 km

3.2 C.P.Cハイスロールの通板量増加試験

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結果、耐摩耗性、耐肌荒れ性が良好であることから、限界通板量を把握する試験を行った。試験は2回実施し、1回目は、通板長さ890km（途中559kmでロール摩耗、肌荒れを調査し、さらに331km追加通板）、2回目は、通板長さ1223km（途中891kmで同様に中間チェックし、さらに332km追加通板）の通板を行った。

2回目のロールプロフィール、摩耗状況をFig. 6に示す。また、表面粗さの変化はFig. 7のとおりである。この結果、通板量891kmから1223kmに延長することにより、エッジ部摩耗が進行しており、表面粗さも大きくなる傾向が認められる。ロール表面外観上は通板量増加による影響は見られなかった。

圧延上、通板長さ1002km程度以降、コイル耳波が発生する傾向がみられ、通板速度を下げていることから、C.P.Cハイスロールの通板限界長さは1000km、鍛鋼ロールの3倍の耐久性であることが判明した。その際の、エッジ摩耗深さは片肉4~5 μ mが限界と考えられる。

4 結言

冷延ワークロールの性能向上を目的として、連続注入クラッド法によるハイスロールの製造と実機適用を行った。その結果は以下のとおりである。

(1) 連続注入クラッド法によって、高炭素ハイス鋼を肉盛した、かたさHsD90-92の冷延ワークロールを開発、

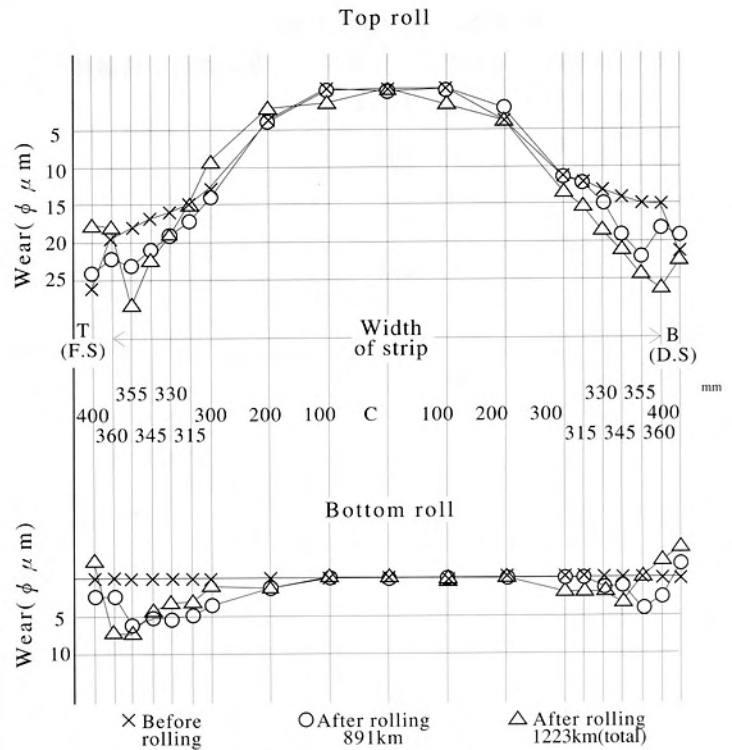


Fig.6 Roll profile after rolling 891km and 1223km

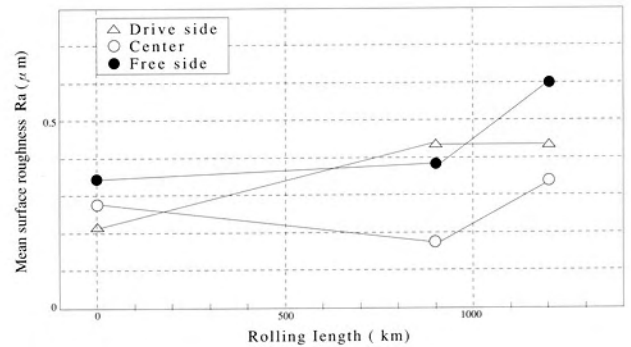


Fig.7 Surface roughness after rolling 891km and 1223km

製造した。

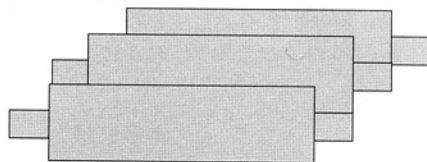
(2) このロールを実機使用し、従来の鍛鋼ロールとの間で耐久性を比較した結果、3倍の耐久性を有することを確認した。

(3) また、連続注入クラッド法によるハイスロールは、圧延によるロール表面粗さの低下（平滑化）が小さく、表面肌荒れ状況は均一でありムラが少ないことも明らかになった。

参考文献

- 1) 坂本眞一, 玉川 進, 津田篤信, 森高靖彦 : フジコー技報, No1 (1993), P.9
- 2) 坂本眞一, 玉川進, 齊藤弘道, 津田篤信, 山本厚生 : フジコー技報, No3 (1995), P.10
- 3) 坂本眞一, 齊藤弘道 : フジコー技報, No1 (1993), P.16

- 4) フジコー技報, No3 (1995), P.49
- 5) 鉄鋼基礎共同研究会・鉄鋼材料の摩耗部会：鉄鋼材
料の摩耗 (1984.2), P.114
- 6) 同上 P.67



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

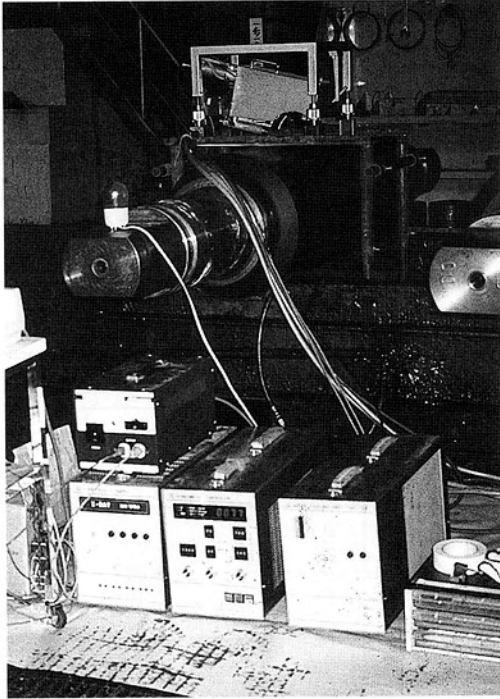


Fig.1 View of measurement

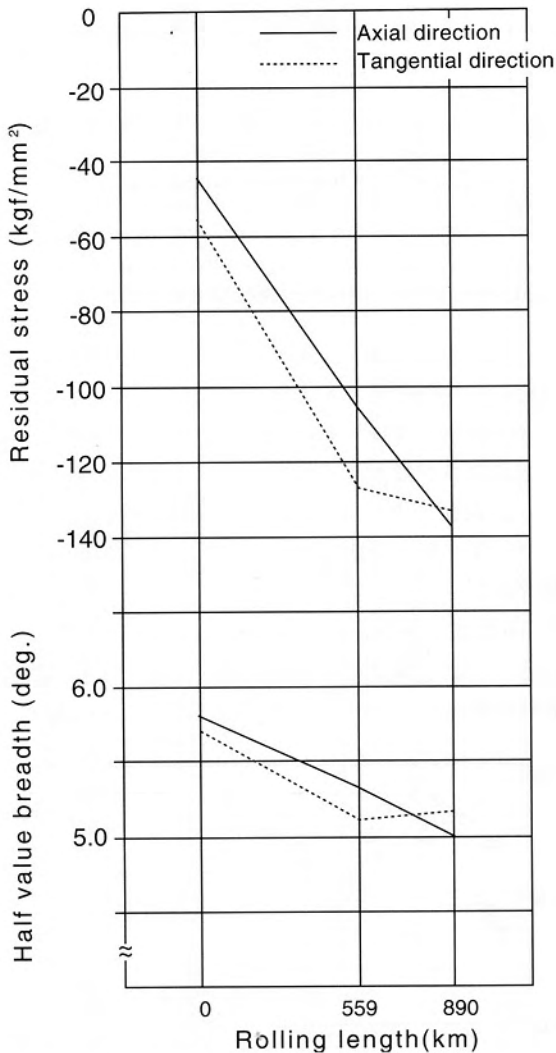


Fig.2 Change of residual stress and half value breadth of C.P.C roll (1) by rolling

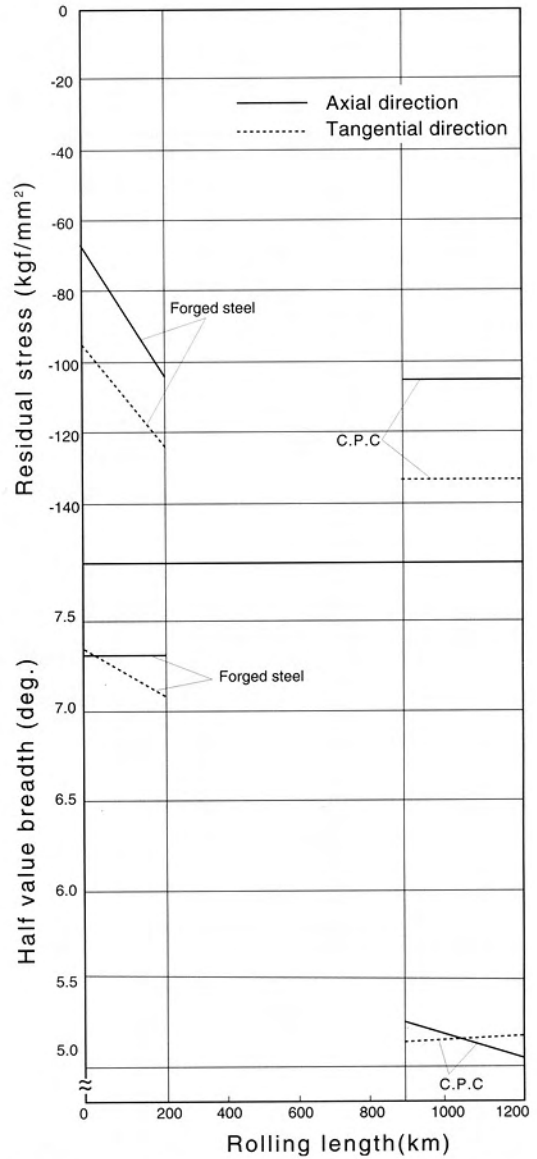


Fig.3 Change of residual stress and half value breadth of C.P.C roll (2) and forged steel roll by rolling

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

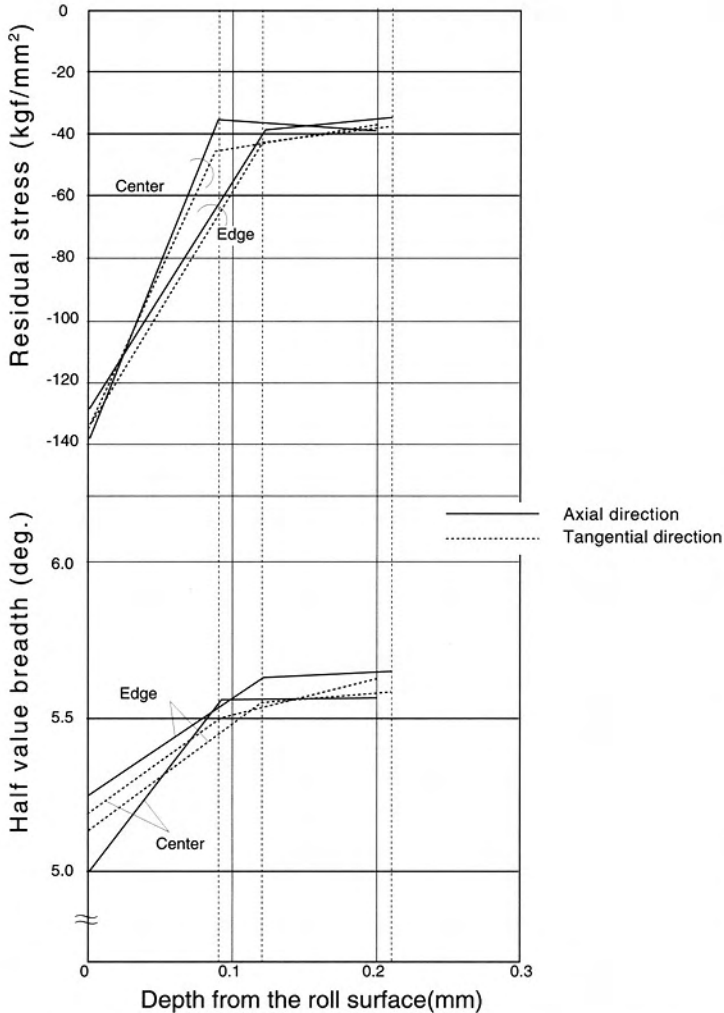


Fig.4 Distribution of residual stress and half value breadth below the surface of C.P.C roll after rolling 890km

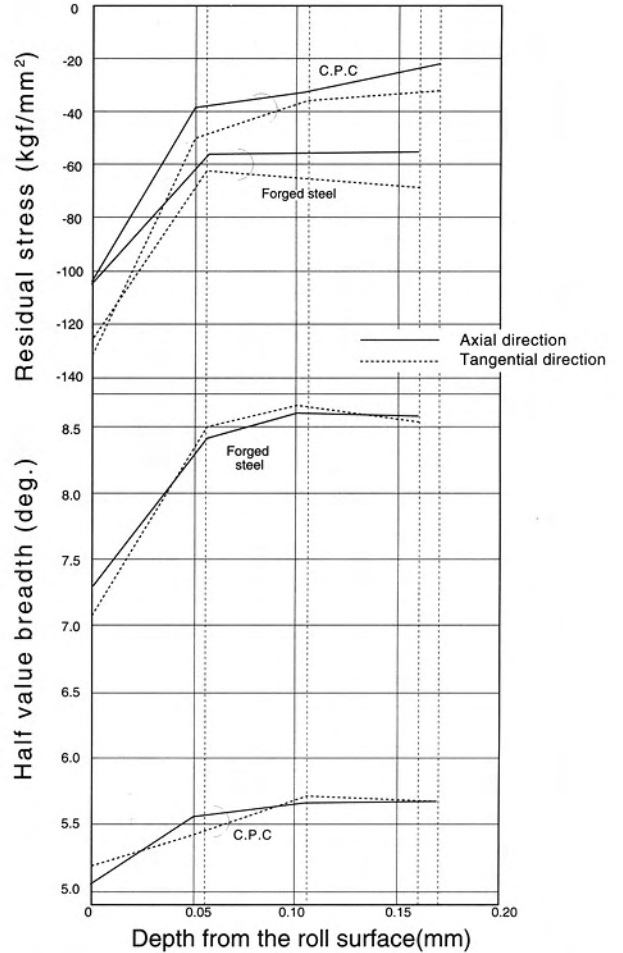


Fig.5 Distribution of residual stress and half value breadth below the surface of C.P.C roll (after rolling 1223km) and steel forged roll (after rolling 228km)

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

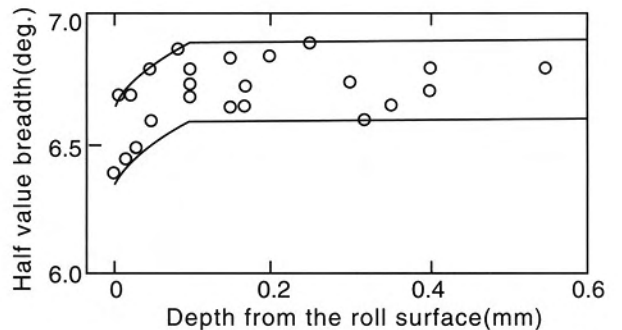


Fig.6 Distribution of half-value breadth below the surface³⁾

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。

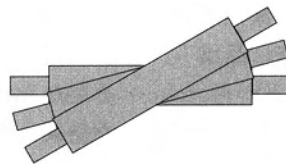
(2) 通板による疲労層深さは、C.P.Cハイスロール、

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



熱延搬送ローラ材の材質特性

Material Characteristics of Run-out Table Rollers for Hot Strip Mill



CPC技術開発室

李平

Ping Li

CPC技術開発室

坂本真一

Shin-ichi Sakamoto

CPC技術開発室長

斉藤弘道

Hiromichi Saito

要旨

弊社C.P.C法による、熱延搬送ローラに適用しているFKC303系の6材質について、組織などの材質特性の体系的調査を行った。FKC303系材質の組織はマトリックス中に分散したVC、粒界に晶出した M_7C_3 およびマトリックスから構成されている。ローラの耐用に影響を及ぼす耐食性は、6材質ともに、優れた耐食性を持ち、耐食性を相対的に比較すると、303、HT、L/C、H/Cr、4T、THTの順に高くなることが判明した。また熱処理特性においては、303、HT、4T材は1100℃以下の温度で焼準効果が顕著であり、他の3材質については、この温度域では、焼準効果が小さいことが認められた。

Synopsis:

As for 6 kinds of material in FKC303 series by C.P.C method being applied to the run-out table rollers for hot strip mill, a systematic investigation on material characteristics such as a structure was carried out. The structure of FKC303 series materials is composed of VC dispersed in matrix, M_7C_3 crystallized in a grain boundary and a matrix. All of the materials have an excellent corrosion resistance, which influences on the useful life longevity of the rolls, and then when a corrosion resistance was relatively compared, it was turned out that it become higher in an order of 303, HT, L/C, H/Cr, 4T, THT. In addition as for heat treatment characteristics, it was recognized that 303, HT and 4T materials are remarkable in a normalizing effect at a temperature below 1100 °C, and then the other 3 kinds of material are slight in normalizing effect in this temperature range.

1 緒言

高クロム (Cr) 鋳鉄は、Crがマトリックス中に多量に固溶して、耐食性、耐熱性を向上させるとともに、 M_3C 型炭化物よりも硬い M_7C_3 炭化物を形成して耐摩耗性にも優れている。しかし、 M_7C_3 が棒状または板状に晶出するので靱性が劣る欠点がある。このようなことから、高Cr鋳鉄のもつ長所をさらに向上させて、靱性に劣る欠点を改良するため、晶出する炭化物の分散性に着目し、MC炭化物の生成元素バナジウム (V) を高Cr鋳鉄に適量加えることによって、V炭化物をマトリックス中に分布させる熱延搬送ローラ材 (FKC303系材質) が開発された。

熱延搬送ローラの中で、ホットランテーブルローラは

弊社の主要なCPC製品の一つであり、また、国内外の製鉄所において広く採用されていることから、その材質であるFKC303系材 (高Cr-V材) の特性をより深く追及することによって、更に使用特性の向上を図りたいと考えている。FKC303系の材質は、熱延搬送ローラ材として、必要なライン特性に合わせて、材質特性の強化をはかった結果、多岐に派生した経緯がある。このようなことから、FKC303系材質の代表的な特性を把握するとともに、使用特性に合った材質を選定、適用することを目的とした。

2 実験方法

2.1 供試材

銑鉄、軟鋼、フェロマンガ、フェロシリコン、フェロクロム、フェロバナジウムなどの原料を用い、中周波誘導炉で溶解した。溶け落ち後浴湯を約1630℃に昇温し、連続注入クラッド法 (C.P.C法) によりFKC303系の6材質の複合スリーブを製造した ($\phi 317\text{mm} \times \phi 284\text{mm} \times \phi 256\text{mm} \times \phi 2000\text{mmL}$)。複合スリーブの母材はSTKM13Aであり、肉盛材の化学組成をTable 1に示す。供試材はこのC.P.C素材をホットランテーブルローラに適用している焼鈍熱処理 (680℃、7時間保持後炉冷) 材とした。

Table1 Chemical compositions of FKC303 series materials (wt%)

Material (FKC303 series)	C	Si	Mn	Cr	V	Ni	Mo
303	1.82	1.29	0.83	1.30	6.09	—	—
H/Cr	1.81	1.25	0.76	17.3	5.89	—	—
L/C	1.42	1.23	0.89	13.2	5.93	—	—
4T	1.54	1.20	0.75	14.0	5.89	0.66	0.86
HT	1.39	1.08	0.89	13.0	4.45	—	0.50
THT	0.90	1.16	0.82	13.8	3.65	—	0.40

2.2 実験方法

顕微鏡観察およびX線回折によって、供試材の組織を調べ、また村上試薬を用いて、点算法 (鋳肌側から10mmの位置、倍率400倍、視野数60) により、 M_7C_3 およびVCの面積率を計測した。

EPMA装置によって、肉盛材と母材との境界近傍の主要な元素について、ライン分析 (加速電圧20kV、試料電流0.02 μA 、ビームサイズ $\phi 1\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$) を実施した。また、肉盛材の主要な元素について、面分析 (加速電圧20kV、試料電流0.05 μA) および定量分析 (加速電圧20kV、試料電流0.05 μA 、ビームサイズ $\phi 1\mu\text{m}$) を行った。

腐食試験は、形状30×15×3mm (孔 $\phi 3\text{mm}$) の試験片を60℃に保持した某製鉄所のミル冷却水に浸漬し、150時間までの腐食減量を測定した。水質は次の通りである。
pH=8.2 電気伝導度=1577 $\mu\text{S/cm}$ Cl^- =368.6mg/l SO_4^{2-} =86.2mg/l Mアルカリ=92.2mg/l

熱膨張試験は、供試材を $\phi 5 \times 60\text{mm}$ に仕上げ、文献¹⁾²⁾の方法を用いて、熱膨張曲線により線膨張係数 (20~700℃)、 γ 化温度、Ms点温度を求めた。

熱処理特性の調査は、試験片を各焼準温度および各焼戻し温度に加熱し、2時間保持してから、空冷したものについて実施した。

3 実験結果および考察

3.1 FKC303系材料の組織および元素分布

3.1.1 組織の特徴

試料の横断面について検鏡した結果によると、ミクロ組織はマトリックス中に分散した粒状 (または板状) 炭

化物、粒界に晶出した棒状 (または板状) 炭化物およびマトリックスからなることが認められる。素材外側 (鋳肌側) から内側になるにともなって冷却速度が減少するために、凝固組織は大きくなるが、炭化物の種類、量および形状はほぼ同様である。

3.1.2 炭化物の種類と量

供試材の組織構成を同定するためにX線回折 ($\text{Co-K}\alpha$) を行った。その回折パターンをFig. 1に示す。フェライ

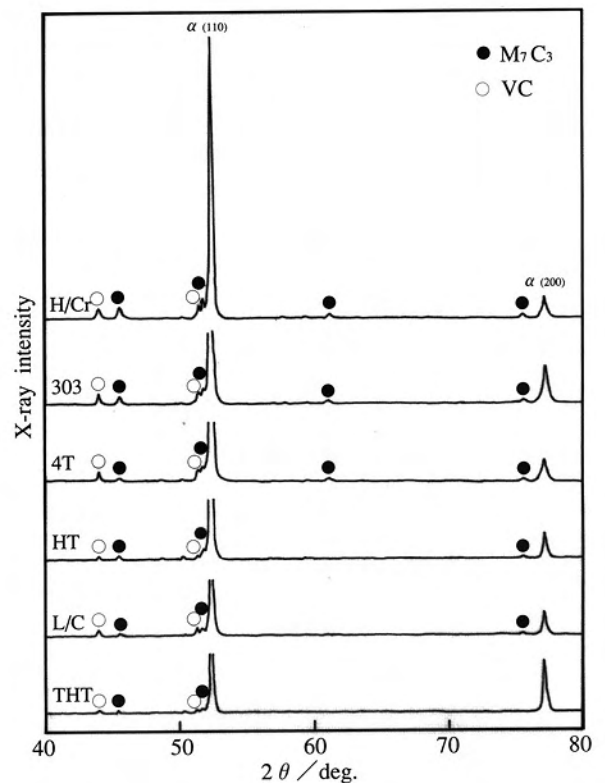
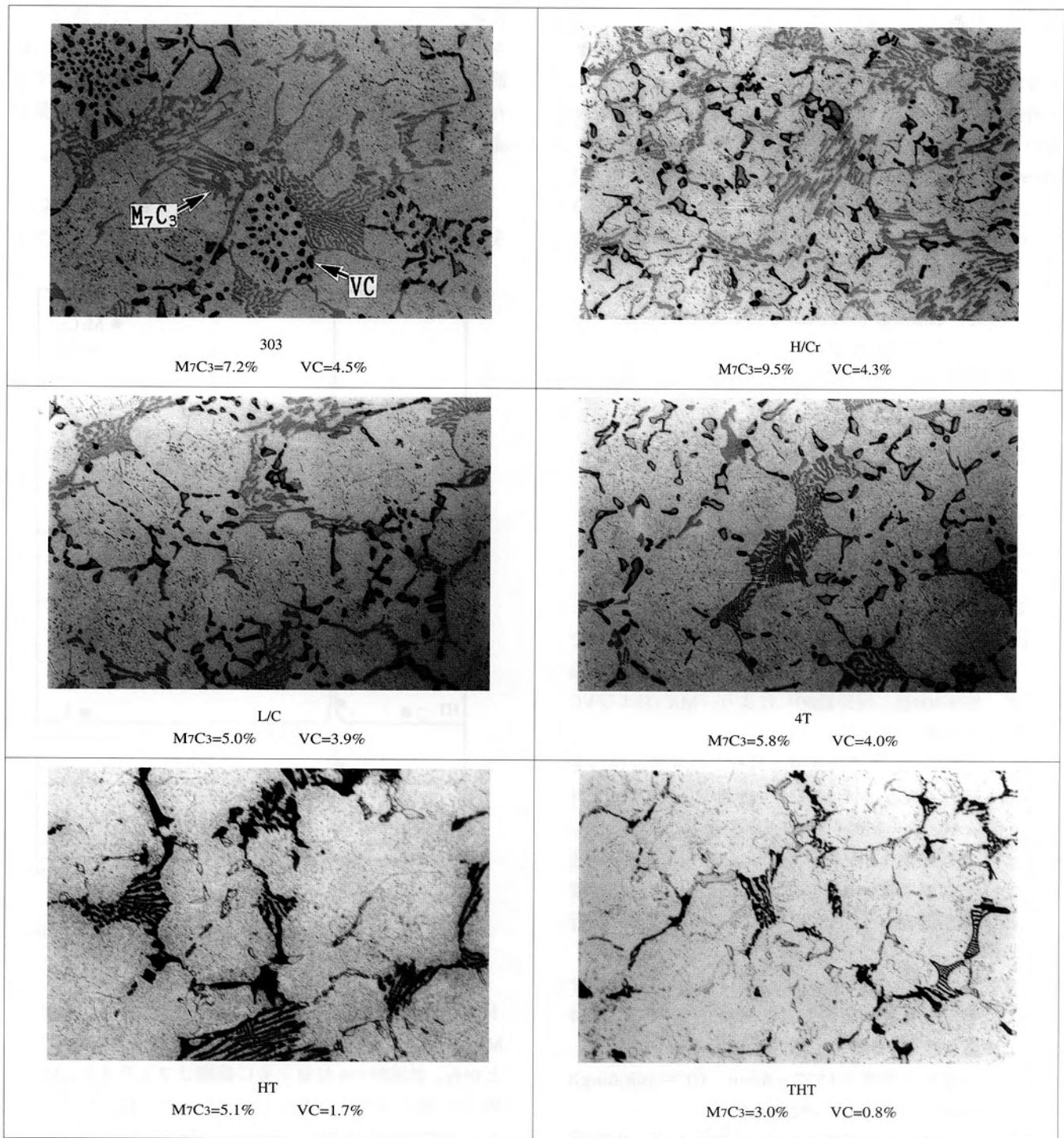


Fig.1 X-ray diffraction patterns of FKC303 series materials (Co-K α radiation)

トの (110)、(200) のX線回折ピークが見られる他に、 M_7C_3 、VC炭化物のX線回折ピークも見られる。このことから、供試材の6材質ともに組織はフェライト、 M_7C_3 、VCから構成されていることがわかった。Fig. 1のH/Cr材からTHT材へ変化するにつれて、 M_7C_3 の回折ピークが低くなっており、 M_7C_3 の量が少なくなると推定される。

同定された2種類の炭化物を観察するため、村上試薬を用いて、供試材のサンプルをエッチングすることによって炭化物を着色し、その組織写真をFig. 2に示す。均一にエッチングされた炭化物は M_7C_3 で、 M_7C_3 は光学顕微鏡下で棒状または板状を呈している。輪郭が強くエッチングされた炭化物はVCで、VCはマトリックス中に分散して、光学顕微鏡下では粒状または棒状を呈している。

晶出炭化物を定量化するため、 M_7C_3 およびVCの点算を行った。その結果も併せてFig. 2中に示す。H/Cr、303材の M_7C_3 量が最も多く、L/C、4T、HT材の M_7C_3 量がほ



25 μm

Fig.2 Optical micrographs of FK303 series materials

ほぼ同レベルであることが認められる。VCについては、303、H/Cr、L/C、4T材のVC量は約4%程度で、HT、THT材のVC量は低く、THT材は最低値となっている。横軸を各材質のC含有量、縦軸を炭化物量として整理すると、Fig. 3が得られ、晶出炭化物量に及ぼすC量、Cr量、V量の影響は、C量が多いほど、晶出炭化物量が多く、同一C量の場合、高Crまたは、高VのほうがM₇C₃量またはVC量が多くなる傾向が認められる。

3.1.3 組織中の主要元素の分析

材質特性は合金元素の分布と関係があるので、EPMAによって、元素分析を行った。EPMA面分析した結果の一例として、303材のSEM像およびV、Crの特性X線像をFig. 4に示す。VはVCおよびM₇C₃中に固溶し、CrはM₇C₃中に固溶していることが認められる。この二つの元素はともに、マトリックス中にも特性X線像が観察され、いずれの元素もマトリックス中に固溶していることが認められる。マトリックス中のCr、Vの定量分析結果をTable 2に示す。すべての材質において、マトリックス

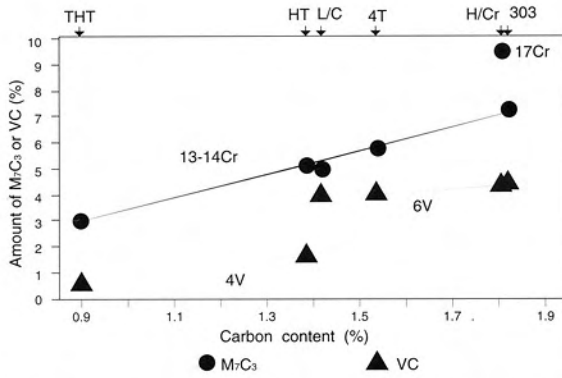
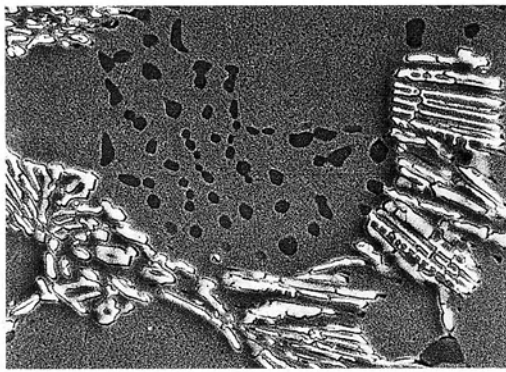


Fig.3 Effect of carbon, chromium and vanadium contents on amount of the carbides

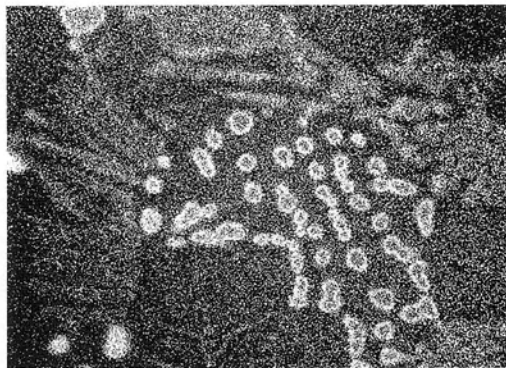
Table2 Quantitative analysis results by EPMA

Material (FKC303 series)	Matrix compositions(%)		Distribution coefficients	
	Cr	V	K _{Cr}	K _v
303	10.016	3.417	0.770	0.561
H/Cr	12.906	3.310	0.746	0.562
L/C	10.411	4.312	0.789	0.727
4T	10.915	3.535	0.780	0.600
HT	10.250	3.401	0.789	0.764
THT	11.000	3.300	0.797	0.904

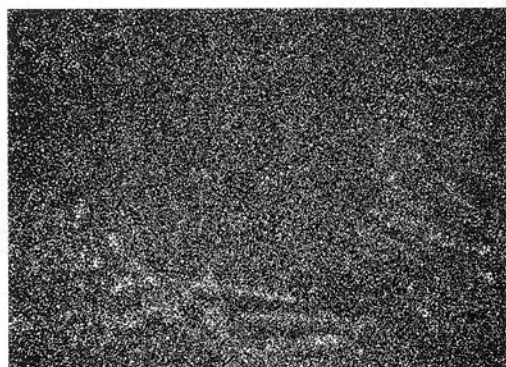
中のCr量は10%以上、V量は3%以上であることが認められる。CrとVの分配係数について、K_{Cr}は0.7~0.8、K_vは0.5~0.9であることが判明した。K_{Cr}と材質のC含有量との関係を図で示すと、Fig. 5が得られる。CおよびCr量の増加につれて、K_{Cr}は減少の傾向が認められ、特にCr量が同等の場合、K_{Cr}はC量の増加とともにほぼ直線的に減少することがわかった。K_vについては、K_{Cr}と同様に、試料のC量およびV量の増加とともに減少する傾向が認められる。これらの傾向は大城ら³⁾の結果と一致している。



Secondary electron image



V K_α



Cr K_α

Fig.4 Secondary electron image and chromium, vanadium X-ray images of material 303

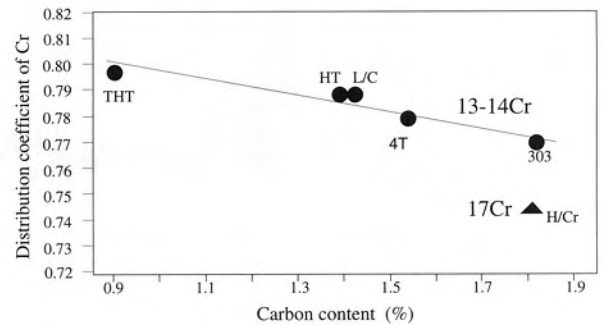


Fig.5 Effect of carbon and chromium contents on distribution coefficient of chromium

3.1.4 境界近傍の主要元素の分析

EPMAライン分析した結果の一例として、303材について境界近傍の元素の分布の状況をFig. 6に示す。破線は境界、右側は肉盛材303材、左側は母材のSTKM13Aである。Cは境界をはさんで約20μm、CrとVについては、約40μmの遷移層が観察される。肉盛材の元素分布を見ると、VC相内でのV分布ラインおよびM₇C₃相内でのCr分布ラインは強く見られ、M₇C₃相内でのC分布ラインよりVC相内でのC分布ラインは高く、VC中のC含有量が比較的に高いことが認められる。

3.1.5 マトリックス中のCバランス

マトリックス中のC比率は材質特性に大きな影響を及ぼすので、6材質のマトリックス中に固溶C比率の程度および順序を知ることが必要と考えられる。熱処理材のマトリックス中のC比率の正確な測定は不可能であるので、次式⁴⁾⁵⁾のCバランスによりマトリックス中のC比率

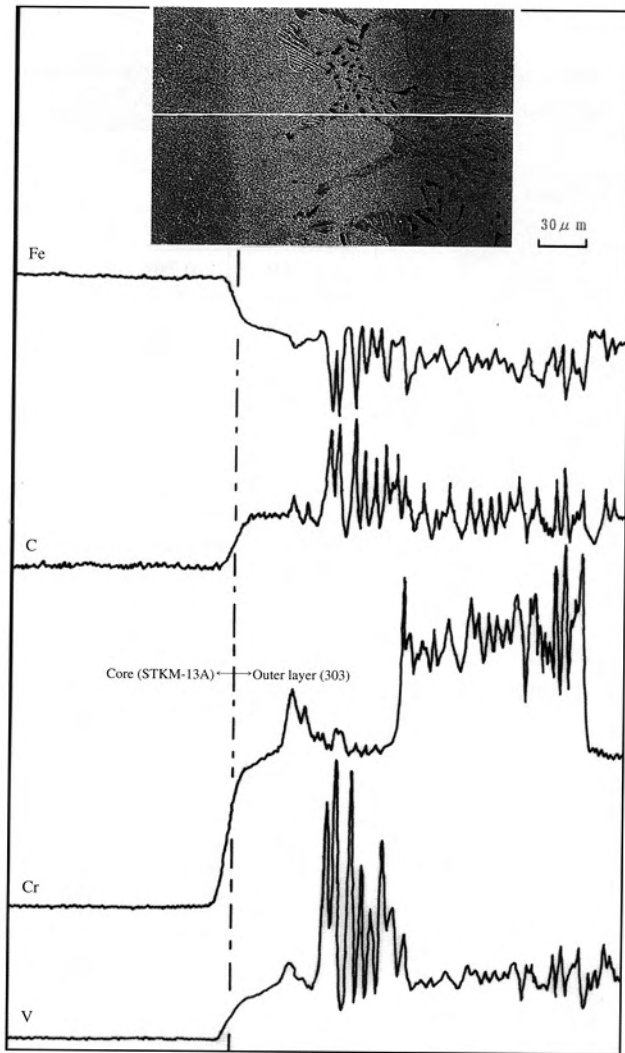


Fig.6 Distribution of iron, carbon, chromium and vanadium near the boundary

の大小を推定する。

$$C_{bal} = \text{試料のC\%} - C_{stoich}$$

ここで C_{stoich} は試料に含有する合金元素に対する化学量論的(Stoichiometric)バランスである。X線回折により、 M_7C_3 およびVCが同定されたので、この2種類の炭化物として化学量論的にバランスするC量は次式で与えられる。

$$C_{stoich}(\%) = 0.099Cr\% + 0.235V\%$$

各材質の C_{stoich} を求め、 C_{bal} を計算すると、Cバランス

は次の順に高くなることが認められる。

$$THT(C_{bal} = -1.324) < H/Cr(-1.287) < L/C(-1.280) < 4T(-1.230) < HT(-0.943) < 303(-0.898)$$

Cは合金元素の中の炭化物形成元素と結合した残りがマトリックス中に分配するので、Cバランスが高いほど、マトリックス中に固溶するC比率は高いと考えられ、マトリックス中のC比率は上の順序で高くなると推測される。

3.2 FKC303系材料の性質

3.2.1 機械的・物理的性質

供試材の機械的性質、物理的性質をTable 3に示す。303、H/Cr、4TおよびHT材の硬さはvHs50程度、L/CおよびTHT材の硬さはvHs45程度である。引張強さ、シャルピー衝撃値について、303、4T、HT材の引張強さと衝撃値が最も高く、他の3材質の引張強さは70~85kgf/mm²程度である。線膨張係数において、THT材の線膨張係数が最も大きく(12.5×10⁻⁶/℃)、他の5材質の線膨張係数は11.2×10⁻⁶~11.9×10⁻⁶/℃の範囲である。THT材の高い線膨張係数はTHT材のC含有量が最も低いことによると推定される。1000℃までの測定範囲で、303、HTおよび4T材についてはオーステナイト化温度(γ化温度)が検出され、他の3材質のγ化温度は1000℃以上の温度であると考えられ、6材質のγ化温度は次の順に低くなることが認められる。

THT、H/Cr、L/C > 4T(977℃) > HT(950℃) > 303(940℃)
γ化温度の測定結果によって、303、HT、および4T材の3材質は比較的低温で焼入れしやすいことが推定される。

3.2.2 耐食性

熱延搬送ローラは一部のミルで腐食を主体とした摩耗が発生する場合があるので⁶⁾、6材質の耐食性を比べるため、腐食試験を行った。腐食によるサンプルの減量およびサンプル表面の状況をそれぞれFig. 7、Fig. 8に示す。腐食時間が長くなると、減量が増加するのは当然であるが、150時間の腐食減量を見ると、耐食性は303、HT、L/C、H/Cr、4T、THT材の順に高くなり、4T材を除いて、この順序はマトリックス中のC比率の低い順に一致して

Table 3 Mechanical and physical properties of FKC303 series materials

Material (FKC303 series)	Mechanical Properties					Physical Properties		
	Hardness (vHs)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Charpy impact value (kgf.m/cm ²)	Expansion coefficient (/℃)	Austenitizing temperature (℃)	Martensite starting temperature (℃)
303	50.3	98.9	2	3	0.5	11.585 × 10 ⁻⁶	940	359
H/Cr	49.2	75.1	2	3	0.4	11.943 × 10 ⁻⁶	—	—
L/C	45.5	68.0	3	2	0.2	11.282 × 10 ⁻⁶	—	—
4T	49.5	103.6	2	2	0.5	11.246 × 10 ⁻⁶	977	310
HT	47.8	95.8	2	2	0.4	11.857 × 10 ⁻⁶	955	328
THT	44.1	84.2	3	4	0.3	11.548 × 10 ⁻⁶	—	—

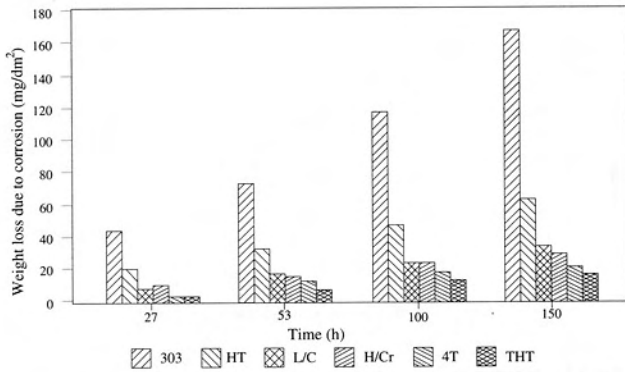


Fig.7 Results of the corrosion test for FK303 series materials

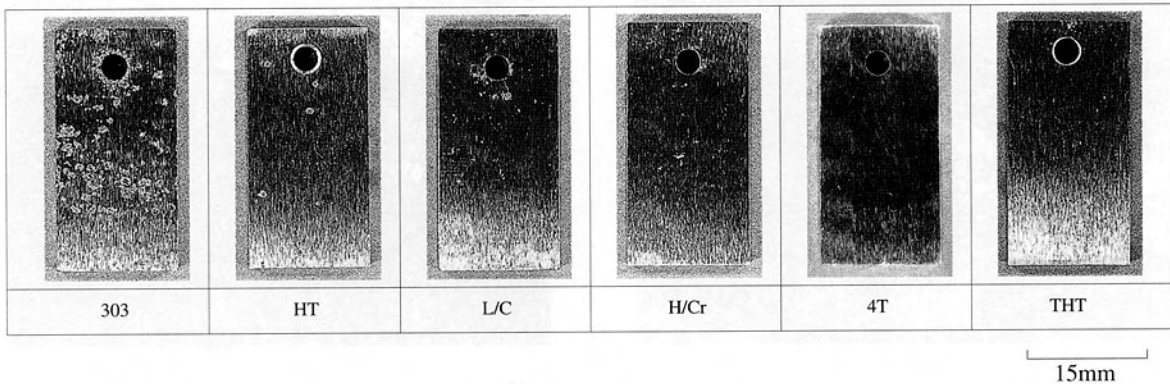


Fig.8 Surface condition of the samples corroded by cooling water of hot strip mill for 150h

いることが認められる。4T材の高耐食性はCバランスの影響を与える元素の他に、Niの効果によってもたらされているようである。303材の耐食性を1とすれば、相対的耐食性は次のように示される。

$$THT(9.8) > 4T(7.6) > H/Cr(5.5) > L/C(4.8) > HT(2.6) > 303(1)$$

L/C材の耐食性は303材の5倍ぐらいであり、これは実機のホットランテールローラの耐用比と一致している⁶⁾。

腐食試験結果から、一年間の腐食量 (mmpy) を求めると、303、HT、L/C、H/Cr、4T、THT材の年間腐食量はそれぞれ0.129、0.049、0.027、0.023、0.017、0.013mm/yと小さく、他の金属材料と比較しても、優れた高耐食性を有していることを示し、これはマトリックス中のCrの比率が高く、逆にC比率は低いことによるものと推定される。

一般的に、Cr/C、Ni/CおよびMo/C量の増加により、耐食性が上昇することから、Fig. 9のように腐食減量と(Cr+Ni+Mo)/Cとの関係を整理すると、1Cあたりの(Cr+Ni+Mo)量が高くなると、腐食減量が小さくなる傾向が認められる。また、(Cr+Ni+Mo)/Cが同じ値の場合、高V材質は耐食性が高く、このことはVがVC炭化物を生成することによって、マトリックス中への固溶Cの減少をもたらすことが、耐食性を上昇させる要因になっているようである。

3.3 FK303系材料の熱処理特性

通常ホットランテールローラの場合、熱処理としては、焼鈍のみの比較的低硬さで使用されているが、FK303系材質の適用拡大を図るために、焼準、焼戻しによるマイクロ組織および硬さの変化などの熱処理特性について調査した。

1150℃までの焼準温度による硬さの変化をFig. 10に示す。303、HT、4T材は1100℃以下の焼準温度で、硬さ上昇が大きく、他の3材質については、1100℃以上に加熱しなければ、焼準効果が小さいことが認められる。組織を観察した結果でも、同様の結果が得られた。

焼準特性は試料の化学組織に左右され、とくにマトリ

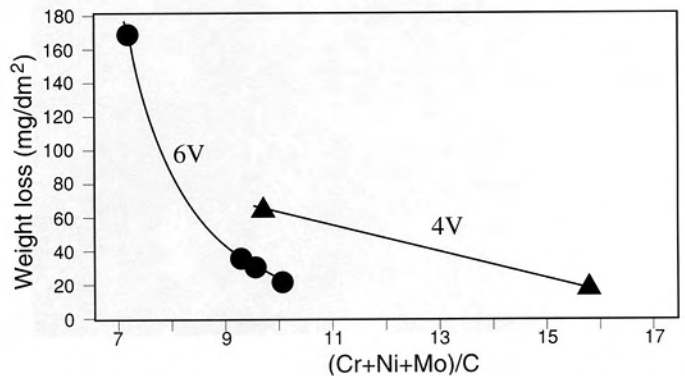


Fig.9 Effect of (Cr+Ni+Mo)/C ratio on weight loss due to corrosion

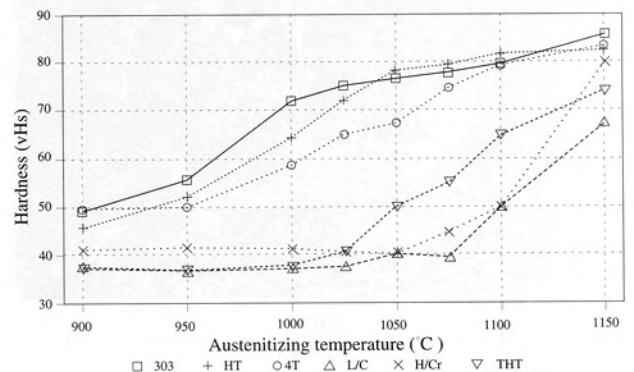


Fig.10 Effect of austenitizing temperature on hardness of the air-cooled materials

ックス中のC比率によって決定されている。Cバランスからの推定によって、303、HT、4T材のマトリックス中のC比率は最も高く、このことから、焼準の効果もたらされると考えられる。4T材の場合、Cバランスの影響を与える元素の他に、Niの効果もあるようである。

1100℃以下の焼準温度で、焼準効果が生じた303、4T、HT材を対象とし、焼戻し特性を調べ、この3材質の1075℃焼準材の焼戻し温度による硬さの変化をFig. 11に示す。これらの3材質ともに、540℃の焼戻し温度で、硬さがわずかに上昇し、540℃以上の焼戻し温度で、硬さが低下することが認められる。

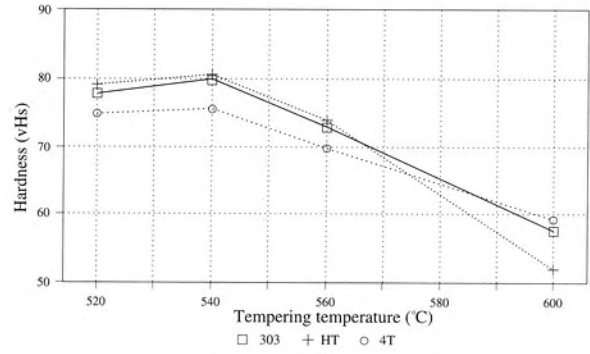


Fig.11 Hardness as a function of tempering temperature for the materials air-cooled at 1075 °C

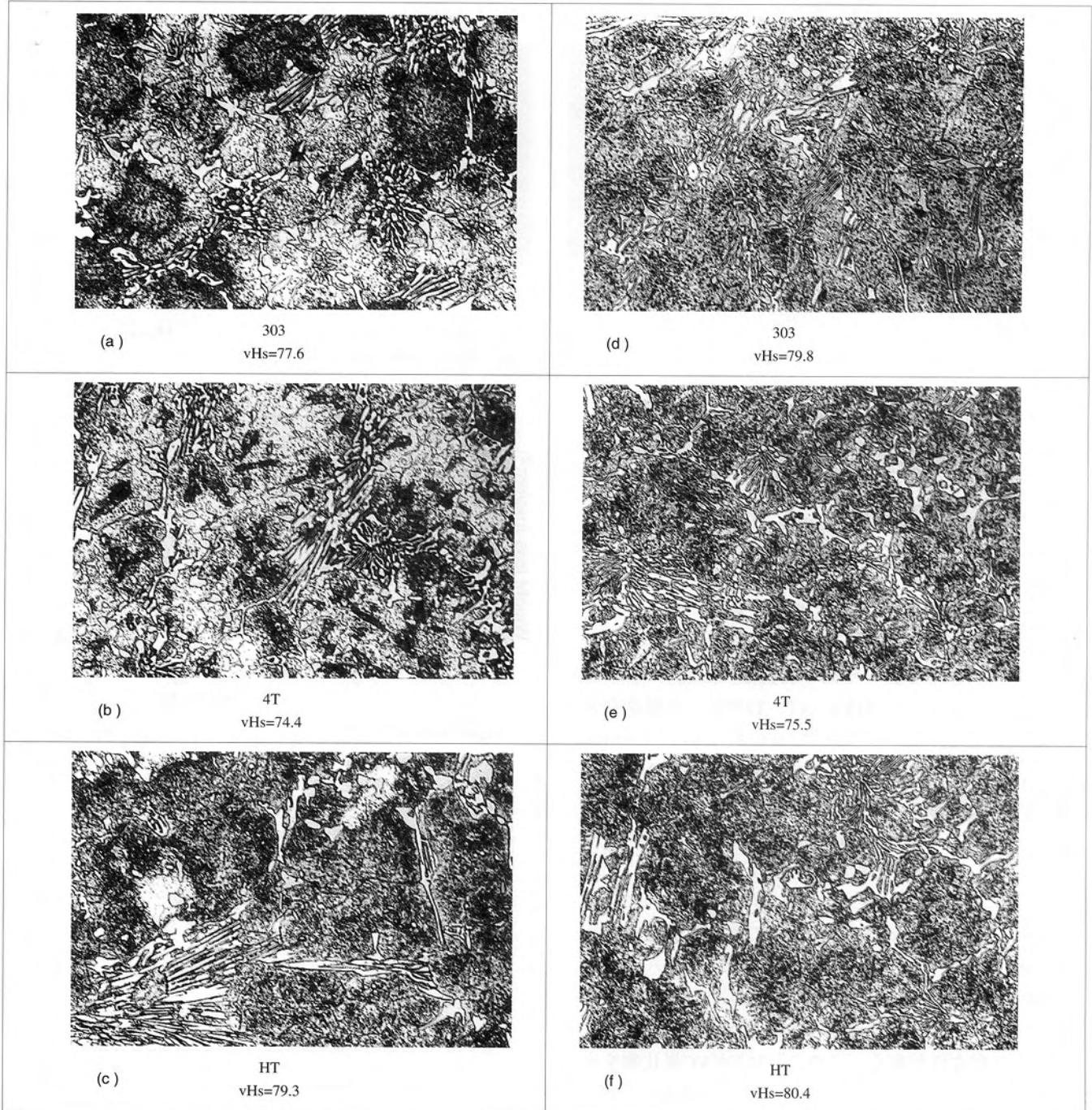


Fig.12 Optical micrographs of the materials quenched at 1075 °C ((a)~(c)) and tempered at 540 °C ((d)~(f))

Fig. 12に1075℃焼準後の組織とそれの540℃焼戻し後の組織を示す。1075℃焼準後の組織写真によると、マトリックス中にマルテンサイト相の他に、残留オーステナイト相も見られる。この残留オーステナイト相はほとんどVCのまわりに存在しており、このことは、VCが焼準温度で溶け込みにくく、VCの周辺に低C比率をもたらすことによって、オーステナイト相からマルテンサイト相への変態が起こりにくいからである。1075℃焼準材を540℃で焼戻すと、残留オーステナイト相がほとんど見られず、これは残留オーステナイト相が焼戻しにより炭化物を析出し、それにとまって、残留オーステナイト相のマルテンサイト化をきたすためである。

4 結論

熱延搬送ローラに適用しているFKC303系の6材質について、材質特性を調べた。その結果を要約すると、次の通りである。

(1) X線回折および組織観察により、6材質ともに、組織がマトリックス中に分散したVC、粒界に晶出した M_7C_3 およびマトリックスから構成されている。炭化物の面積率は高Cおよび高Cr、高V材においてリニアに増大する傾向が認められる。

(2) EPMA分析により、マトリックス中の固溶Cr、V量はそれぞれ10%、3%以上であり、CrおよびVの分配係数はC量の影響が大きく、増加につれて減少の傾向がある。Cバランスの計算によって、マトリックス中のC比率は303、HT、4T、L/C、H/Cr、THT材の順序で低くなることが推定される。

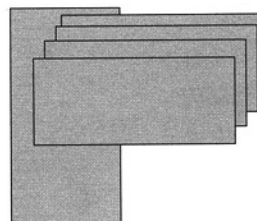
(3) ミル冷却水による腐食試験により、6材質ともに、優れた耐食性をもち、耐食性は303、HT、L/C、H/Cr、4T、THT材の順に高くなる。

(4) 熱膨張曲線により γ 化温度は303、HT、4T (L/C、H/Cr、THT) 材の順で高くなる。熱処理特性においては、303、HT、4T材は1100℃以下の温度で焼準効果が顕著であり、他の3材質については、この温度域では焼準効果が小さいことが認められる。

(5) 材質特性は化学組成に左右され、特に炭化物形成元素によってもたらされるマトリックス中のCバランスの影響が大きく、Cバランスの減少につれて、耐食性は向上することが認められる。熱処理特性においても、Cバランスの影響は、減少につれて、 γ 化温度が上昇し、焼準効果が得にくくなる傾向が認められる。

参考文献

- 1) 桑野正司, 大城桂作, 松田公扶: 鋳物, 54(1982), 9, p.586
- 2) 桑野正司, 大城桂作, 松田公扶: 鋳物, 55(1983), 9, p.558
- 3) 大城桂作, 白木茂敏, 松田公扶: 鋳物, 52(1980), 11, p.629
- 4) G.Steven, A.E.Nehrenberg and T.V.Philip: Trans. ASM, 57(1964), p.925
- 5) 松原安宏, 笹栗信也, 本田義興, 武宏強, 橋本光生: 鋳物, 66(1994), 11, p.815
- 6) 坂本眞一, 玉川進, 森高靖彦, 山本厚生: 材料とプロセス, 3(1990), p.1349



1 はじめに

広く使われている「焼付き」という現象の概念を正確に述べることは難しい。というのは、焼付きは色々な場面で色々な形で出現するので、人によって捉え方が様々であるからである。

日本語では「焼付き」が最もポピュラーに使われており、何でも焼付きで通してしまうが、類似語としては「かじり」、「凝着」、「溶着」、「融着」などがあり、それぞれ若干ニュアンスが異なる。ところが英語でも事態は似ており、まず Scuffing (イギリスで多く使われる)、Scoring (アメリカで多く使われる) という用語が、「潤滑が不良となって局部的に融着した表面が引きはがされて疵をつける現象」という意味で使われている。次に、激しい焼付きとして、Galling と Seizure があり、さらに、比較的微細な移着現象に対して、Pick-up、Transfer、また凝着、粘着という意味もある Adhesion なる用語もあるが、これらが厳密に使い分けられているとはいえない。

このように国内外で多くの用語が混同して用いられているのが実状であるが、現象的にも軸受けからロールまで種々の材料間の、色々な場合に様々な形態があること、そしてそれらは主観的、定性的にしか捉えようがないことが「焼付き」があいまいなまま容認されている原因と思われる。

ここでは、金属材料の摩擦において頻繁に出現するこの焼付きについて、現在何がわかっているのか、そしてその防止には何が効果的なのかを浅学を顧みず解説し、この混乱を少しでも和らげたいというのが筆者の思いである。

2 焼付きとは何か

焼付きの「焼」は温度上昇を意味する。すなわち、摩擦中に何らかの原因で摩擦面温度が上昇して摩擦面の一部が「くっつく」というのが語源であろう。そしてこれは摩耗のように徐々にではなくカストロフィ (悲劇的な結末) として突然出現するのが特徴である。いかえると、正常な摩擦状態がある時突然変調をきたして異常となり、摩擦を中止せざるを得なくなるのが焼付きの発生なのである¹⁾。

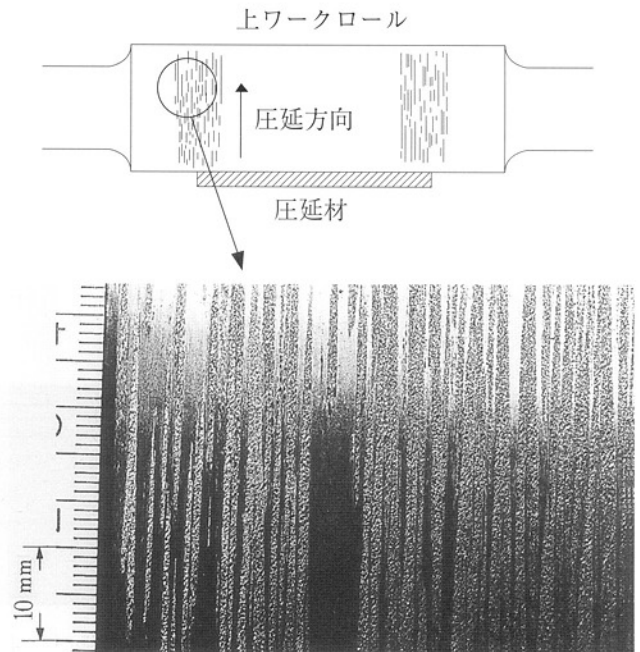
焼付きの規模は大小様々であるが、目に見えないまま成長しないものは恐らく無害であろうから、判定は通常肉眼に頼る。そしてミクロに調べると、一方の材料が

他方の表面にくっ付いている。これが焼付きと決めつける場合の唯一の証拠となる。なぜくっつくのかというのは素直に湧いてくる疑問であるので、この点については次章で述べる。

焼付きを大きく分けると、軸受け、歯車、ピストンなどの潤滑油の助けを借りて定常的に動いている機械で生じるものと、圧延、成形などの比較的大きな面圧を受ける加工工具に生じて製品表面に次々に疵をつけるものがある。前者は主に潤滑油の問題であろうから、ここでは金属材料屋にとって興味がある後者に焦点を絞ることにする。しかしそれでもなお、熱間と冷間、鉄鋼と非鉄、ロールとガイドシューなどの違いにより様々な焼付きが出現するのであるが…。

加工における焼付きについては文献²⁾の特集号を参照されたい。

焼付きの形態の一例として、ステンレス鋼の熱間圧延においてロールに生じたものを図-1³⁾に示す。ロール両端近くで円周方向に筋状の肌荒れが断続しているのがわかる。焼付きのないロール中央部に比べて、表面の凹凸が大きく、板に転写して疵を付けるので、ロールは直ちに交換される。



Y製鉄所熱間圧延機仕上げ3号スタンドでステンレス鋼930ton圧延後の高クロム鋳鉄ロール

図-1 圧延ロールの焼付きの例

ることにより、金属同士の接合（金属結合）に至らしめるものである。この場合にも接合可能な異種金属の組み合わせは多く、表-2⁷⁾のようである。

表-2 異種金属拡散接合部の引張り強さ

Be	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zr	Nb	Mo	Pd	Ta	W	Pt	U	
A					A												Be
	A	B	A		A		B	B									Al
		A															Si
			A	A	B		C	B		B	A	B	B	A	B		Ti
				A		B	A	A	C				B			B	Cr
					A												Fe
						A	A		C	C							Co
							A	A	C	A							Ni
								A									Cu
									A							B	Zr
										A	B						Nb
											A						Mo
													B				Pd
														B			Ta
															A		W
																	Pt
																	U

A : 母材強さと同等
 B : 母材強さの50%以上
 C : 母材強さの50%以下

(異種金属の接合の強さは、強さの低い母材を基準)

3.6 原子結合

最後に、結合の本質を知るべく、原子の世界に立ち入ってみたいと思う。原子の結合方式は昔からイオン結合、共有結合、および金属結合に分類されていた。ところが最近では固体電子論の進歩により、原子の電子構造から統一的に論じられるようになった。つまり、どの原子も核の周囲に雲のごとく分布する電子雲を持っているが、その電子雲が接近したときの全エネルギーが最小になるように接合するというのである。この理論のもとになるポリアル定理から出発すると、コンピュータ計算によって結合状態はもちろん、結合した物質の性質さえも求められるのである⁸⁾。固体の性質は原子核ではなく、電子の状態が直接決めているということが出来る。最近、摩擦表面の原子の動きを計算により求めた例⁹⁾がいくつかあるが、これらはスーパーコンピュータの発展に負うところが極めて大きい。

この固体電子論によると金属結合は特異な結合として説明される。すなわち、金属の電子構造は特定の原子に属さない自由に動き回れる電子が何個かあるのが特徴で、この自由電子とそれ以外の電子との相互作用によって結合している。この自由電子は電気と熱の伝導の主役であるといわれているが、金属結合においても重要な役目を果たしているのである。金属は原子移動（拡散）が起こり易いとか、他の原子を固溶して性質を変えたり、また適度の硬さを有して塑性変形が可能であるなど、利用しやすい材料であるのも全てこの金属結合のためなのである。自由電子を持たない原子はより強固に結合するので加工が難しく、金属とは全く異なった性質を示す。

最近の研究に超高真空結合というのがある。これは 10^{-10} Torr. 以下の超高真空中で、吸着層を完全に除去した2表面を軽く接触させるとそのまま結合してしまう現象を応用するものである。コンタミネーション（汚れ）のない表面がいかに活性かということを示しているが、実用性のほどは不明である。

このように、学術的に整理された結合様式に対して焼付きはどのような機構によって結合しているのであろうか。不思議なことに、この質問に答えてくれる文献は見当たらないのでここに推測するしかない。恐らく、部分的な動的固相接合状態、むしろ圧接に近いものと化学的吸着とが混在したものではなかろうか。固相接合は原子的には金属結合ではあるが、平衡的な金属結合にまで至っている割合は極めて少ないのではないか。ここで動的という意味は、摩擦表面の特異性、つまり、酸素、炭素、水などを吸着した上に摩擦による大きな歪みと熱を与えられて非結晶質に近い乱れた状態の原子、分子同士が接近し、ある部分では強く、他の部分では弱い力で結合しており、時間とともに変化する。つまり、短い範囲での原子移動（拡散）が生じ、結合状態が変化していく。このような複雑怪奇さの故に誰もが真剣に取り組もうとしないのであろうと推察され、焼付きの結合機構の正確な解明は今後に期待するしかない。

要するに、焼付きとは非定常、非平衡状態の動的な特異な結合であるといえる。そして金属は塑性変形が可能なので、初期表面に凹凸があっても面圧が大きくなれば表面原子同士が接近しやすく、また格子欠陥を通して表面の非金属原子の拡散が起こり、金属原子の電子が相互作用をおよぼすようになるので、本質的に焼付き易い性質があるということが出来る。

4 焼付きに影響する因子

原子の世界から再び現実に戻ると、焼付きに影響する多くの因子は経験的に次のように整理されている。

4.1 金属の組み合わせ

同種金属は俗に共金（ともがね）というが、これが焼付き易いことは容易にわかる。しかし、異種金属の組み合わせでも、焼付きが一度始まると同種金属同士の摩擦となるがためにたちまち成長してしまう。

しからは、異種金属同士を組み合わせた場合、焼付きが始まり易いのかどうかについて見てみよう。金属には焼付き易い組み合わせと焼付きにくい組み合わせがあり、これを統一的に説明しようとする試みが以前いくつかなされた。一例を表-3¹⁰⁾に示すが、液相で全率固溶し合う組み合わせを miscible pair、そうでないものを immiscible pair とすると、miscible pairの方が焼付き易い組み合わせが圧倒的に多いことがわかる。この表と表-1、2とは比較が難しいが、要するに金属は異種でも意

外に結合し易い材料であることは間違いなさそうである。ことに、鉄には多くの金属が焼付く。Cuが焼付きにくい方に入っているが固相接合では接合可能となっているのは、焼付き評価方法に何らかの問題があったのかもしれない。

Moは焼付きにくい金属として有名であるが、油中での実験結果である表-3では焼付き易い部類に入っている。これはやはり、大気中では容易に酸化して生じるMoO₃の蒸気が金属接触を妨げるからであろうか。

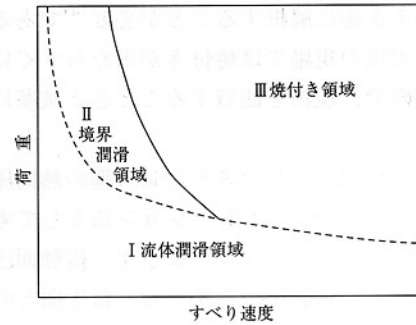


図-3 Salomon の線図

表-3 金属の相性と焼付き易さ

(a) Miscible Pair による結果	
焼付きやすい	鋼 Be, Al, Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd, Ce, Ta, W, Ir, Pt, Au, Th, U
	Al Be, Mg, Al, Si, Ca, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cb? Mo? Rh, Ag, Sn, Ce, Ta, W, Pt, Au, Th, U
	Cu Be, Mg, Al, Si, Ca, Ti, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Cb? Mo? Rh, Ag, Cd, In, Sn, Ce, Ta, W, Pt, Au, Th, U
	Ag Be, Mg, Si? Zr? Cd, In, Th? Au
焼付きにくい	鋼 Cu?
	Al Zn
	Cu Sb
(b) Immiscible Pair による結果	
焼付きにくい	鋼 Ag, Cd, In, Ti, Pb
	Al Cd, In, Ti, Pb, Bi
	Cu Cr, Ti, Pb, Bi
	Ag Ti? Cr, Fe, Co, Cb
焼付きやすい	鋼 Li, Mg, Ca, Ba
	Al C
	Cu C, Fe?
	Ag C, Mo? Ni

また、合金では、ステンレス鋼が焼付き易いことがよく知られているが、この理由は残念ながらまだ誰にもわからない。Cr含有量が高いほど焼付き易いといわれているが¹¹⁾、固溶しているCrそのものが結合に関与しているのか、表面酸化膜の性状の違いか、あるいはCrが高いほど表層が塑性流動し易いために種々な推測ができる。硬さの影響は後述する。経験則的に焼付き防止のためにCrは7%以下に抑えられるが、この値はステンレスとして耐食性を発揮する下限に近い値でもある。このことから、酸化膜が最も疑わしいと思われるが、まだ実証されていない。

他に、合金元素として、Nb、Al、Tiが入ると焼付き易いといわれることもあるが、明確なデータは認められない。

4.2 P V 値

軸受などの焼付きでは、接触面圧Pとすべり速度Vの積PV値が焼付き発生の基準とされる。これはPを縦軸に、Vを横軸にとって焼付き限界を求めると図-3¹²⁾のようにほぼPV=const.の曲線で表わせるからである。PV値は摩擦係数が変化しないとした時の単位時間に発生する摩擦熱に比例する数値であり、摩擦中の表面温度にも関連している。いわば、焼付きの本質に最も近い因子である。このことから、焼付き限界荷重、限界すべり速度、限界表面温度という指標がよく用いられるのであろう。

4.3 硬さ

軟らかい金属は硬い金属より焼付き易いこともよく知

られている。これはもちろん金属の組み合わせにもよるが、同じ組み合わせでも一方を熱処理などで硬さを変えた場合に当てはまるようである。この理由は、軟らかいということは摩擦力によって表層が塑性流動し易いことであるから、表面の酸化膜が破れて新生面が現われ、金属接触を生じ易いからであろうと推測できる。また、変形による歪みのために拡散も生じ易いことも関係すると考えられる。

4.4 表面粗さ

おもしろいことに表面粗さは焼付き易い方にもにくい方にも作用する。つまり、潤滑剤があって面圧が低い時には、適当な粗さがあった方が潤滑剤の供給源となるので好ましいが、そうでない時には粗さが大きいと凸部に強い応力がかかって変形し、新生面が現われて焼付きが発生する。したがって、加工工具では一般に粗さは小さい方が好ましいといえるが、スリップが生じるほどになると逆に著しい焼付きを招くことにも注意せねばならない。

4.5 金属組織

金属組織の影響はそれほど大きくなく、組織が不均一の方が焼付きにくい傾向が認められる程度である。これまで述べてきたことから、非金属つまり、炭化物、黒鉛などを多く含む材料の方が金属結合を起しにくいことは容易に推察できるであろう。昔から、鋼より鋳鉄の方が焼付きにくいことが知られている。

5 焼付きの評価試験法

摩擦と同じように、焼付きの評価試験法は研究者ごとに種々の方法が考案されている。最も多いのは固定試験片を回転試験片に押し付けるものであるが¹³⁾、これは圧接にほかならない。いいかえれば、完全に圧接する前の途中段階を見ているに過ぎない。摩擦はマイルドからシビアまで広い条件で生じるが、焼付きは前章で述べたように、限界荷重、限界温度を超えないと発生しないのであるから、どうしても試験条件範囲が制限されてしまう。また、焼付き性の定量的表現が難しいことも評価法開発を遅らせている原因のひとつである。

さらに、シミュレーション法を考える時には、まず、

実際の現象を正確に解析することが必要¹⁴⁾であるが、困ったことに大抵の現場では焼付きが出たらすぐに削り取ってしまうので、現物を観察することさえ滅多にできない。

著者が図-1、2で示したステンレス鋼の熱間圧延ロールに生じる焼付きのシミュレーション法として考案したころがりすべり方式を図-4¹⁵⁾に示す。接触面圧を実際に近づけるために試験片巾を狭くし、新生面との接触にするため10回転ごとに摩擦位置をずらし、厚い酸化膜が生じないように温度を600℃にしたことなどが工夫した点である。この方法で発生した焼付きは実ロールから採取した焼付きに大変近似していたので、その後の研究をすることができた¹⁶⁾。

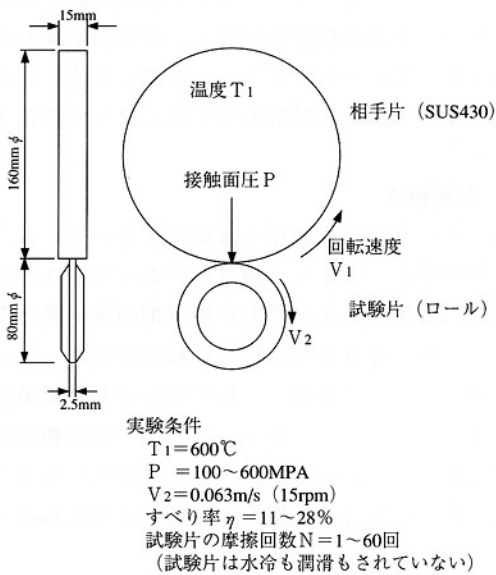


図-4 圧延ロールの焼付き試験法

6 焼付き防止法

製鉄プロセスラインなどで焼付きが生じると製品に疵をつけて大問題となるので、現場技術者にとってその防止法は重要な課題である。そして大抵の場合、経験的に求めた焼付きの生じない条件で作業が続けられている。

焼付き防止法としてまずロール材質改善が求められることが多いが、これはほとんどの場合成功しない。理由は、ここまで読まれた読者なら理解できるであろうが、金属は本質的に焼付くものだからである。従って、金属の焼付きを防止するには接触面を非金属化するしかない、すなわち広い意味の潤滑である。この時常に注意せねばならないことはその供給方法である。潤滑剤が界面に存在しなければ何の役にも立たないからである。

潤滑剤を系外から供給しなくても材料自身の酸化膜を利用することはおもしろい方法である。実際に、継目無鋼管の圧延ではあらかじめ厚い酸化膜を生成させた工具が用いられており¹⁷⁾、この処理をしないと圧延ができない。

もうひとつの方法は工具表面をセラミックスにすることである。しかし、表面の凸凹に金属が埋め込まれてしまうと金属同士の接触となること、およびセラミックスが割損しやすいことなどの問題があるので、実用化の成功例はまだ少ない。

7 まとめ

焼付きは解明が遅れているトライボ現象の一つであり、明確な指導原理が見当たらないのが現状である。現在の科学技術によれば、金属同士が接触すればその種類が異なっても焼付きの生成を完全に防止することはできない。ただ、焼付きは必要条件がそろわないと生成しないので、限界ぎりぎりのところで用いられている場合には、4章で述べたように硬さを増すとか、表面粗さを下げることなどの材料選定がその防止対策として有効になることもある。しかし、抜本的な防止法には潤滑剤の使用、あるいは表面の非金属化しかない。

参考文献

- 1) 木村好次：塑性と加工，24 (1983)，No.265，P.91
- 2) 塑性と加工，24 (1983)，No.265
- 3) 加藤 治，川並高雄：塑性と加工，30 (1989)，No.336，P.103
- 4) 例えば，I.V.Kragelsky：Trans. ASME J.Lubr. Tech. Jan. 1976，P.133
池 浩：鉄と鋼，76 (1990)，P.1219
- 5) 井本 稔，黄慶雲：岩波新書135「接着とはどういうことか」，岩波書店 (1985)
- 6) 摩擦圧接協会編：「摩擦圧接」(1982)、コロナ社
- 7) 大橋 修：ハイテク文庫①「Q & A 拡散接合」，産報出版 (1993)
- 8) 寺岡清之：鉄と鋼，69 (1983)，P.1955
- 9) 佐々木直哉：トライボロジスト，39 (1994)，P.194
- 10) 木村好次，岡部平八郎：トライボロジー概論，養賢堂 (1982)，P.173
- 11) 加藤 治，菊間敏夫：塑性加工春季講演会論文集 (1988-5)，P.285
- 12) G.SALOMON：Wear，36 (1976)，P.1
- 13) 例えば，後藤邦夫，間瀬敏郎：鉄と鋼，77 (1991)，P.107
- 14) 加藤 治：フジコー技報，No.2 (1994)，P.51
- 15) 加藤 治，川並高雄：塑性と加工，28 (1987)，P.264
- 16) 加藤 治，内田 秀，菊間敏夫：製鉄研究，335 (1989)，P.35
- 17) 大貫 輝：潤滑，28 (1983)，P.365

調査報告

鑄造複合ライナーの使用成績

CPC技術開発室

木下 利哉

Toshiya Kinoshita

営業本部

立花 隆

Takashi Tachibana

1 緒言

製鉄、セメント、炉材メーカー等における多量の鉬石原料、セラミック原料を処理する設備において、高クロム鑄鉄の一体鑄造品及び溶接肉盛品等の各種ライナー材が使用されている。一体鑄造品については、割れが発生し易く、化学組成や硬さに限界がある。一方、溶接肉盛品については、硬化層を厚く出来ない問題がある。特に最近では、メンテナンスフリーが強く望まれており、耐久性に優れた厚肉高硬度ライナーのニーズは大きい。

本調査報告では、上記の様な経緯で開発し、製品化した「ESTライナー」の使用成績について、幾つかの事例を挙げて報告する。

2 製造方法概略

「ESTライナー」の製造工程を図-1に示す。鑄造方法として、当社では新たに考案した特殊鑄造方式（クイクスプレッド方式）を採用し、大型サイズ（900mm×1800mm×30mm）の複合ライナーを製造している。製品構造の特長は、18mm厚の高クロム鑄鉄層と12mm厚の鋼板（SS400）を溶融接合させた2重構造である。又近年では、軽量薄物ライナーのニーズもあり、トータル厚み25mmのライナー材の製造も可能となっている。

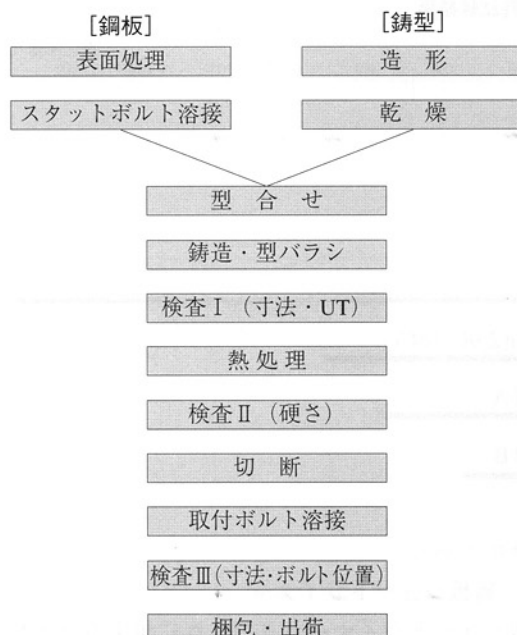


図-1 ESTライナー製造工程

3 ライナー材の具備特性

各種耐摩耗材は、様々な使用環境や取付の環境に対応できる事が必要である。

まず、使用環境については、

- 1) 大きな機械的衝撃
- 2) 高温多湿雰囲気

などがあり、取付易さなども、きわめて重要である。これらのライナー取付は、一般的に典型的な3K作業であり、耐用延長、メンテナンスフリー化によってもたらされる効果は大きい。

4 ライナー材の材質特性の概略

4.1 化学組成、ミクロ組織、硬さ

ESTライナーは、特にその成分組成及びミクロ組織等について、他社の一体鑄造ライナー材との違いが大きい。

- 1) 一体鑄物では、製造不可能な表-1に示すような高C材質系の高硬度材の製造が可能である。
- 2) 高C-高Cr-高合金の成分系にすることによって、各種の炭化物の面積比が約65%と高比率化が図れている。EST-1の代表的なミクロ組織を図-2に示す。

表-1 「ESTライナー」の化学成分組成及び硬さ

区分	元素 C	Cr	特殊元素 (wt%)			常温硬さ
			X	Y	Z	
EST-1	4.0~5.0	25.0~30.0	0.5~2.0	0.5~2.0	—	85±5
EST-2	4.5~5.5	25.0~30.0	0.5~2.0	3.0~7.0	3.0~7.0	90±5

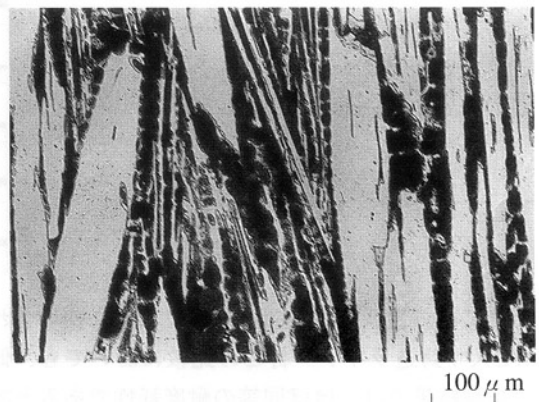


図-2 EST-1 ミクロ組織

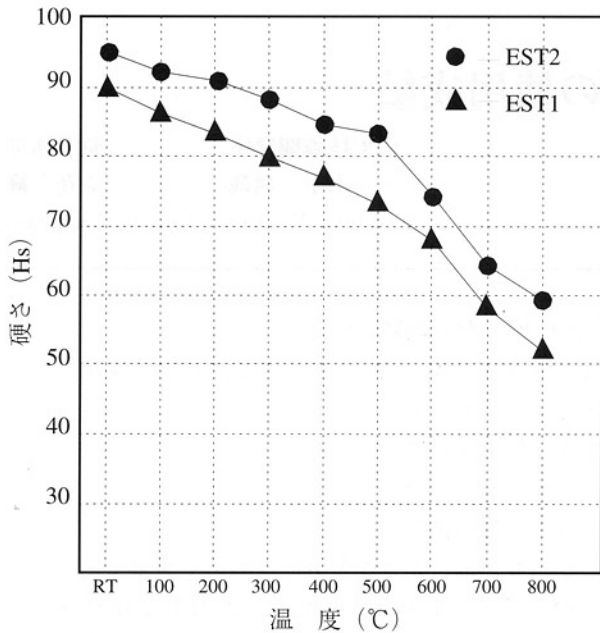


図-3 常温及び高温硬度分布一例

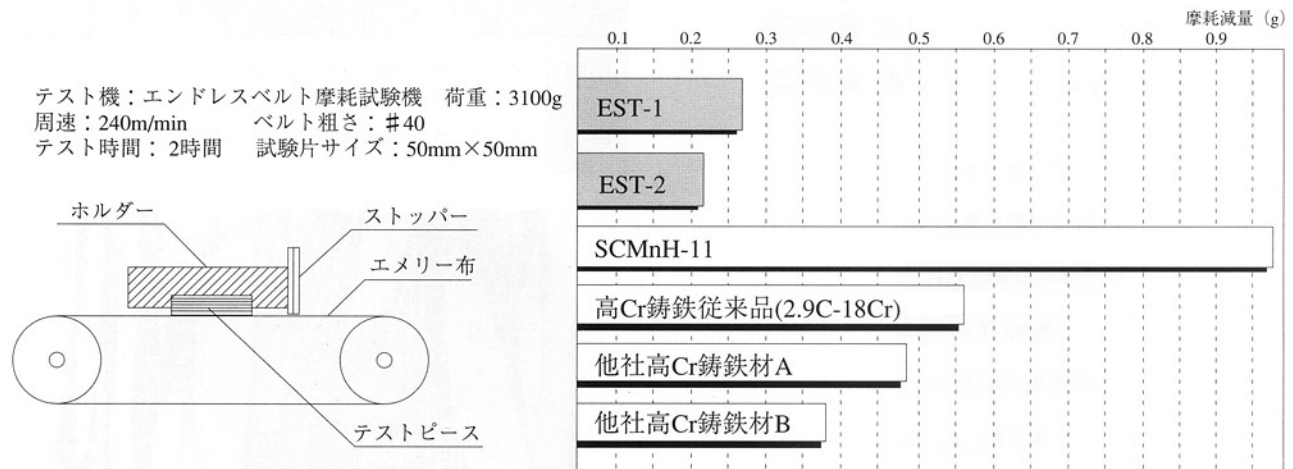
3) 2) 項の様な、ミクロ組織を有するESTライナーは図-3に示すように高温環境下においても、硬さの低が非常に小さい。

4.2 耐摩耗性

ここでは、エンドレスエメリー摩耗試験法による、各種ライナー材の摩耗試験結果を比較して表-2に示す。その結果から、他社高クロム鋳鉄材Aと比較して、EST-1の場合、約1.9倍、EST-2の場合、約2.3倍の耐摩耗性を有している事が確認されている。

S製鉄所での、オフライン確性テストにおいて、他社高Cr鋳鉄材Aと比較して、当社EST-2材は、耐エロージョン摩耗試験で6倍以上の耐用を示した結果も得られて

表-2 エンドレスエメリー摩耗試験結果



いる。更には、製鉄所高炉関連設備で、主に使用されているWC入り鋳造ライナー材との比較においても、低温域での試験結果では、ほぼ同等の耐摩耗性であると評価されている。

5 使用成績

次にESTライナーのいくつかの適用例を取り上げ、その使用成績についてのべる。

5.1 コークスガイド車底板ライナー

図-4はコークスガイド車底板ライナーにESTライナー

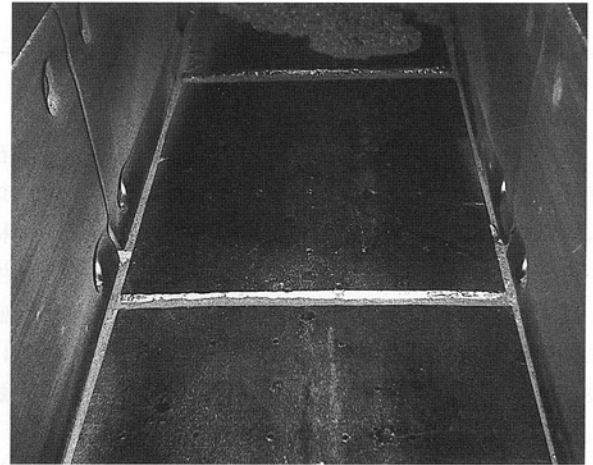


図-4 コークスガイド車底板ライナー

を適用した状況を示したもので、本ライナー材はその使用環境から次の特性が要求される。

1) 赤熱コークス(約900°C)による著しい引っ掻き摩耗に耐えること。

2) 7~8分間隔で、通過する赤熱コークスの堆積、排出による著しい熱サイクル負荷に耐えること。

この様な過酷な環境下においても、ESTライナーの場合、溶接ライナーの様な剥離などの問題もなく、また一体鋳造ライナーの様な歪み及び取付ボルト破断、割れ等の問題も発生せず、約1年の継続使用において、摩耗量が1~2mmと小さく、きわめて良好な成績を示し、耐用

を更新中である。

5.2 盲板シュートライナー

盲板シュートライナーおよびこれに類するライナーはコークス、焼結設備等に広く設置されている。図-5は

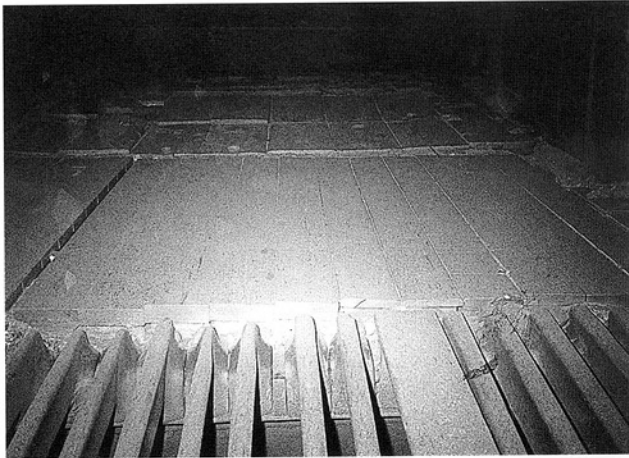


図-5 盲板シュートライナー

コークスの盲板シュートライナーにESTライナーを適用した例で、本ライナーは約300℃の原料（コークス）が常時通過しており、著しいアブレーション・摩耗雰囲気において使用されている。特に耐摩耗性を重視して、セラミックス（Al₂O₃系）の適用もされている箇所である。このような環境下へESTライナーを使用した結果、セラミックスで問題となった、剥離、脱落等の発生もなく、又、耐摩耗性についても、従来材であるセラミックスとほぼ同様な耐摩耗性を示し、総合的には約1.5～3倍の耐用を示している。

5.3 BCヘッドシュートライナー

本ライナーについては、具体的数値を挙げて、詳細に報告する。

はじめに、当ライナーは、合金鉄製造ラインにおける原料搬送コンベアーの分岐部分及び原料貯蔵ホッパーの入口附近に設置されており、各種原料の直接的な衝突に

より、著しいアブレーション、エロージョン・摩耗の負荷を受けている。

従来使用されていたライナー材は前記の表-2に示した他社高Cr铸铁材Aと同一材料である。一方表-3はESTライナーの実機での使用結果を他社製ライナーと比較して示したものである。また図-6は摩耗量の経時変化を比較して示したものである。表-3及び図-6から

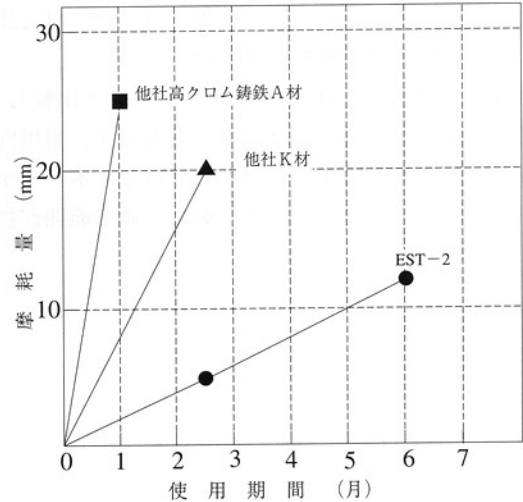


図-6 BCヘッドシュートライナー摩耗状況

ESTライナーは従来材であるA材とくらべ、優れた耐摩耗性を有し、きわめて良好な成績をあげている。ESTライナーと従来材の耐摩耗性の差は、表-2に示した摩耗試験結果よりも実機使用では、さらに大きくなり耐摩耗比で約6倍となっており、コスト低減にも大きく寄与していることがわかる。

表-3 BCヘッドシュートライナー中間使用成績

種類		EST-2	K (テスト材)	A (従来材)
形状・その他		400×400×25t (硬化層 16mm) ※アークスタッドボルト	400×400×20t (硬化層 20mm) ※鋳ぬき穴へ取付ボルト	400×400×25t (硬化層 25mm) ※鋳ぬき穴へ取付ボルト
磨耗量・耐用結果	1ヵ月	—	—	25mm (廃棄)
	2.5ヵ月	Max 5mm	20mm (廃棄)	—
	6ヵ月	Max 12mm	—	—
6ヵ月使用時のday コスト算出値		331円/day	2560円/day	667円/day
耐摩耗比		0.17	0.4	1
備考			某社500千円/m ² の高級 ライナー材	エンドレスエメリー摩耗 テスト・他社高Cr铸铁材A

使用状況

- 1) 鉱石種類：マンガン鉱
- 2) サイズ：<65mm
- 3) 温度：約80℃
- 4) 通過量：100t/h

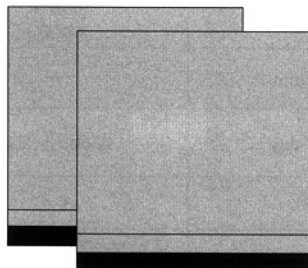
5.4 その他

製鉄所では、特にコークス・焼結原料関連設備についても、多種多様な箇所に使用され良好な結果を挙げている。又セメント業においても、縦型ミル内の側壁ライナーや窯業における原料攪拌ミキサースクレパーと様々な分野にて利用され、大幅な耐用延長がはかられている。

6 結言

以上、EST ライナーについて、他社ライナー材と比較して、いくつかの使用例を紹介した。

当ライナー材は、一体鑄造のライナー材と比較して、初期投資は多くなる傾向になる場合もあるが、耐用向上による設備保全費の低減をもたらしている。本ライナーは今の時代に沿った商品であり、更に、適用範囲が拡大することを期待している





鑄掛け肉盛技術

フジコーオリジナル技術の紹介

省力化設計室
野田 茂実
Shigemi Noda

1 はじめに

当社創設の礎となったものが鑄型補修作業であることは既に報告¹⁾したとおりであるが、単一化した作業部門のみでは発展に限界が有るとの経営理念のもと鬼歯、受歯の補修という焼結部門を、鑄型補修作業から遅れる事3年後の昭和30年から手掛けた。

鬼歯、受歯及びその他焼結部品は800～1000℃の高温の焼結塊を雰囲気600～850℃の条件下で適当サイズに破碎する破碎機の部品である。従来、総ての部品はオーステナイト組織を有する高Mn鋼の材質で摩耗が多く、補修が難しかった。当社、初代社長がこの点に着目し、普通鋼の母材に軟鋼製鋼板で格子を作り、白銑（高Cr鑄鉄）を肉盛する事を発案し、部品価格の低下と寿命延長化に成功した。この補修方法が発展して鑄掛け肉盛技術となって今日まで継承されている。ここに当社のオリジナルルーツ技術として鑄掛け肉盛技術を紹介する。

2 鑄掛け肉盛技術の変遷

図-1に代表的な焼結設備の各部の名称を示す。

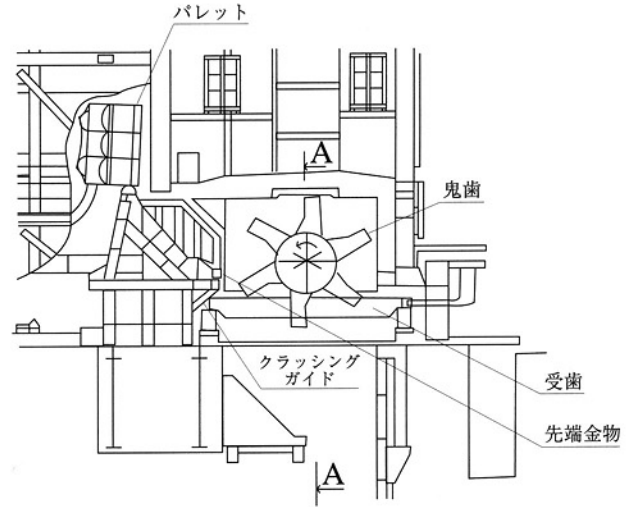
鑄掛け肉盛技術の発展は大きく分けて白銑棒で肉盛溶接を行っていた初期、白銑溶湯鑄掛け溶接を行っていた中期および水冷鬼歯、受歯の開発による受注量の増大をともなった鑄掛け肉盛溶接の後期に分けられるが、最近ではこれらの応用技術として白銑鑄込パイプや、白銑ライナーを開発し、現在至っている。

次に各時期における経緯を説明する。

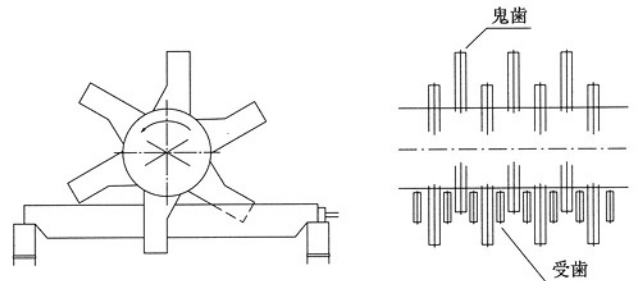
2.1 昭和30年（初期）

前述の如く、高Mn鋼の焼結部品は高温で耐熱、耐摩耗に弱く、肉盛再生補修が難しいという欠点を有していたが、これを解消するため、溶接技術によって相異なる2つの材料を複合した耐熱材が作れないかという発想のもとに、実機使用時の耐熱材の昇温防止を考慮して熱伝導率に着目したアプローチを行った。図-2に各材質の熱伝導率と温度との関係を示す。

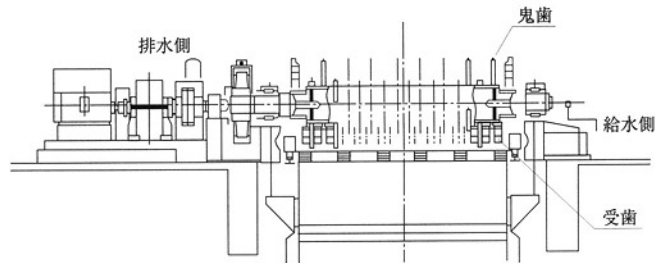
この図から見てわかるように800℃の赤熱温度になれば①、②および③のいずれの熱伝導率も接近するので、2つの材質を組み合わせる意味がなくなるため、少なくとも耐熱材は600℃以上に昇温しないように耐熱材③の肉厚のなかに熱伝導率良好な普通鋼①の格子を挿入し、格子は熱伝導率良好な普通鋼①製の母材へ溶着する事によ



(a) 破碎機側面図



(b) シングルロール式熱間破碎機の歯



(c) 破碎機A-A矢視図

図-1 焼結塊破碎装置（3枚歯千鳥水冷式）

り、耐熱材③に移った熱→普通鋼①製格子→普通鋼①製母体と吸熱させて耐熱材の昇温を防止しようとするものである。図-3に概略図を示す。

このことはまた、脆弱な耐熱材を耐熱材よりも強靱な普通鋼で格子を組む事により脆弱さをカバーするという大きなメリットも同時にもたらした。表-1にこのような複合構造にした場合の定性的な特徴を示す。

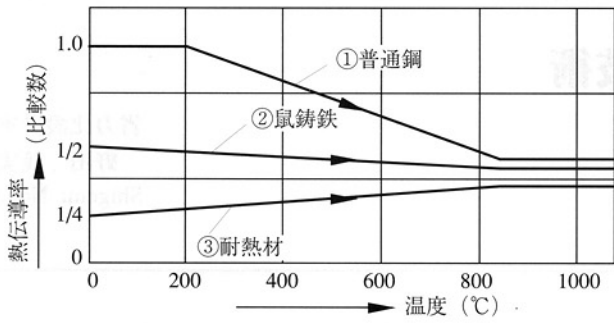


図-2 各材質の熱伝導率と温度との関係

図-4は上記の方法による鬼歯の白銑肉盛溶接作業状況を模式的に示したものである。

2.2 昭和40年代前半（中期）

白銑を白銑棒にて溶接するのは作業能率の点で問題があり、又、溶かした白銑から溶接棒をつくり、この溶接棒で溶接するプロセスでは溶融を2度行うためエネルギー消費も多い。溶かした白銑をそのまま溶接に使用して無駄を省こうという考えにもとずき、白銑を溶かしたものを格子枠内に注湯し炭素電極のアーク熱により母材に融

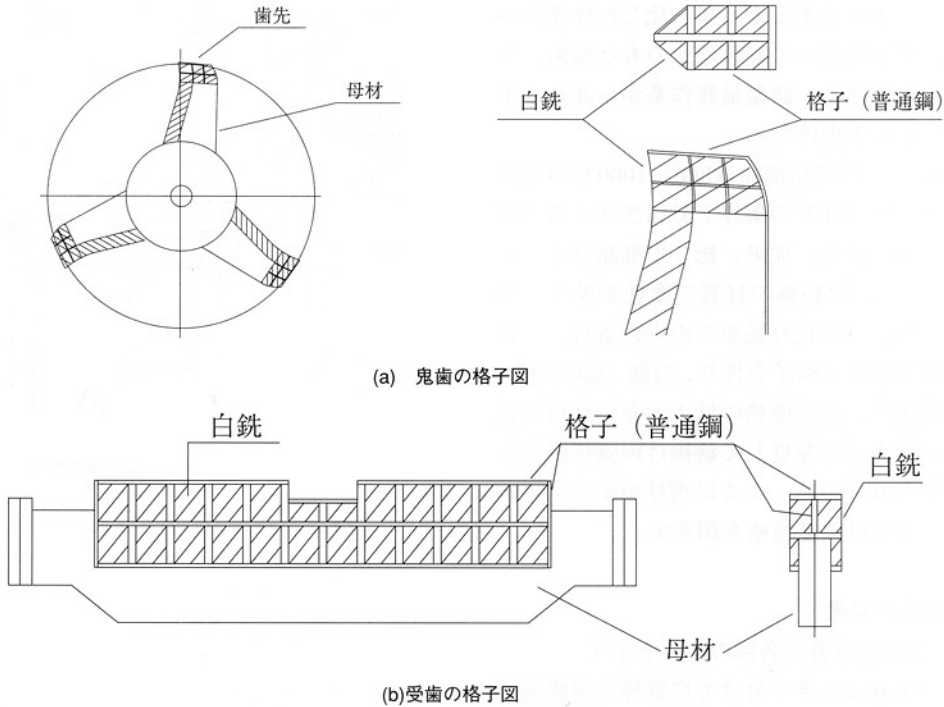


図-3 耐熱材肉厚（白銑盛）内の普通鋼格子

表-1 複合材の特徴

	熱伝導率	強度	価格
普通鋼	1（と仮定）	強靱	安価
耐熱材(白銑)	1/4	脆弱	高価
組み合わせ結果	耐熱材昇温の防止	脆弱を強靱でカバー	全体として材料費が安価

接する方法に改良されていった。これにより作業効率が鬼歯では4割、受歯および先端金物では約8割向上する事ができた。品質も多量肉盛に理想的な方法となり、以前より格段に向上した。また白銑粒を炭素電極で溶かす方法も開発し、白銑棒での肉盛にくらべ、スパッターの飛散が少ないなどの作業改善も行われた。図-5にこの方

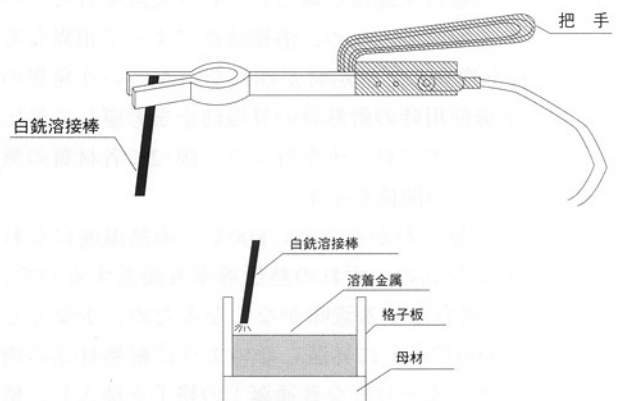
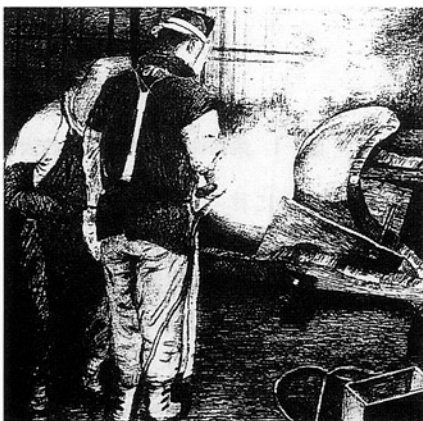


図-4 鬼歯の白銑肉盛溶接作業

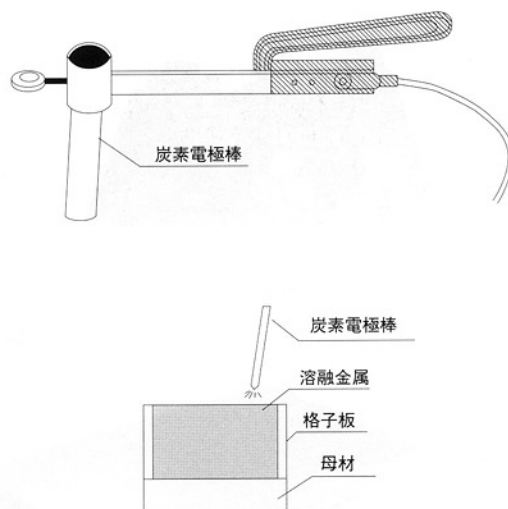
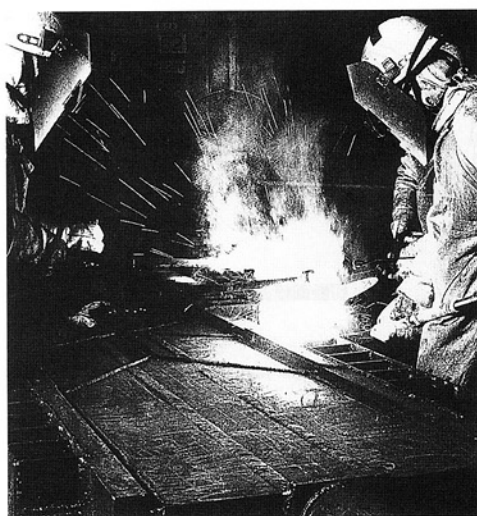


図-5 受歯の鋳かけ肉盛作業

法による受歯の鋳掛け肉盛作業状況を示す。

2.3 昭和40年代後半（後期）

高温の中で焼結塊を破砕するクラッシャーは、部品そのものが高温となるため、これを水冷方式にすれば耐用が向上することは、当然予想されることであり、当社も早くから検討を行っていた。受歯は固定したものであるため、比較的簡単に水冷化することができたが、鬼歯は回転するためこの水冷化は非常に困難が予想され、且つ極めて危険な試みとされていた。もしも漏水によって焼結塊に水がかかるようなことがあれば安全性の面からもきわめて大きな問題となる。

しかし、鬼歯、受歯の水冷化は耐用度アップという点から、捨てがたい魅力をもっていた。技術開発部は日に次ぐ技術会議を開き検討を重ねた結果、S46年5月、鬼歯の構造をこれまでの分割式から一体物に変更すれば、水冷化は可能との結論を出し、特許出願後、受注活動を行った。

最初にこの一体型水冷鬼歯の稼働を行ったのがS47年11月であり、予想通り、この耐用度はすばらしく、従来の鬼歯の5倍以上の耐用実績を示した。かくして水冷式

鬼歯、受歯は、全国関係者の注目の的となった。

水冷式鬼歯、受歯、先端金物の製造技術の確立によって次々と受注が確定して、全国の焼結工場はもとより、海外への輸出も行われた。

その後、水冷化方式も種々の改良が加えられ、堅牢な構造に変化している。図-6、7に鬼歯および受歯の代表的な水冷構造を示す。

2.4 昭和60年代～現在

製鉄所内の機械部品は、多くのものが摩耗により寿命が左右され、取替の為ライン停止等の要因となっている。故に、耐摩耗性に優れかつ現地施工が容易な製品が欲しいという客先ニーズに対して開発されたものが白鉄鋳込みパイプである。図-8に白鉄鋳込みパイプの外観図及び断面図を示す。鋳込材としてHi-C,Hi-Cr 白鉄系の耐熱、耐摩耗性に優れた材質、外側に溶接性が良い軟鋼パイプという構造で、摩耗部分に現地溶接が簡単に行なえる利点があり、昭和60年代より当社のオリジナル製品として各種設備に広く適用されている。

また、白鉄鋳掛け肉盛技術の応用として客先のメンテナンス性が良いように、表面が白鉄で母材が軟鋼材の矩

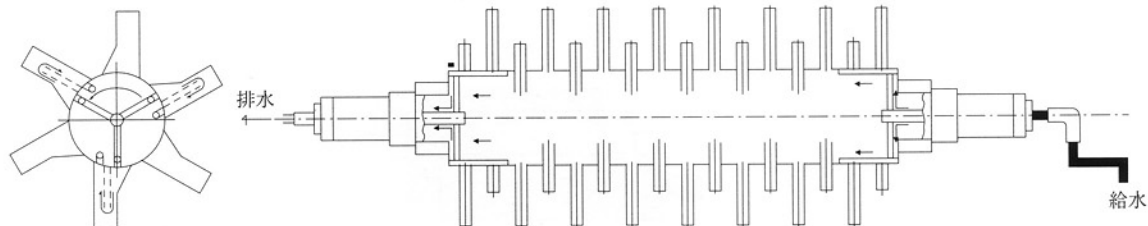


図-6 鬼歯の水冷化

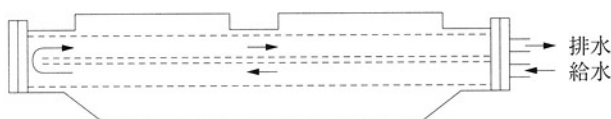
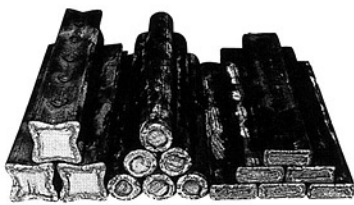
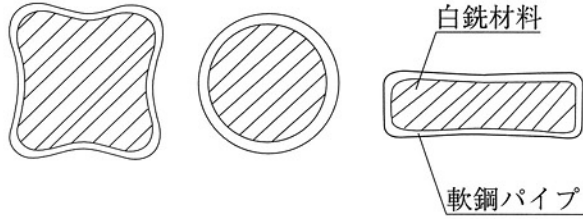


図-7 受歯の水冷化

形の大型ライナーおよびそれをニーズに応じて細分化した白鉄ライナーを平成4年に開発し、ホッパーシュートや焼結設備側壁へ取付け好評を得ている。図-9に外観図を示す。



(a) 代表的形状



(b) 切断面模式図

図-8 白鉄鑄込みパイプ

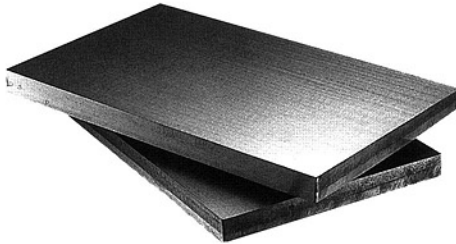
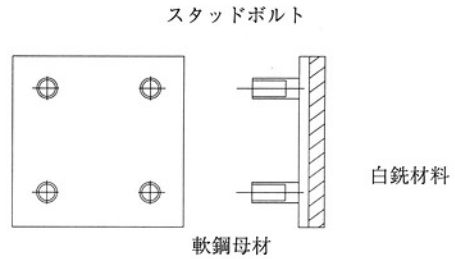


図-9 白鉄ライナー



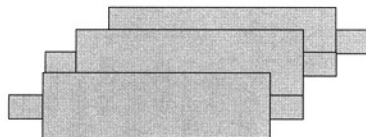
3 まとめ

鑄掛け肉盛技術は多量肉盛に理想的な方法として焼結塊破碎用鬼歯、受歯の補修を端緒とし、製鉄所の増設、増産とともに発展し、高能率かつ低コストな当社独自の複合技術である。最近では、更に高度な応用分野として容易な保全というニーズに応え、各種サイズの白鉄パイプ（丸型、角型、平型）や鑄造による白鉄ライナー等の製品も開発している。

前報¹⁾で紹介した鑄型修理作業と異なり現在でも、当社売上げの一翼を担った部門として今後も、新なる開発によって発展の可能性を秘めたる部門である。

参考文献

- 1) 田北正一，野田茂実：フジコー技報，No2（1994），P.46



熱延ストリップ工場仕上げミルサイドガイド堅ローラー

1 緒言

熱延ストリップ工場仕上げミルサイドガイド堅ローラーは、圧延材を各ミルに円滑に送り込む為のガイドの役目を成しており、各ミル間あるいはその前後の両サイドに配置されている。また、最近では本ローラーで板の両端に圧下を掛けて板の歩留りUPを図っている場合もある。

仕上げミルは6～7スタンドで通板材は入側で1000～1100℃、出側で800～900℃と高温であり、しかもかなりのスピードで通過する為、サイドガイド堅ローラーは金属間摩耗・アブレーション摩耗・衝撃・腐食等、多くの要因が重なり、ローラー寿命は非常に短い。この為取替え頻度が高く、ローラー製作及びその部品（軸・ベアリング等）、取替えを含むメンテナンス費等を考え合わせるとかなりの費用になり、最近では各製鉄所においてコストダウンのテーマとして取り上げられている。

本報ではSHH300（粉末ハイス耐摩耗材料）を本ローラーに適用し、良好な成績をおさめたので、以下に紹介する。

2 SHH300とは…

SHH300とは粉末ハイス耐摩耗材のことをいう。一般的には粉末ハイス材を用いた部品はHIPで製造されるが、当社では特殊な施工法を開発することにより、HIPでの欠点を解消し、ワークの大きさの制限をなくし製造コストも大幅に下げること成功した。

SHH300は非常に硬いMC炭化物（Hv：2000以上）が微細・均一にしかも数多く分散している為、優れた耐摩耗性を発揮し、衝撃に対しても良好である。マイクロ組織写真を図-1に示す。また、高温硬さも600℃でHv：770とかなり高い値を示しており、熱延工場等の高い温度域でも十分に耐えうるものである。

3 仕上げミルサイドガイド堅ローラーについて

仕上げミルサイドガイド堅ローラーは各ミルのスタンド間あるいは、その前後の両サイドに配置され、その概要（表-1に示す）は各製鉄所により異なる。多くがローラー表面に溶接法や溶射法により2～3mm厚みのハードフェーシングが施されており、その耐用も様々である。

SHH300を用いた仕上げミルサイドガイド堅ローラーの製品外観写真を図-2に示す。

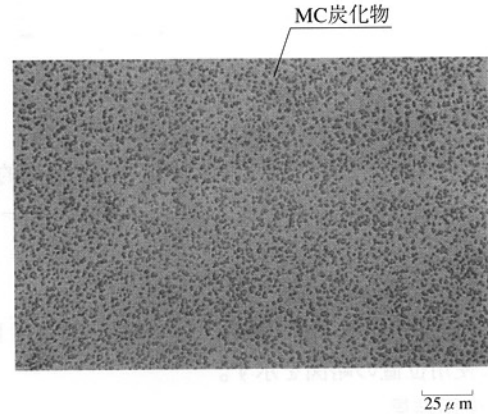


図-1 SHH300のマイクロ組織写真

表-1 仕上げミルサイドガイド堅ローラー概要

ローラーサイズ	外径 ϕ 120～ ϕ 220 長さ 150L～700L
表面硬化厚み	2.0～3.0mm
耐用	15日間～180日間



図-2 製品外観写真

4 使用実績

某製鉄所において、従来品の耐用が2カ月のところ、8カ月と4倍の耐用を示し、好成績を得た。

4.1 ローラー形状

ローラー形状を図-3に示す。SHH300を3mm厚さでコーティングした。

4.2 使用状況

(1) 板厚はF1入側で25～35mm、F7出側で1.2～4.0mm。

(2) 通板材の材質は各種有り。（普通鋼、高張力鋼、ステンレス鋼等）

(3) 通常散水するが、ステンレス鋼の場合は散水なし。

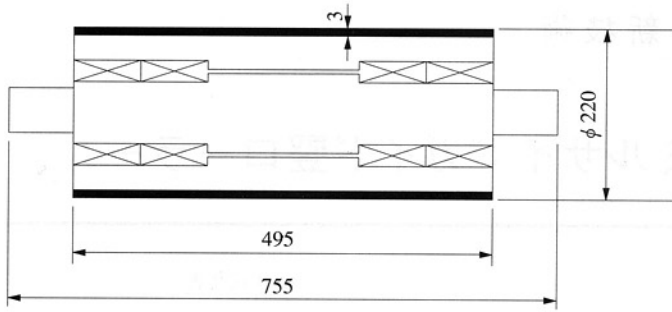


図-3 ローラー形状

(4) 通板材の温度は1000~1100℃。

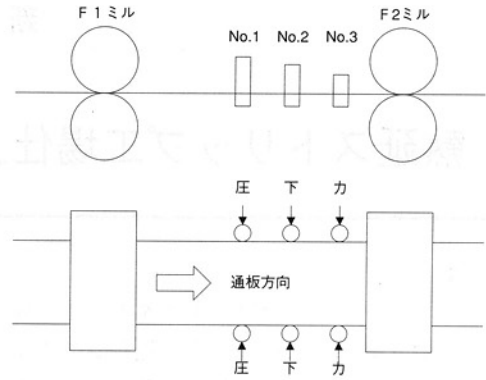
(5) ルーパーロールで板の弛みは取るが、時間的なズレも有り縦ローラーを通過するときは板がウェーブする。

4.3 使用位置

F2 ミル入側サイドガイドNo.1 縦ローラーで使用した。図-4 に使用位置の略図を示す。

4.4 使用結果

表-2 に使用結果、図-5 に使用中のローラー外観写真を示す。



熱延工場ストリップ工場F2ミル入側サイドガイドNo.1 縦ローラー

図-4 使用位置

表-2 使用結果

ローラー	耐用	取替原因
従来品	2ヶ月	摩耗・割れ・剥離
SHH300	8ヶ月	摩耗

摩耗取替基準：2~3mm

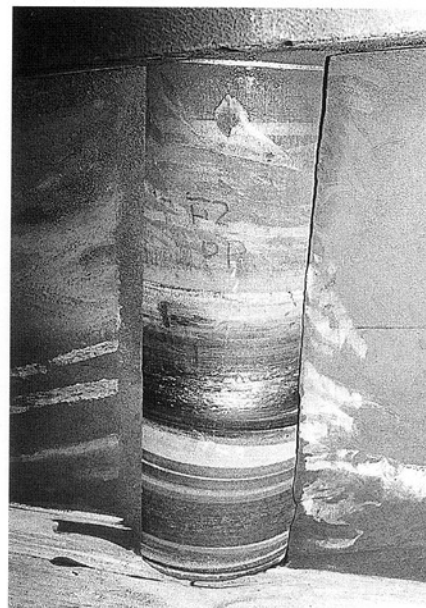
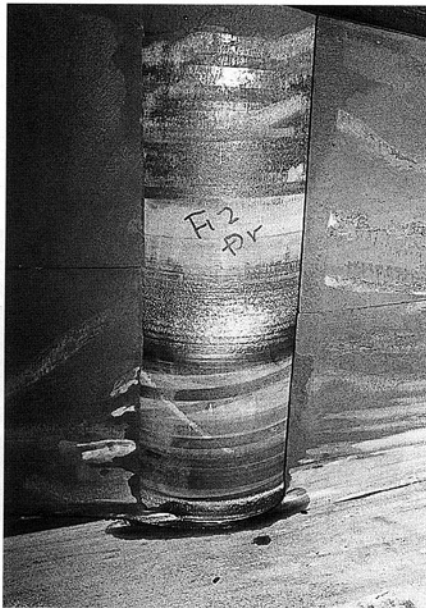


図-5 使用中のローラー外観写真

5 まとめ

以上、SHH300をコーティングした熱延ストリップ工場仕上げミルサイドガイド縦ローラーについて紹介した。今後、類似品への適用が期待される。

[問い合わせ先]

本社 溶接溶射技術開発室 (北九州工場駐在)
Tel. 093 (871) 0761 吉村 武憲

本社 溶接溶射技術開発室 (山陽工場駐在)
Tel. 08654 (4) 5151 宮崎 裕之

新製品 新技術

棒鋼ミル用スリーブロール

1 緒言

当社の開発によるクラッドプロセス、連続注入クラッド法 (Continuous Pouring Process for Cladding=C.P.C) が熱延・冷延帯鋼、平鋼、棒鋼・線材等の圧延ロールに適用され、非常に良好な耐用をおさめている。

これらのロールは、従来、複合一体ロールとして製造して来たが、当社は此度C.P.C肉盛層の優れた特性と、低価格を両立させた複合スリーブロールを開発し、棒鋼ミル実機に適用した。

このC.P.C複合スリーブロールは、外層を高炭素ハイス鋼、内層を高強靱鋼としたスリーブ材をアーバー材に焼嵌めたクラッドロールであり、従来のC.P.C複合一体ロールと同様に、耐摩耗性、耐肌荒れ性の大幅な向上によりロール原単位の低減はもとより、一回当たりの圧延量増大、ロール整備作業の省力化等の効果が得られている。

以下に、その製造方法、特長、および使用結果について、概要を紹介する。

2 製作仕様

2.1 ロール材質

表-1 にロール材の成分組成および硬さを示す。

肉盛材質、硬さは適用スタンドの耐摩耗性、耐肌荒れ性を考慮して決定する。

2.2 ロール構造

図-1 にアーバー支給、およびアーバー新作の場合のロール構造を示す。

2.3 ロール寸法の決定

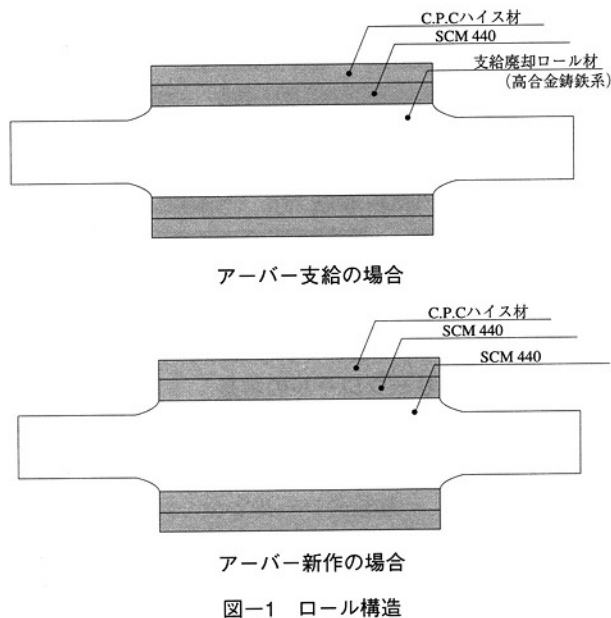


図-1 ロール構造

(1) 肉盛層厚さ

肉盛厚さは、 $(\text{新製径} - \text{廃却径}) / 2 + \text{孔型深さ} + \text{廃却時残存肉厚}(10\text{mm})$ とする。

(2) アーバー径 (スリーブ内径)

アーバー径は、ロール軸部径を考慮し、強度的に優れているスリーブ内層の厚さが十分確保できるよう決定する。

(3) 焼嵌め代

焼嵌め代は、ロールに加わる圧延荷重、ロールの温度等から、 $0.6 \sim 1.0 / 1000$ の範囲で設定する。

(4) アーバー

原則的に、軸部の摩耗、損傷が生じていない従来廃却

表-1 ロール材の成分組成および硬さ

材質規格	成分 (wt.%)							硬さHs	
	C	Cr	Mo	V	W	Co			
スリーブ外層	FKC701	1.6~2.4	3.5~7.0	4.5~8.0	4.5~8.0	3.5~7.0	—	80~85 or 85~90	
	FKC704	1.6~2.4	3.5~7.0	4.5~8.0	4.5~8.0	3.5~7.0	<2.0		
スリーブ内層	SCM440	0.38~0.43	0.90~1.20	0.15~0.30	—	—	—	40~45	
アーバー支給	支給材	通常高合金鋼鉄							
アーバー新作	SCM440	0.38~0.43	0.90~1.20	0.15~0.30	—	—	—	40~45	

ロールを胴部切削し、アーバーとする。

3 製造工程

図-2に廃却ロールをアーバーとする場合の製造工程を示す。

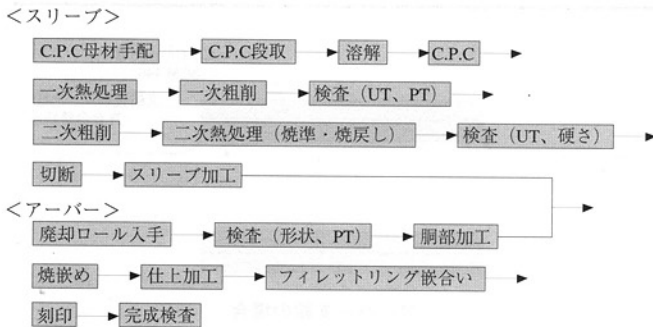
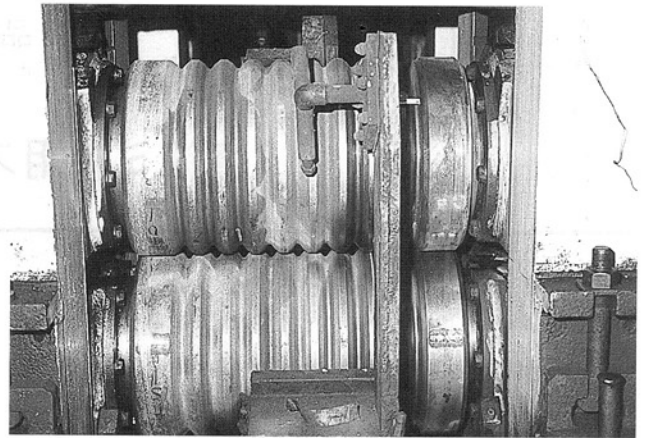


図-2 ロールの製造工程



全体



カリバー

図-3 ロール表面状況

4 ハイス複合スリーブロールの特長

以上紹介した、当社複合スリーブロールは下記の特長を有している。

(1) 肉盛層は、一体複合ロールと全く同一の高炭素ハイス鋼であり、従来のC.P.Cロールと同様の耐久性を確保できる。

(2) 母材が、強靱鋼であるC.P.Cの利点から、スリーブ内層の強度を十分確保できるため肉盛層が厚く、内層厚さが若干少な目であっても、スリーブ化が可能である。

(3) スリーブ内層が強靱鋼であることから、鑄鉄では不可能である十分大きな焼嵌め率を選定でき、使用上のトラブルを防止できる。

(4) C.P.C部分が胴部のみのため、1チャージから複数本採りが可能となる。

このため、ロール価格を大幅に低減することが出来る。

また、廃却ロールをアーバーとして転活用することも、ロール価格低減に寄与する。

5 使用成績

表-2に使用成績の一例を示す。従来の高合金グレンロールに比して、3倍以上の耐用が確認できた。

また、図-3に使用後の#14スタンドロール表面状況を示す。

肌荒れ、焼付きの発生はなく、非常に良好な表面肌である。

表-2 使用成績

適用ミル	使用スタンド	製品寸法	処理量		摩耗量 (mm)	表面肌
			本数	トン数		
2 high 棒鋼ミル	#14 std	D16	2,407	1,685	1.00	良好、肌荒れなし
	#15 std	D16	2,013	1,409	0.85	良好、スリット部の欠けなし

6 結言

C.P.C法による棒鋼ミル用スリーブロールについて紹介した。

従来のC.P.C複合一体ロールと同様に、非常に良好な耐用が得られたのみならず、スリーブ構造にすることで、大幅なロール価格の低減が可能となった。

今後も、棒鋼ミル用圧延ロールは勿論のこと、それ以外の圧延ロールについても需要増大を期待している。

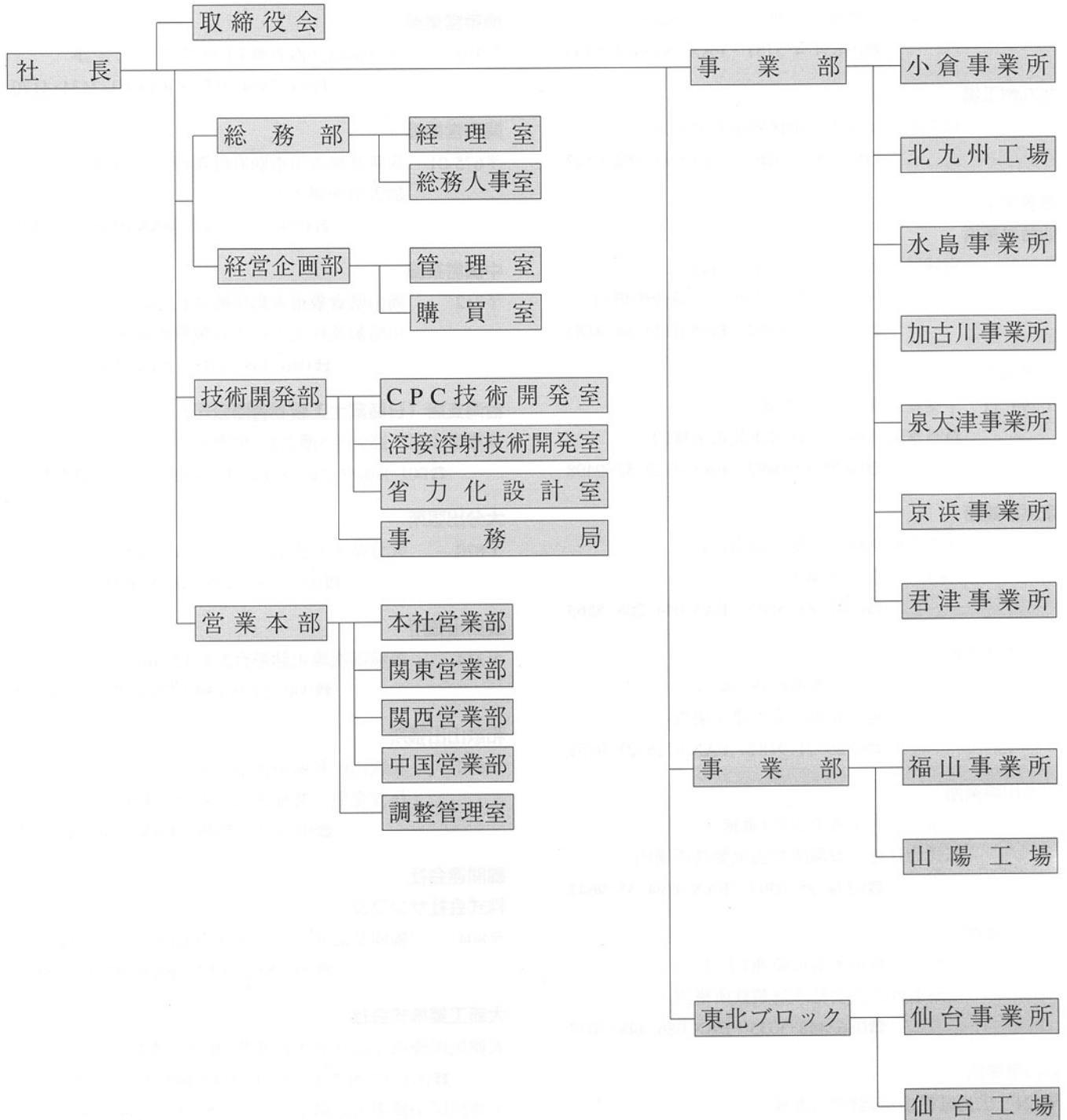
[問い合わせ先]

本社 営業本部
Tel. 093 (871) 3724 山本 静男

本社 CPC技術開発室 (山陽工場駐在)
Tel. 08654 (4) 5151 玉川 進

FUJICO 運営組織図

平成7年7月現在



■本社

〒804 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
☎093-871-3724(代)・FAX 093-884-0009
FAX 093-884-0048

■工場

仙台工場

〒989-24 宮城県岩沼市下野郷字新南長沼87-1
☎0223-24-2450・FAX 0223-29-2084

山陽工場

〒719-02 岡山県浅口郡鴨方町鳩ヶ丘1丁目1298番地
☎08654-4-5151・FAX 08654-4-5154

北九州工場

〒804 福岡県北九州市戸畑区牧山新町4-31
☎093-871-0761・FAX 093-882-0522

■事業所

仙台事業所

〒983 宮城県仙台市宮城野区港1丁目6-1
トーア・スチール株式会社仙台製造所構内
☎0222-58-4182・FAX 0222-58-4183

君津事業所

〒299-11 千葉県君津市君津1番地
新日本製鐵株式会社君津製鐵所構内
☎0439-52-0497・FAX 0439-52-0498

京浜事業所

〒210 神奈川県川崎市川崎区扇島1-1
NKK京浜製作所構内
☎044-288-5565・FAX 044-288-5563

泉大津事業所

〒595 大阪府泉大津市西港町18-14
株式会社淀川製鋼所泉大津工場内
☎0725-21-9182・FAX 0725-21-9151

加古川事業所

〒675-01 兵庫県加古川市金沢町1番地
株式会社神戸製鋼所加古川製鐵所構内
☎0794-35-0393・FAX 0794-35-9641

水島事業所

〒712 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目
川崎製鐵株式会社水島製鐵所構内
☎086-448-3035・FAX 086-448-3037

福山事業所

〒721 広島県福山市鋼管町1番地
NKK福山製鐵所構内
☎0849-41-0924・FAX 0849-41-0937

小倉事業所

〒803 福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地
住友金属工業株式会社小倉製鐵所構内
☎093-561-2081・FAX 093-561-2083

■営業部・出張所

本社営業部

〒804 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
☎093-871-3724・FAX 093-884-0009
FAX 093-884-0048

関東営業部

〒105 東京都港区西新橋3丁目23-7 司ビル2F
☎03-3434-4155・FAX 03-3434-4170

関西営業部

〒675-01 兵庫県加古川市別府町新野辺1525-2
加古川神鋼ビル
☎0794-35-1347・FAX 0794-35-5425

中国営業部

〒712 岡山県倉敷市水島川崎通1丁目
川崎製鐵株式会社水島製鐵所構内
☎086-448-3035・FAX 086-448-3037

台湾支店(日商富士工股份有限公司)

高雄市中正二路93号5樓之2(白雲天厦)
☎001-886-7-222-4711・FAX 001-886-7-222-4741

大分出張所

〒870 大分県大分市松原町3-1-11鉄鋼ビル5F
☎0975-58-1257・FAX 0975-56-07894

鹿島出張所

〒314 茨城県鹿嶋市鉢形台2-1-12 SKビル
☎040-24-00189・FAX 0299-84-0352

和歌山出張所

〒640 和歌山県和歌山市湊1850
住友金属工業株式会社和歌山製鐵所構内
☎0734-51-7076・FAX 0734-51-7076

■関連会社

株式会社サンフジ

〒804 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
☎093-882-1619・FAX 093-881-3174

大新工業株式会社

大韓民国慶尚北道浦項市長興洞140-5(本社工場)
☎001-82-562-85-7024・FAX 001-82-562-85-5275
大韓民国全羅南道光陽市太仁洞1657-6(光陽工場)
☎001-82-667-792-0933・FAX 001-82-667-792-2417