

t s u k u r u

[創る]

No.4

Fujico Technical Report 1996



表紙のことば

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、現代イギリスの代表的な彫刻家：フィリップ・キング氏の、[牡牛座の月]。第1回国際鉄鋼彫刻シンポジウムYAHATA'87で製作された鉄鋼彫刻(鑄造)で、「思い出深い旅の途中で見かけた、三日月を戴いた牡牛座」をイメージして作られたものです。

牡牛座の月/鉄/3420×4000×5000mm/北九州市/1987

作者紹介

フィリップ・キング (英) Phillip King [彫刻家] 1934年生まれ。ケンブリッジ大学で言語学を専攻、同時に彫刻を始め、セント・マーチン美術学校でアンソニー・カロに師事。その後ヘンリー・ムーアの助手を経て、1968年のヴェネツィア・ビエンナーレ展のイギリス館での展示にはじまり、70年代のもっとも刺激的なイギリス彫刻界の推進者のひとりとなった。1977年ロイヤル・アカデミー会員。1980年英国王立美術大学彫刻主任教授。

参考資料/「ひょうたんから鯨」「太陽と彫刻」

フジコー技報-Tsukuru No.4 平成8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西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。

目 次

巻頭言	・フジコー技報によせて	川崎製鉄(株) 社長 江本 寛治	1
随 想	・ロール用合金白鑄鉄の研究に携わって	久留米工業高等専門学校 教授 松原 安宏	3
	・製鋼の思い出	トースチール(株) 元顧問 田口 喜代美	5
	・奥出雲に「たたら吹き」の里を訪ねて	(株)フジコー 特別技術顧問 堀川 一男	7
	寄稿論文	・耐アブレーション摩耗用高炭素ハイス系合金の凝固機構	九州大学工学部 教授 大城 桂作
技術論文	・革新的超硬系サーメット溶射技術の開発 —溶射ロールによる調質圧延実験結果—	加藤 治、尾崎 健一、洲崎 真二、吉村 武憲	15
	・連続注入クラッド法による熱延仕上げ前段ワークロールの製造と使用結果	坂本 眞一、斉藤 弘道、山本 圭太郎、山本 厚生	20
	・連続注入クラッド法による棒鋼ミル用複合スリーブロールの開発	坂本 眞一、斉藤 弘道	24
	・圧延ラインにおけるロールの温度および応力の理論解析	李 平、坂本 眞一、新田 信昭、五嶋 孝仁	29
	調査報告	・FT-X3のアンコイラー・レベリングロールへの適用状況	宮崎 裕之、吉村 武憲
	・軌条用矯正ローラの開発	宮崎 裕之、吉村 武憲	39
	・複合鑄造ライナーの使用成績(第2報)	木下 利哉、立花 隆	42
フジコーオリジナルルーツ 技術の紹介	・C.P.C法	坂本 眞一	44
新製品、新技術	・高耐食性ハイス材熱延コイラーロール		50
	・革新的超硬(WC)系サーメット溶射技術		52
	・ステンレス鋼板CGライン・ビリーロール		54
	・熱延精整ライン・形状計ロール		56
	・ロッドミル・ロッドバー自動交換装置		58
	・ノンスリップ高速連続型伸線機		60
	全社組織		
工場、事業所 所在地			63

CONTENTS

Foreword	Kanji Emoto	1
Memoir	Yasuhiro Matsubara	3
	Kiyomi Taguchi	5
	Kazuo Horikawa	7
Special Contribution	• Solidification Mechanisms of Abrasion-resistant High Speed Steel Type High Carbon Alloys	9
Technical Paper	• Development of Innovative Thermal Spraying Technology of Tungsten Carbide Cermet — Experimental Results of Thermal Sprayed Rolls Applied to Skin Pass Rolling —	15
	• Production and Application Results of Front Stands Rolls for Hot Strip Finishing Mill by Continuous Pouring Process for Cladding	20
	• Development of Composite Sleeve Roll for Bar Mill by Continuous Pouring Process for Cladding	24
	• Theoretical Analyses of Temperatures and Stresses on Rolls in Strip Mill Lines	29
Technical Report	• Application Results of FT-X3 for Uncoiler Leveling Rolls	37
	• Development of Straightening Rollers for Rail	39
	• Application Results of Composite Cast Liner (No.2)	42
Original Technology in FUJICO	• Continuous Pouring Process for Cladding	44
New Products, New Technology	• High Speed Steel Coiler Roll with Corrosion Resistance in Hot Strip Mill	50
	• Innovative Thermal Spraying Technology of Tungsten Carbide (WC) Cermet	52
	• Billy Roll for Coil Grinding Line of Stainless Steel Sheet	54
	• Shape Measuring Roll for Finishing Line of Hot Strip Mill	56
	• Automatic Rod-exchanging Device for Rod-mill	58
	• Non-slip-type High Speed Continuous Drawing Machine	60
Organization		62
Address		63

巻頭言

フジコー技報によせて

川崎製鉄(株)社長
江本 寛治
Kanji Emoto



(株)フジコー(当時、富士工業所)と川崎製鉄との出会いは古く、当社(故)八木相談役が千葉製鉄所の製鋼課長として在任していた昭和34年、千葉事業所の開設からとお聞きしている。

その後、昭和42年4月には、水島製鉄所の第1高炉火入れとともに水島事業所がスタートし、それからは、鑄型修理は専らフジコーさんをお願いすることになり、続く造塊全盛時代に我々と共に歩まれたわけでありませう。

水島製鉄所では、第1高炉に引き続き第2、3、4高炉を建設し、増産につぐ増産の時代が始まり、鑄型使用状況は苛酷でこれに対応する修理の方法、能力向上について随分無理なお願いをしましたが、これをいつも前向きにとらえ立派にこなし、まさに鋼塊の生産と品質確保の一翼を担っていただいたわけです。

特に、我々の上注高速注入をコンセプトとした製鋼工場では、鑄型のいたみが激しく、さらにキルド鋼では高温と言う条件がこれに拍車をかけ、「鑄型の準備」がまさに造塊掛長の最優先の仕事だった時代でした。このような状況にあって、良きパートナーとしていつも創意工夫と積極性により乗り切っていた姿を思い出します。

さらに年は下って、下注キルド鋼の時代では、鑄型の内面形状、美しさ確保のため、スカーファ―とグラインダー研磨を用いた手入法を開発され、鋼塊表面品質向上に貢献していただき、また、本技術は、その後の原子炉材用大型厚板用鋼塊(60T~120T)の鑄型内面手入技術の確立につながり、無欠陥スラブ製造に大きく貢献していただいているわけです。

このように、(株)フジコーは時代の要求、環境変化にいち早く対応する力のある会社で、造塊法から、連鑄法へと移行してからも、連鑄ロール再使用法の画期的な技術を開発、実用化され、その一方では溶接、溶断、スカーフ作業、保全整備など関連した業容も着々と拡大され、積極かつ着実な経営を展開され今日に至っているわけです。

さて、現在は、鉄鋼業だけでなく日本の製造業全体が厳しい波にもまれて、将来の展望がなかなか見出せない状況にあります。

しかしながら、我々は少なくとも「物づくり」にかけては誰にも負けない力を持っており、そこが欧米と決定的に異なるところで、物づくりの得意な経営者と従業員の集団はやがて現状をブレイクスルーするものと確信しています。

川崎製鉄は現在、千葉製鉄所で新製鋼、新ホットにチャレンジしてますし、水島製鉄所はおかげさまで所単位ではコスト、品質で世界トップレベルに到達しています。これらをテコに活力のある、人の眼の輝く会社にしようと思っております。

おわりに、最近私が社員(特に製鉄所)に言ってます「万里一条鉄」(ばんりいちじょうの鉄)を紹介させていただきます。

これは仏語で「万里の長城の間を一条の鉄が貫通するが如く、すべての現象は刻々と変化しつつも絶えることなく続く」と言う意味です。

我々の環境は変化するが本質を見据えながら迷わず、ねばり強く鉄鋼業に専念してゆけば、道は必ず開けると

略 歴 書

え もと かん じ
江 本 寛 治

昭和11年1月28日生



呼びかけていますし、自分自身にも言い聞かせています。

これは、フジコーさんと弊社との関係にもあてはまりますし、フジコーさんの経営理念とも相通ずるものがあると思えます。

お互い鉄鋼産業に身をおくものとして切磋琢磨、技術力の向上に努めてゆきたいものです。

【学 歴】

昭和33年 3月 九州大学工学部 冶金学科卒業

【職 歴】

昭和33年 4月 川崎製鉄(株) 入社
昭和49年 3月 水島製鉄所 製鋼部製鋼管理課長
昭和53年 5月 同 第二製鋼課長
昭和58年 6月 千葉製鉄所 製鋼部長
昭和62年10月 理事 千葉製鉄所企画部長
昭和63年 6月 取締役 水島製鉄所副所長
平成 3年 6月 常務取締役 鉄鋼企画本部長
および鉄鋼技術本部長
平成 6年 6月 専務取締役 鉄鋼開発生産本部長
平成 7年 6月 取締役社長

随 想

ロール用合金白鑄鉄の研究に携わって

久留米工業高等専門学校
材料工学科 教授松原 安宏
Yasuhiro Matsubara

私がフジコーを身近に知ったのはもう20年以上前であった。私と同じ大分県出身で、大学と学部・学科まで同じの友人がいて、彼が官庁勤めを辞めて北九州にある当時富士工業所と呼ばれていた現在のフジコーに入社した時からである。昭和50年頃であったと思う。勤務先の牧山工場を訪ねた時、あまりにも小規模で、今なら、いわゆる3Kと呼ばれそうな工場であり、あまりよい印象を受けなかったことを思い出す。1~2年して、彼は岡山県にある山陽工場に転勤したが、ある日、“ここには新しく作ったおもしろい溶着・肉盛装置や高温マクロ硬度計があるので見学に来ないか”という連絡をもらった。ちょうどその頃、私は高クロム鑄鉄の研究を行っており、同鑄鉄の高温硬さを測定したい希望もあって出かけた。工場に着いて、説明を受けながら一通り現場を見学させていただいたが、初めて見る奇妙な形をした、珍しい装置の前で自然に足が止まった。それが溶着・肉盛によるロール製造設備であったのだが、その時は細かい質問もせず見学を終わってしまった。多分、自分の研究とあまり身近さを感じなかったのだと思う。その設備が、20年余りを過ぎた近年、わが国はもちろん世界中のロールメーカーが注目し、外国でも開発し始めているところもあると聞くC.P.C法のオリジナルであったとは予想できるわけがなかった。山陽工場にある現在のC.P.C装置は未だ見ていないが、新日本製鐵(株)機械・プラント事業部にある見事にコンピュータ化された同類の装置を見るにつけ、先達者としてのフジコーでは、さらに幾多の研究と改良が積み重ねられて今日に至っているかということ想起し、担当してきた技術陣に敬服する次第である。

さて、山陽工場を訪問した当時を少し思い出してみよう。当時はテーブルローラやピンチロールの製造が中心

であったように思う。製品には興味があったので今でも思い出す。パイプの周囲に特殊な溶湯を連続的に溶着、凝固させ、引き抜きながらロール素材を連続的に製造していく技術、昔の鑄掛け屋さんが見たら、まさに鑄掛けのTechnological Innovationと呼ぶだろう。材料の研究をしてきていながら、溶湯の材質などには気にも止めず、鑄掛けを自動化したプロセスに、初めて見るおもしろさと、奇抜なアイデアさを感じたものだった。その後、先代社長の山本秀祐氏はアイデア社長として業界では大変有名な方であり、特許も多数お持ちのことを聞いて、なるほどと納得したものだ。

それからあまり時を置かずして、新日本製鐵のホットラン・ローラーのコンテストに挑戦した製品がよい成績を収めたという朗報が届いた。その時になって、製造プロセスはもちろん重要であるが、溶湯すなわち外層の材質が使用条件に余程よく合っていたのだろうと考えるに至ったほどだった。当時開発した材質のローラーが今でも使用され続けていると聞いている。私も、この10年程、熱延ワークロール用および鋳物粉砕用耐摩耗材料の研究を炭化物の種類、形態、分布、および基地組織の制御の観点から進めているが、ロールの製造とフィールドテストができないため、苦勞が多く、分からないところも多い。幸い、本研究を支えてくれる企業があることに心から感謝している。将来は、パイロットプラントを作って、ラボスケールではなく、実用化に直結できるような開発研究をするのが夢であるが、もう年齢的に遅すぎる気がする。それよりも、これまで研究してきたことが学会誌などを通してロール開発の一助とでもなればと願っているのが今の心境である。一方では、前述したホットラン・ローラーのように、部材としてそんなに息の長い材料の研究

開発はどうしたらできるのだろうか、そのノウハウを開きたいものである。

話を自分のことに移そう。私は、大学を卒業して以来、鑄造合金ばかりを相手に研究してきた。卒論の研究室が製造冶金学講座とあって、鑄物中心だったこともあり、卒業研究を加えれば35年という長きにわたるため、鑄物バカになってしまっているキライがある。その間に先端材料や新材料としても囃されたこともあるファインセラミックスや超伝導材料などどれだけ多くの材料名が私の前を通り過ぎて行ったかわからないほどである。そのような材料革命の中で、鑄鉄中心の鉄系材料にこだわってきたのには一つの信念がある。それは頁の制限上省略するが、この危惧が現実とならないことを切望している。

私のグループの研究内容は、初期の低クロム系ニハード白鑄鉄から高クロム系白鑄鉄へ、さらに現在では多成分系の多合金系白鑄鉄へと移ってきている。学校での研究について言うと、講義や実験など学生の教育に割く時間が多いこと、企業における開発研究のように早く商品化する義務がないこと、研究費や人数が少ないことなどの理由もあって時間がかかる。いや時間をかけ過ぎるのかもしれない。あるいは、逆に時間をかけて基礎研究に専念するのが本来の務めかもしれないが、私は、こと工学部の研究には開発的研究が多く、そのためスピードも速くあるべきだと思っている。たとえば、ある合金について凝固現象、熱処理特性の研究が終わり、いざ機械的諸性質の調査に進もうかと回りを見ると、もう類似の製品が世に出て使われ始めていることを経験する。余り文献や周囲を気にしながら研究すると、もうその分野では研究する余地がないような気になってしまうこともある。私が35年間研究テーマを探しながら鑄物一筋に來れたのも、多数の方々の支えと、私の信条である "Going my way" および "Where there's a will, there's a way" のお陰と思っている。

私は、耐摩耗材料関係の国際会議やシンポジウム、大学の講義のため、海外へ出る機会が多い。そこでは、ロール材料についての関心は大きく、よく日本のロール事情について尋ねられる。C.P.Cプロセスには相当関心があるらしく、新日本製鐵と日立金属は有名で名前

がよく出てきた。しかし最近、フジコーという名前を聞くようになった。私は、フジコーがC.P.CプロセスのOriginatorだ、と説明すると皆驚く場合が多い。外国のメーカーや製鉄所の技術屋がC.P.C法を調べて行くうちにその名前に出会い、C.P.Cロールメーカーとしてのフジコーを知ったのかもしれない。もし、国際特許等で拘束できないなら、まね物の装置が作られる前に技術輸出する時期が来ているような気がする。講演では、多合金系白鑄鉄(企業ではハイスと呼ぶ)の発表も数件あるのでディスカッションがおもしろい。1994年11月にフランスで開かれた諸ロール用材料と摩耗問題の国際シンポジウムに出かけた時のことである。私の多合金系白鑄鉄の発表に続いて、新ロール材料として、私どもが炭素バランスの観点から提唱してきた基本合金組成(5Cr-5V-5Mo-5W-Co-2C)と類似した化学成分の材料を採りあげた発表が、ベルギーのロールメーカー Marichal Ketin との共同研究として、Mons工業大学のC.Pacque教授からなされた。その中で、新日本製鐵のロール資料にあるC.P.Cプロセスの略図を示しながら、日本で開発された新しいプロセスではあるが、設備投資が高すぎて製品ができて販売コストに合わないので、従来のSpin Casting法で作るべきだと主張した。そこで、私はC.P.Cプロセスの優れた点として、外層材およびコア材の化学成分を自由に選び組み合わせられること、溶着性が良いので接合境界部が強じて遠心鑄造等に比べて問題が極めて少ないこと、C.P.Cプロセスで製造した多合金系白鑄鉄ロールの著しい耐摩耗性をコメントしながら一方的な意見に反論した。その夜行われた懇親パーティーでは、他の国のロールメーカーの人達も加わって、昼間のディスカッションの続きに花が咲いた。歓談の中で、ヨーロッパの技術屋さんが、Spin Casting法で多合金系白鑄鉄ロールを作りたいという強い気持ちを抱いているのを今でも忘れられない。

バブルの崩壊した現在、我国も当然、製造コストが低い遠心鑄造法でC.P.C法に匹敵する多合金白鑄鉄ロールを作る研究が競われていると思う。私は、総合的に見て、最後に勝つものはC.P.Cプロセスであることを望む一人である。

製鋼の思い出

トースチール株式会社 元顧問

田口 喜代美
Kiyomi Taguchi

私のフジコーさん（元富士工業所）との出会いは昭和41年頃の、日本鋼管・福山製鉄所の頃からで、以来今日まで30年以上のながきに亘り、NKKのよきパートナーとしてのお付き合いの中に多くの思い出があります。私ごとになります。NKK時代の思い出を主に紙面を御借りしたいと思います。

私は昭和34年に現NKKに入社以来、ほぼ一貫して製鋼畑にお世話になってきました。製鋼部門といえば、製鉄所の中では中心となる部署で所の運営の要として重要な部署です。鋼の量、品質、コスト、などいずれも製鋼段階の良否が最終製品の評価を決定づけてきたといえます。それだけに常に重い責任がありますが、同時にやりがいのある充実した日々を送れたものと思っています。

元川崎製鉄所、福山製鉄所、現京浜製鉄所の製鋼部の一員として席をおき、その間の製鋼技術の進歩、発展にわずかなりとも貢献し得たことは誠に幸せに思います。男冥利に尽きるとはこのことかと思えます。

ご存じのごとく昭和30年代の後半から40年代の後半までの約10年間は日本鉄鋼業が量的にも質的にも飛躍的に成長を遂げた時期でした。NKKも昭和38年に水江製鉄所を稼働させ、同時に次の第4の製鉄所を計画していました。検討の結果、最終的に広島県の福山市に進出が決定され、直ちに埋め立てが開始され、つづいて工場の建設が開始された。私も、初期の段階から製鋼部門の計画と建設に関わることとなり先輩の指導を受けながら新しいことを学ぶ毎日がつづいた。そして遂に昭和41年9月に第一製鋼工場の火入れ式を感激の涙の中で迎えました。

それから昭和48年の第5期の完成まで約7年間の短

期間に、粗鋼ゼロから1600万屯の能力を持つマンモス製鉄所へと発展して行きました。幸いにも私はこの間、3つの製鋼工場の建設と同時に操業にも携わることとなり数多くの体験を通じて人生最高の充実した日々を送ることができました。

この時期最も印象に残っていることは大型転炉技術の完成と連続鑄造技術の導入であります。とくに連続鑄造技術は昭和42年当時日本では普通鋼ビレットやステンレス用に一部稼働しておりましたが、普通鋼用のしかも大能力の広幅スラブ連鑄機はいまだ開発途上にあつて、国内では、NKKの鶴見製鉄所に1基が稼働している状態でした。

福山第二製鋼工場の基本計画でこの連鑄機の導入が最大テーマになったのであります。粗鋼能力で年産1200万屯規模の大製鉄所で300万屯以上の連鑄機を導入する可否について、議論され検討されました。設備費、生産性、品質、原価、保全、労働環境など造塊プロセスと比較して検討された。幸い、私どもは鶴見製鉄所の経験を通じて連鑄機のもつ基本特性を少しは理解していました。特に厚板向けキルド鋼、セミキルド鋼の連鑄化については、品質上、コストの有利さについて確信していました。しかし薄板向けでNKKの得意とする下注ぎキャップド鋼の連鑄化についてはおおいに議論のあるところでした。しかし最終的に連鑄技術の将来性、今後の発展性に期待して薄板・厚板兼用のスラブ連鑄機を3基（能力 300万屯）設置することに決まりました。ここに国内初の本格的な連鑄工場が誕生することになった訳です。

私は連鑄建設担当として、また稼働にあたっては初代の連鑄係長として多くの事を経験することにな

りました。そして最新式のマンネスマン式広幅スラブ連铸機(6幅用)が国産1号機として45年2月にスタートしました。予期に反してスタートから作業面、設備面、品質面などで多くの問題に遭遇しました。この状況は最近、話題のアメリカのミニミル『ニューコア社』の物語のたち上げと似ていました。また作業員については、未習熟が気になりましたが鶴見製鉄所から約10名の経験者を迎えることができ、また造塊グループの中の適任者を中心に編成して、技能の柱にすえることができた事は大きな強みでありました。しかしスラブ連铸技術の蓄積が十分ではなく、多くの点で失敗と改善を重ねる日々が続いた。とくに記憶に残るのは、ブレイクアウトの頻発、取鍋のストッパーノズルのトラブル(当時スライディングノズルはまだ採用されていなかった)、溶鋼の2次酸化によるタンデイッシュノズルの閉塞トラブル、モールドパウダーの開発、マシン特にセグメントロールのベアリング破損、フレームカッターの故障などの作業トラブルが多かった。また品質面では、中心偏析、非金属介在物、表面欠陥などの問題に苦慮した。これらの多くの問題を解決するため、社内は勿論、機械メーカー、耐火物メーカー、パウダーメーカー、など関係業界の方々のご協力を得て徐々に明るい見通しを得ることができた。同時に国内他社でも連铸化の導入の気運が高まり、研究所や大学でも基礎的な研究が進んできた。そして連铸化への方向が鉄鋼業界のあるべき姿として認識されてきた。国内各社は競って新鋭製鉄所に連铸を導入したのもこの時期である。また既存の製鋼工場も造塊法に替えて連铸法の導入に力を注ぎ合理化を図っていた。この連铸法の導入は鉄

鋼業の経営を大きく変えました。例えば一貫歩留りが約10%向上して同じ粗鋼量でも10%多く製品を生産できた。また造塊の職場環境が改善されかつ省力化された。品質面では鋼塊法の基本的欠陥の頭、底部の偏析問題が解決し、あまり偏析のない製品を製造することができるようになった。これより内質、表面性状とも飛躍的に向上した。製鋼法の歴史の中で純酸素転炉法につぐ大きな技術革新となったのであります(これらは残念ながら外国からの技術導入であるが)。

ご承知のごとく造塊用铸型修理の専門会社であるフジコーさんはこの連铸化の波に最も酷く洗われた会社です。この急激な変化により経営の一大危機に直面されたわけです。

フジコーさんはこの苦しい境遇を脱却すべく、現社長を中心に全社を挙げて新しい方向を模索して、多くの技術に挑戦してこられた。すなわちC.P.C技術、特殊肉盛溶接、製鉄設備の補修技術、産業機械の設計製作など鉄を中核とする独自技術の発展に努力されてきました。一例として補修技術ではトースチールの仙台製造所にて、20年前の稼働当初から所内の補修工事を、その技術、技能を全面的に信頼してすべてフジコーさんをお願いして参りました。この間、設計、加工、施工など一貫した技術を集積して、今では立派なエンジニアリング会社として製鉄以外にも進出しておられます。このように幾つかの経営の柱を構築され、現在のフジコーさんに脱皮し、成長されたご努力に対し心より敬意を表さずにはおられません。さらに一層のご発展を祈念致します。

随 想

奥出雲に「たたら吹き」の里を訪ねて

(株)フジコー 特別技術顧問

堀川 一男

Kazuo Horikawa



当社の主要製品であるC.P.Cロールは中国地方にある山陽工場で製造しているが、中国山脈地帯ではわが国に近代製鉄法が導入される迄の永い間、武器や農機具或いは建築用金物等の鉄を造るために「たたら吹き」が盛んに行われていた。現在でも島根県にはわが国唯一の「たたら吹き」の遺跡があり操業も伝承されているので、日頃同じ地方で鉄関係の仕事をしている者として是非一度は視ておきたいということになり、社長のお勧めもあって、山陽工場の工場長以下5名の幹部技術者達と平成7年11月17日の朝、島根県飯石郡の吉田村字菅谷を目指して出発した。鴨方の工場から福山、三次を経て掛合から右折して山道へ踏み入った。幸い快晴で空は碧く空気は澄み、山々は紅葉して錦織の様に綺麗だった。四囲を中国山地特有の500~600mのなだらかな山々に囲まれた海拔約300mの山間には、「やまたのおろち」の故事や「金屋子神」が白鷺に乗って此の地の桂の木に飛来した伝説などが息づいている。古くから鉄生産の歴史と共に歩み、かつてはたたら火が此処彼処に燃え上がっていたのであろう。今でもたたら師の子孫が生存する集落の「山内」や、国が指定した唯一の「菅谷たたら(国指定重要有形民族資料)」があって、村そのものが生きながらの博物館である。

先ず「鉄の歴史村地域振興事業団」の事務所に坂本事務局長を訪ねて説明を聴いた。近くの横田には日刀保(日本美術刀剣保存協会)が全国の日本刀製作者向けの材料を一元的に確保するために文化庁の補助金を受けて毎年1月中旬から2月の中旬にかけて4回操業している(株)鳥上木炭銑工場のたたらがあるが、菅谷のたたらは鉄の歴史村地域振興事業団が

村おこしの目的で毎年11月から3月にかけて2~3回吹いて操業や用途の研究を行っている。横田の一代(一回の操業)が昔ながらの3昼夜なのに対してこちらは約30時間と短く、炉もやや小さい。炉は水分を嫌うので土を深く掘ってビニールシートを敷き、その上に厚さ70cmの乾燥した砂と10cmのカーボン煉瓦を積み重ね、更に木炭灰30cmを搗固している。炉の外殻には耐熱鑄鉄製の型の内側に耐火キャストブルを裏張りしたケースを用いており、粘土質の土と砂質の土を混ぜて築炉し、1カ月間乾燥させる。羽口は左右に4本ずつあり、「ふいご」はモーターによる連続送風で代用している。今朝7時に「火入れ」をしたので「鉚出し」は明日の午後になる。今回はNHKの取材班と静岡理工科大学の調査チームも来ているとお話だった。早速裏手の小高い丘の上にある高殿(工場)の現場に案内して貰った。一步踏み込むと薄暗い屋内の真中に長さ2m、幅1m、高さ1.2mほどの炉があって赤々と炎が立ち上がりゆらめいている。此れこそ錬金術の火である。屋内は炎の発する煙と舞い上がる床の土や炭の微塵が立ちこめ、鑄鉄工場特有の臭気が鼻をつく。壁に沿った隅には作業員の詰所、原料の砂鉄や木炭或いは道具類の置場などがある。「ふいご」の代わりに送風機だけが近代を感じさせる。やがて、炎を食い入る様に観ていた若い白井康裕「村下」(技師長)らは緊張した面持ちで木製の平らなシャベルで砂鉄20kgを静かに炉内の炎にふりかけ、次いでその上に竹製の箕で木炭を装入する。これを約40分毎に繰返し、時々自然木の先に金具を付けた棒でノロ穴をつついて炉内の状況をうかがっている。

私は27年前に日本鉄鋼協会がこの近くで行った「たたら製鉄の復元」事業の計画と研究の両委員会委員を兼ね、送風機用にNKKの当時の鶴見製鉄所にあった2HPのシロッコファンを都合したり、昭和44年11月4日には操業にも立ち会ったので大変懐かしかった。「たたら吹き」の原形は朝鮮半島から伝来したかもしれないが、独創的な考案を重ねて発展させたのは日本民族である。低温溶融による直接還元製鉄法として世界に誇れる技術であり、その優秀な製品は日本刀を作るのに不可欠である。しかし生産性が劣るので近代製鉄法に駆逐されて戦後は火が消えた俣になっていた。父から子、孫へと密かに伝授された技術であり、科学的計測法が無かった時代のことでもあるので、詳しい記録は遺ってなかった。当時たたら吹きの実験者の平均年齢は80才に近く、今を逸したら埋没してしまうとの危機感から再現して操業記録と各種の計測値を残そうと企画したのだった。堀江要四郎(83)、福庭太蔵(83)、中村佐助(89)、本間健次郎(70)の4名の村下達は藍染木綿の仕事着に黒い靴、作業用の帽子という姿で、総て古式に則って悠然黙々と作業を進めてくれた。炉体も大きくて威圧感があり、身の引き締まるような厳粛な雰囲気漂っていた。記録は岩波映画製作所が「和鋼風土記」に収録した。今回来て村下達が皆他界した事を知ったが、当時炭運び等の手伝いをしていた雨川輝男さんが元気に働いていて、あとで再会の杯を交わす事が出来たのは感慨無量だった。

見学を終えて坂道を降ると周囲の景観に相応しくない異様な品物に出喰した。表面が薄く錆びた7t鋼塊4箇が横たわっていた。これは四国松山の白鷹幸伯氏が薬師寺再建用の釘6000本を鍛造するとき、古代の釘のように1000年以上保たせたいとして東北大学の井垣先生に相談され、先生の要請でNKKが純度の高い鋼(C 0.086, Mn 0.01, S 0.002各%)を造り、その残材を

此処に寄贈したものであった。我々は「吉田グリーンシャワーの森」の丸太小屋風コテージに泊まることにした。閑静な標高450mの山の中腹に位置し、目の前に山並みが望めて自然を肌で感じる事ができた。

バーベキューとビールが快く喉を通る。小屋に入って車座になりアルコールのグラスを傾けながら夜更けまでたたらやC.P.Cについて熱っぽく語りあった。

翌朝目を覚ますと小鳥が囀っている。午前中に菅谷たたら、山内生活伝承館、鉄の歴史博物館などを訪れた。菅谷たたらの里は村の入口に桂の大木があり、高殿、元小屋、大銅場が並び民家が連なっている。高殿は雨降りでも濡れないように江戸時代に建てたもので広さ100坪、高さ9m余の杉皮葺きで、中央にある炉の寸法は縦3.3m、横1.4m、高さ1.25mである。17世紀後半に開設され明治16年から大正10年まで連続操業し、明治39年に足踏吹子から水車送風が変わった由。午後は小刀の鍛冶作業を見学し、静岡理工科大学の志村先生の「たたらと半導体結晶」の講演を聴き、「吹止め」を見に再び丘の高殿へ。送風が止められ、炎は勢いが落ち、やがて消えた。鑄鉄製のケースに鉤状の鉄具を引掛けて取除き、炉体を突いたり引張ったりして壊した。高熱危険だからと出来た鉄は見せて貰えなかった。その夜は吉田村主催の打上げパーティーに参加し、三日目は出雲大社に参拝して、快適で感動的な旅を終え帰途についた。昔、たたら師達は職責を果たす為に齋戒沐浴して神に祈り、永年蓄積した経験と研澄まされた勘を頼りに終始全身全霊を操業に打込んでいた。ところが近代工業では学理に基づく合理的な作業方案を計器とコンピューターを駆使して実施するから、熟練や勘はなくても均質な製品が生産できるとまで言われている。しかし近代工業でも立案、運転或いは改善は人がするのだから、矢張りたたら師達の心意気は見習うべきだと思う。

九州大学工学部材料工学科
教授
大城 桂作
Keisaku Ogi



耐アブレーション摩耗用 高炭素ハイス系合金の凝固機構

Solidification Mechanisms of Abrasion-resistant
High Speed Steel Type High Carbon Alloys

要 旨

Fe-5%Cr-5%Mo-5%W-0%~11%V-1~4.4%C合金の状態図と凝固過程を明らかにした。本合金系では、初晶として δ 、 γ 、MC、 M_3C が晶出し、各初晶面の組成域をVとC濃度との関係で表すと、Fe-V-C系と類似している。 M_2C や M_7C_3 は状態図には現れなかったが、Mo、W、Crの凝固偏析により凝固の後期段階で共晶として晶出する。状態図と凝固における合金元素の分配挙動に関する本研究結果に基づいて炭化物の種類と量を制御できる。 γ -炭化物共晶セル間に少量の黒鉛を晶出させるための合金組成についても提案した。

Synopsis:

The phase diagram and the solidification processes are revealed for Fe-5% Cr-5% Mo-5% W-0~11% V-1~4.4% C alloys. δ , γ , MC and M_3C crystallize as primary phases in the ranges of C and V contents similar to those of Fe-V-C and Fe-5% Cr-V-C alloy systems. M_2C and M_7C_3 crystallize as eutectic because of segregation of Mo, W and Cr to residual liquid, though they don't appear in the diagram. The species and amount of carbides of this alloy system are estimated on the basis of the diagram and the analysis of redistribution of alloying elements during solidification. The chemical compositions are proposed to the alloy which should crystallize small amount of graphite among γ -carbide eutectic cells.

1 緒言

アブレーション摩耗を受ける部材には高クロム鋳鉄が多用されてきたが、最近になって鉄鋼の熱間圧延用ワークロール用として、高速度鋼と類似の合金元素を含有し、炭素量を増やして耐摩耗性を向上させた材料が開発されている^{1)~4)}。本合金系では、とくにV添加量を増やして、高クロム鋳鉄に晶出する M_7C_3 型炭化物よりも高硬度で細かいMC型炭化物および高速度鋼に特有の M_2C 型炭化物を晶出させたことに特徴がある。さらに、本合金系ではMo、W、Vなどの作用により、熱処理後の基地硬度が高くなっており、従来の高クロム鋳鉄系ロールの数倍の寿命を有している。しかし、本合金のような多元系合金に関する状態図がないため、適正な組織を得るための合金設計を行うのが困難な状況にあった。著者等は、5%Crおよび15%Cr含有のクロム鋳鉄にV、Nb、Wをそれぞれ単独で添加したFe-5/15%Cr-(V/Nb/W)4元系合金の凝固機構を研究し、液相面に関する状態図を擬3元系とみなしてC、V量との関係で表し、その凝固過程を明らかにすることができた^{5)~8)}。これら4元合金の状態図に及ぼすCr量の影響は比較的

小さかったので、高速度鋼系合金の場合も同様の取り扱いができると考え⁹⁾、JIS規格のSKH51~53に準じてCr、Mo、Wを5%で一定とし、C、V量を系統的に変化させた合金について、凝固直後に急冷した試料を作製し、晶出相を同定して液相面の状態図を描き、凝固組織との関連を調査した。しかし、本合金系では液相面の状態図に現れない共晶凝固反応も生じたので、代表的な組成の合金試料について、凝固の進行にともなう残液の組成変化を調査して、凝固過程を解析した。また、耐クレーシング性等の改善のため低クロム鋳鉄や高クロム鋳鉄に黒鉛を晶出させたものがあるので、本合金系についても黒鉛晶出の可能性について検討した。

2 実験方法

高純度の原材料を用いて、Table 1のようにCr、Mo、Wがそれぞれ5%で、C量を1~4.4%、V量を0~11%に変化させた試料を溶製した。これらの試料30gを、アルゴン雰囲気シリコニット炉で再溶解後、10K/minの冷却速度で凝固させ、凝固終了直後に水中に急冷した。まず、着色腐食法、

Table 1 The chemical compositions of specimens

Sample number	Chemical composition(mass%)					Carbide
	C	Cr	V	W	Mo	
No.1	1.01	4.32	—	5.20	4.98	M ₆ C
No.2	1.29	4.57	—	5.18	4.95	M ₆ C+M ₇ C ₃
No.3	1.39	4.23	3.03	4.77	4.90	MC+M ₂ C
No.4	1.87	4.53	6.45	5.35	4.80	MC+M ₂ C
No.5	1.93	4.41	8.52	5.34	4.90	MC+M ₂ C
No.6	1.99	4.16	3.06	4.30	4.94	MC+M ₂ C
No.7	2.02	5.09	6.24	3.78	4.98	MC+M ₂ C
No.8	2.07	4.82	11.13	4.62	4.77	MC+M ₂ C
No.9	2.11	5.00	8.48	5.09	4.64	MC+M ₂ C
No.10	2.48	5.17	5.31	4.73	5.27	MC+M ₂ C+M ₇ C ₃
No.11	2.50	4.49	3.13	5.05	5.21	MC+M ₂ C+M ₇ C ₃
No.12	2.57	4.38	6.93	5.02	4.83	MC+M ₂ C
No.13	2.91	5.09	7.16	4.42	5.28	MC+M ₂ C
No.14	3.27	4.06	3.42	3.85	5.06	MC+M ₂ C+M ₇ C ₃
No.15	3.76	4.64	3.26	5.10	4.96	MC+M ₂ C+M ₇ C ₃
No.16	3.81	4.54	3.24	4.84	4.80	MC+M ₂ C+M ₇ C ₃
No.17	4.13	4.68	—	4.81	4.88	M ₃ C+M ₇ C ₃
No.18	4.16	4.69	3.44	5.02	4.50	MC+M ₂ C+M ₇ C ₃
No.19	4.16	4.61	3.77	4.64	4.82	MC+M ₂ C+M ₇ C ₃
No.20	4.31	4.57	—	4.77	4.90	M ₃ C+M ₇ C ₃
No.21	4.31	4.63	1.22	5.39	4.83	M ₃ C+M ₇ C ₃
No.22	4.35	4.62	3.40	5.60	4.83	MC+M ₂ C+M ₇ C ₃

X線回析法、EPMA分析法により晶出相を同定し、液相面の状態図を作成するとともに、本合金系で生じる凝固反応の種類を合金組成との関係で明らかにした。また、代表的な重共晶組成合金を用いて、液相状態から10K/minで冷却し、凝固途中から急冷した試料を作製し、初晶オーステナイトに対する各合金元素の分配係数を求めるとともに、凝固にともなう残液の組成変化と後続の凝固反応の種類との関連を調査した。なお、EPMA分析では各元素の特性X線の相対強度を測定し、ZAF法による補正を施して定量値とした。

次に、V、Nb、Cr等の炭化物生成元素量と黒鉛化助長元素のNi、Si量を系統的に変化させた試料を作製し、MC等の炭化物とともに少量の黒鉛を晶出させる合金組成について調査した。

3 実験結果および考察

3.1 晶出相の同定法について

本合金系には、合金組成に応じて種々の形態の炭化物が晶出し、微細に少量晶出する炭化物もあるため、(1) 着色腐食法、(2) X線回析法、(3) EPMAによる炭化物の合金元素濃度分析を併用して、その同定を試みた。着色腐食法には、村上試薬とピクリン酸ソーダアルカリ溶液を用い、それぞれ333Kで180~300sおよび363Kで480s腐食した結果、MC型炭化物はいずれの試薬にも腐食されず白色を呈し、M₂CおよびM₇C₃型炭化物は村上試薬、M₃Cはピクリン酸ソーダアルカリ溶液に腐食されて褐色を呈する。また、Fe-Cr-W-C系合金に

晶出させたM₆Cは両試薬に腐食されて褐色を呈した。

X線回析法では、特性X線Co-K α (40kV, 40mA)を用いて分析した。実験試料は粉末状に粉碎し、一部はそのまま、また残部は磷酸で基地部を溶解して炭化物を抽出し、X線回析することにより各合金に晶出した炭化物の種類を同定することができた。また、各炭化物をEPMA分析して、炭化物中に占める金属元素量の割合を求めた結果、MC炭化物はVの固溶量が多く、M₂CはMoとWをほぼ同量含み、M₆CはM₂CよりもFeが多く、M₇C₃はM₃Cに比較してCr量が多い特徴を有しており、H.F.Fischmeisterら¹⁰⁾による高速度鋼に晶出した炭化物のEPMA分析結果とよく対応する。

以上のことから、上記の3つの方法を組み合わせることにより、炭化物の同定を高精度で行うことができる。

3.2 液相面に関する状態図と凝固過程

CとV量を系統的に変化させたTable 1の試料について、融点以上約100Kに再溶解後、10K/minで冷却し、凝固完了直後に急冷して、組織観察するとともに晶出相を同定した結果をTable 1中に示した。本合金系では、初晶としてデンドライト状の δ と γ 、Fig.1のようなデンドライト状のMCおよび粗大な板状M₃Cが晶出していたので、試料のCおよびV濃度と初晶の種類との関係をFig.2のようにFe-V-C擬3元状態図上にプロットした。図中の数字は試料番号を表して

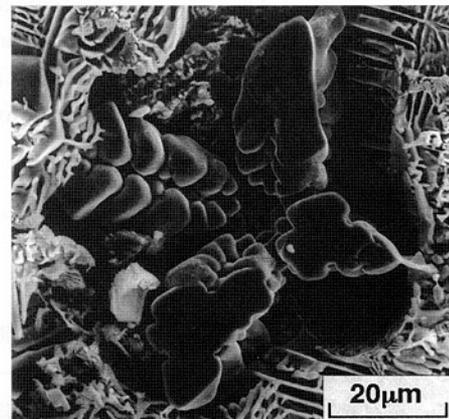


Fig.1 Morphology of primary MC

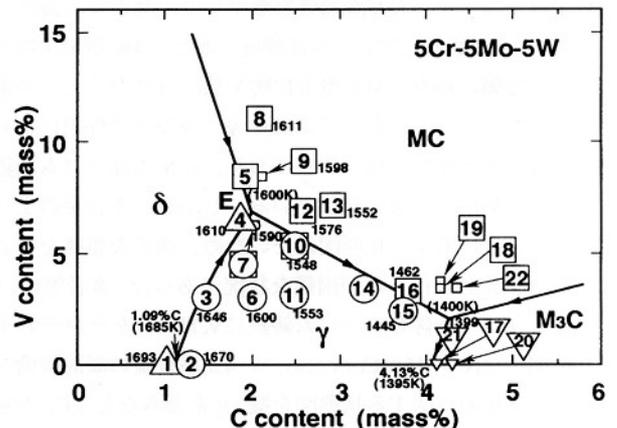


Fig.2 The diagram for liquidus surfaces of Fe-5%Cr-5%Mo-5%W-V-C alloy system

おり、△はδ、○はγ、□はMC、▽はM₃Cが初晶であることを表している。試料No.7と10にはデンドライト状のγと少量のMCが共に認められ、共晶組成に近い亜共晶合金と考えられた。これら同定の結果と初晶の量を考慮して、各初晶の晶出する組成範囲を決定し、Fig.2中に実線で示した。この状態図は、Fig.3に示すように、Fe-V-C系3元合金¹¹⁾ およびFe-5%Cr-V-C系4元合金¹²⁾ の状態図と比較してγの初晶面がやや小さいが、よく似た構成になっている。

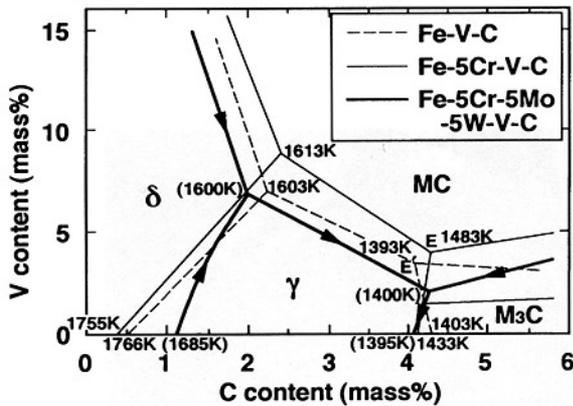


Fig.3 Influence of Cr, Mo and W on the diagram for liquidus surfaces of Fe-X-V-C alloys (X=Cr, Mo, W)

δとMC、γとMC、γとM₃Cの境界線は擬二元共晶線であり、これらの線上の組成の合金では、それぞれL→δ+MC、L→γ+MC、L→γ+M₃Cの共晶反応によって凝固が開始する。また、δとγの境界線はL+δ→γの包晶線である。

Fig.2から、合金組成が決まれば初晶の種類が明らかになり、その後の凝固過程についてもある程度の推定が可能である。例えば、高強度鍛造材としてはγの液相面上の組成の亜共晶合金が選ばれるので、約3~4%Vを含有し、C量が1.4~3.3%の試料No.3、6、11、14について、初晶γの晶出とともに残液のVとCの濃度変化の評価を試みた。まず、これらの試料の初晶デンドライト芯部の合金濃度をEPMA分析し、試料の平均濃度との比 (k_M) を求めた結果、Fig.4のようにV、

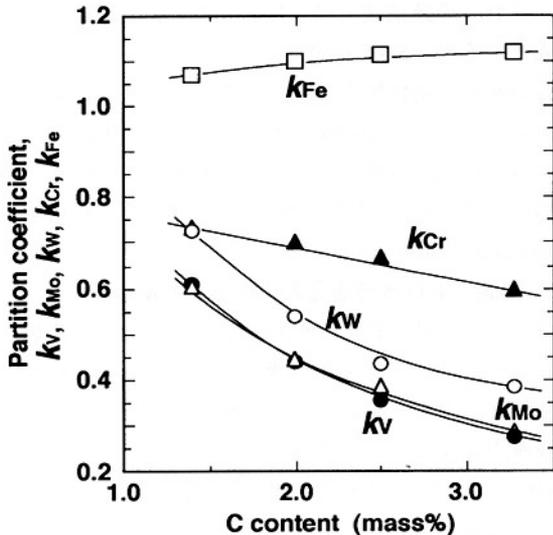


Fig.4 Partition coefficients of alloying elements to primary γ vs. C content

Cr、Mo、Wのk_Mはいずれも試料のC濃度の増加とともに減少し、Fe-C-Cr-M (M=V、Mo、Mn、Ni、Si等) 4元合金で得られた炭化物生成元素の初晶γに対する平衡分配係数 (k_e) と類似している¹²⁾。k_e<1の元素では、k_Mはk_eよりやや大きくなるが、その差は小さいので、Vの分配係数としてはFig.4のデータを用いた。初晶γに対するCの分配係数については、本実験試料では求めなかったが、Fe-Cr-C系の広い組成範囲の合金について測定した結果¹³⁾ から判断して、0.35で一定とした。Cは拡散速度が大きいので平衡凝固の場合と同様に均質化し、置換型に固溶するVは固相内拡散が生じないとみなしても誤差は小さいので、Fe-Cr-C系合金の場合¹⁴⁾ と同様に凝固割合0.005毎にγと残液の濃度およびk_Mを求め、残液の組成がγ+MC共晶線に達するまで計算した結果をFig.5に示した。残液の組成は矢印の方向に向かって変化し、γ+MC共晶線に達するとL→γ+MCの反応が開始するので、合金組成から共晶線までの距離が長いほど初晶γ量が多い。また、Fe-C-V系やFe-C-Cr-V系ではL→γ+MCの反応は高炭素側のE点に向かって進行し、E点以降はM₃CやM₇C₃が生成するので、共晶MC量を多くするには、L→γ+MC共晶線に沿った凝固が長くなるように、低C濃度でこの共晶凝固を開始させる方が良いことが判っている⁷⁾。本合金系

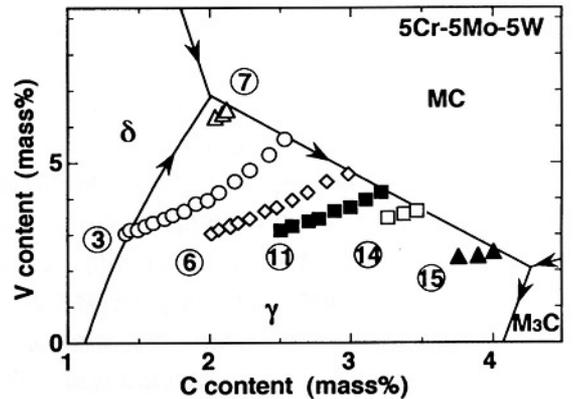


Fig.5 The changes in V and C contents of residual liquid during the solidification of primary γ

の場合も、γ+MC共晶組成近くでC量を変化させた試料の組織から同様に考えることができると判断される。

一方、初晶VCが晶出する過共晶組成の合金では、MCの晶出とともにV、C量が減少するため、残液の組成はγ+MC共晶線に向かって変化し、γ+MC共晶反応が開始することになる。

しかし、初晶および共晶凝固中にCr、Mo、W濃度も変化するため、各液相面の組成範囲はFig.2からずれたものとなり、新たな凝固反応も生じることになる。そこで、Fig.5中に示した3~4%V含有の試料について熱分析し、凝固過程を調査した。各試料について得られた凝固反応の種類と反応開始および完了温度を、Fe-C擬二元系状態図としてFig.6に示した。図中には、H.F.FischmeisterらがFe-4%Cr-5%Mo-6%W-2%V-0~1.4%C合金について測定した結果¹⁰⁾ も示したが、本実験試料の方がC量が多いためL+α→γの包

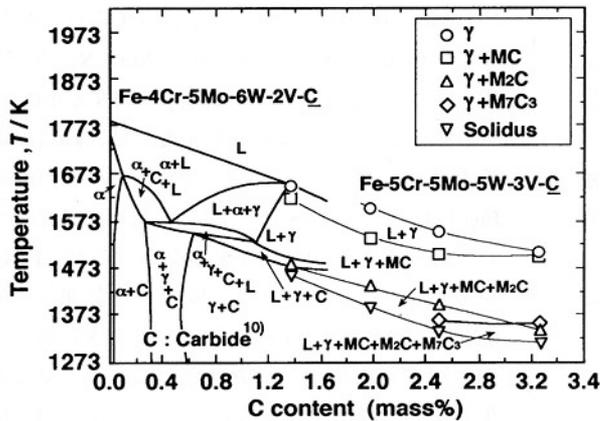


Fig.6 Phase diagram for Fe-5% Cr-5% Mo-5% W-3-4% V-C alloy system

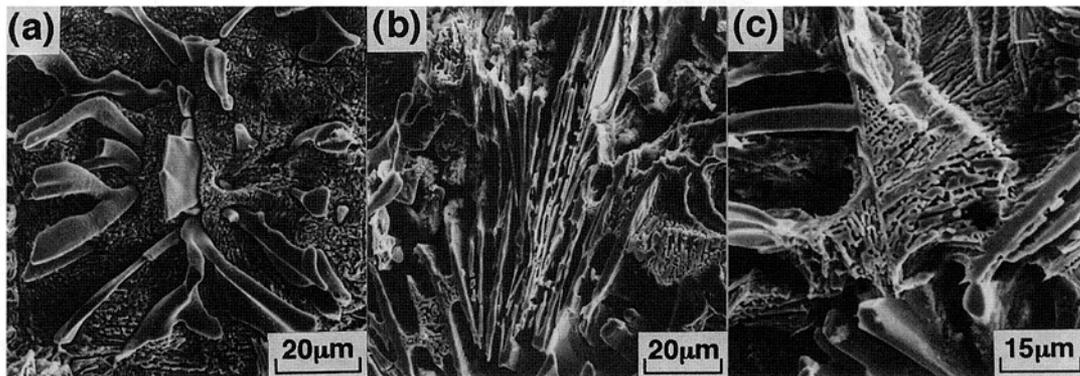


Fig.7 Morphologies of eutectic MC (a), M₂C (b), and M₇C₃ (c)

晶反応は生じず、またV量が多いため初晶 γ の晶出後、 $L \rightarrow \gamma + MC$ の反応が明瞭に生じ、その後 $L \rightarrow \gamma + M_2C$ および $L \rightarrow \gamma + M_7C_3$ が生じている。Fig.7に示すように、共晶VCは棒状または板状で、共晶 M_2C は板状を呈し、共晶 M_7C_3 は通常の高クロム鋳鉄にみられるよりも複雑構造に凝固している。

また、C量が2%で、V量が3~11%の試料を用いて、擬二元系状態図として凝固過程に及ぼすV量の影響を表すとFig.8のようになる。初晶 γ およびMCの凝固開始温度は共晶組成に向かって緩やかに低下し、亜共晶組成域ではV量の増加とともに $L \rightarrow \gamma + MC$ および $L \rightarrow \gamma + M_2C$ 共晶開始温度が高くなる。合金のC、V量によって各共晶が開始するときの融液の組成が変化し、共晶温度は各合金元素によって影響されるため、単純ではないが、 $L \rightarrow \gamma + MC$ の開始温度

が上昇するのは、V量の増加によりこの反応がより低い炭素濃度で開始するためであろう。なお、V量の増加とともに初晶 γ が減少して、 $\gamma + MC$ 共晶量が増し、過共晶域ではデンドライト状MCの晶出量が増して、 $\gamma + M_2C$ 量が減少する。

鉄鋼の熱間圧延ロールのようにアブレーションを受ける部材としては、耐摩耗性向上の面からMC炭化物の晶出量を増やした合金が良い。しかし、Vに富むMC型炭化物は密度が母液より小さいため（VCの密度は約5.6g/cm³）、冷却速度の小さい铸造、凝固法では浮上しやすく、また遠心铸造法では内面側に移動して不均質に分布する。したがって、これらの铸造法では、 $L \rightarrow \gamma + MC$ 共晶線以下の亜共晶組成とするか、Nb等を添加して（Nb、V）Cとして融液と同等の密度の炭化物として晶出させるように配慮する必要がある。一方、肉盛溶接法やアトマイズ・HIP法によりロール等を作製する場合には、急速凝固により極めて微細な組織になるため、初晶のMC炭化物が多量に晶出する高V過共晶合金を利用することができる。

3.3 凝固における合金元素の挙動と共晶反応

Fig.6より、試料のC量が増加すると共晶反応の種類が増しているため、その原因を調査するため、2.48% C-5.31% Vを含有し、共晶組成に近い試料No.10を用いて、凝固過程と残液の組成変化との関連を調査した。

Fig.9は、試料No.10を再溶解後、10K/minで冷却したときの冷却曲線であり、クニックの上下の温度から急冷した試料の組織観察結果から、初晶 γ が1548Kで晶出し始め、

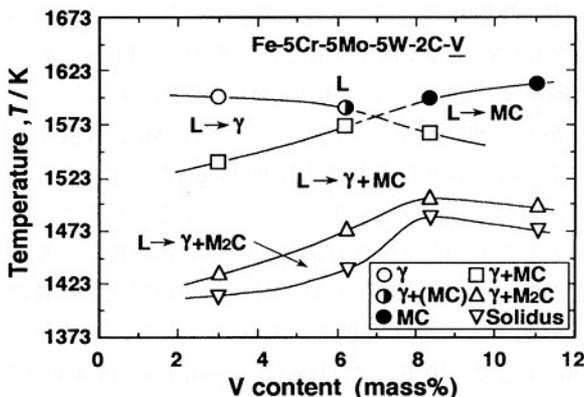


Fig.8 Influence of V content on crystallization temperatures of primary and eutectic phases

1492Kから γ +MC共晶反応が始まり、さらに1388Kで γ +M₇C₃共晶反応が開始し、1365Kで凝固が完了したと判断された。各凝固反応により生成した相の量比を急冷試料の組織写真から測定した結果、初晶 γ の量比は0.25、 γ +MC共晶は0.52、 γ +M₂Cが0.17、 γ +M₇C₃が0.06であった。

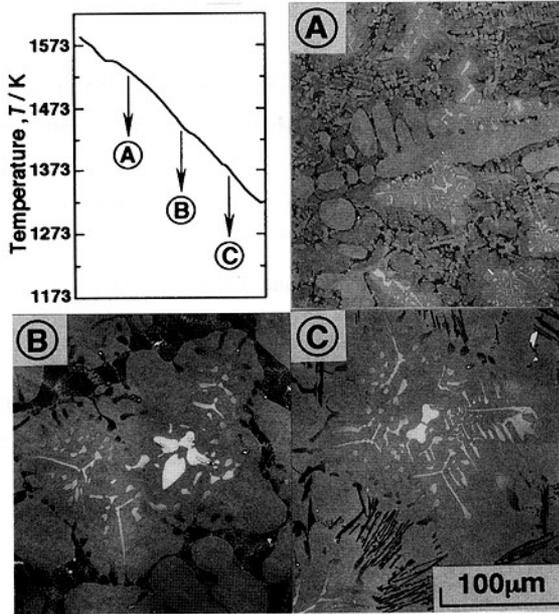


Fig.9 Solidification sequences of Fe-5.2% Cr-5.3% Mo-4.7% W-5.3% V-2.48% C alloy

各晶出相への合金元素の分配状態を調査するため、Fig.9のA~Cの位置から水中に急冷した試料の組織も示した。融点直上から急冷すると、急速凝固した微細な初晶 γ とMC、 γ +MC共晶および γ +M₂C共晶が認められたが、Aでは、急冷前にデンドライト状に大きく成長した初晶 γ が認められ、Bでは γ +MC共晶量が著しく増加しており、Cでは新たに凝固した γ +M₂C共晶と微量の γ +M₇C₃共晶が認められた。これら急冷試料の組織写真より各共晶中に占める γ と炭化物の面積割合を測定した結果、MCは22%、M₂Cは41%、M₇C₃は62%であった。ただし、共晶の γ とM₇C₃の割合は本実験試料では測定困難であったため、その晶出量の多い試料No.16で測定した。これから明らかに共晶中に占めるMCの割合は小さく、しかも、Fig.7のようにMCは棒状ないし小板状を呈することからM₂CやM₇C₃より分散性に富むことがわかる。

一方、試料A、Bの急冷前に融液であった領域および試料Cの γ +M₇C₃領域の平均組成をEPMA面分析法により測定した結果を、凝固割合との関係でFig.10に示した。共晶凝固における各元素の分配挙動を調査するため、急冷直前に晶出したと判断される共晶セル外周部の γ およびMCの合金濃度、およびこれと先に示した共晶中 γ とMCの構成比から算出した共晶平均組成と残液の組成の比として分配係数を求めた結果をTable 2に示した。表中には、同様にして求めた γ +M₂C共晶凝固における分配係数も示した。これら共晶に対する分配係数とFig.4の初晶 γ に対する分配係数からFig.10の融液の組成変化と凝固反応は次のように考えられる。

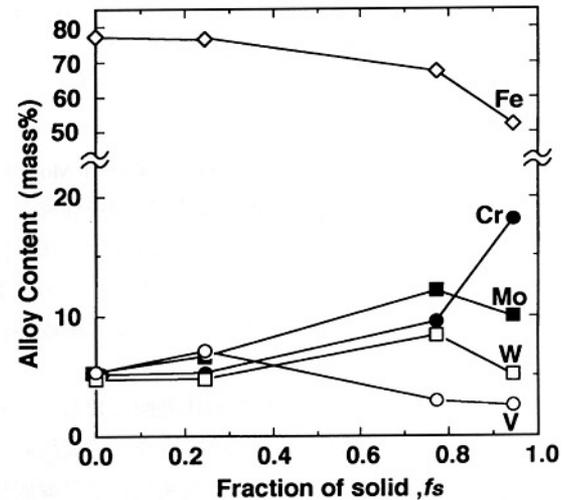


Fig.10 The changes in alloying elements in residual liquid during solidification of Fe-5.2% Cr-5.3% Mo-4.7% W-5.3% V-2.48% C alloy

Table 2 Partition coefficients of alloying elements to eutectic phases

γ + MC eutectic				
	k_v	k_{Cr}	k_{Mo}	k_w
γ	0.26	0.52	0.22	0.32
MC	11.03	0.67	1.70	2.68
γ + MC	2.65	0.56	0.55	0.84

γ + M ₂ C eutectic				
	k_v	k_{Cr}	k_{Mo}	k_w
γ	0.17	0.31	0.23	0.43
M ₂ C	3.66	0.83	3.52	5.84
γ + M ₂ C	1.59	0.52	1.57	2.63

まず初晶 γ が25%晶出する間に、 γ への分配係数が1より小さいCr、Mo、W、Vが残液に排出され、C量も増加して γ +MC共晶が晶出するようになる。 γ +MC共晶の凝固の進行にともない、Table 2の分配係数に応じて残液のV量は減少し、MoとW量が増加して、固相率(fs)=0.77ではW当量(W+2Mo)が約32.5%と高くなり、 γ +M₂C共晶が凝固し始める。 γ +M₂C共晶凝固が進行すると残液のMo、W量は減少し、Cr量は増加して、fs=0.94での濃度は10.3%Mo、5.4%W、19.3%Crであり、このCrに富む融液から γ +M₇C₃共晶が晶出することになる。合金のC量が増すと、 γ +M₇C₃共晶は、Mo、Wが十分に濃縮しない段階で生成できるようになり、3.3% C合金(試料No.14)では γ +M₂C共晶に先行して凝固した。

Vは溶鉄中の炭素の活性を低下させて黒鉛の生成を抑制する作用が大きいので、本合金系に黒鉛を晶出させるには、V量を低減する必要がある。NbはVと同様にMC型炭化物を形成し、 γ +MC共晶への分配係数がVよりも大きく、この共晶の晶出によって融液中のNbとV量が減少するので、黒鉛晶出抑制効果が小さくなる。したがって、Vの一部または全部をNbで置き換え、さらに、黒鉛化助長元素のNi、Si添加量を増やすことによって、 γ +MC共晶や γ +M₇C₃または γ +M₂C共晶に続いて γ +黒鉛共晶を晶出させることが

できる。例えば、Fe-3% Cr-2% V-2% Nb-5% Mo-6% Ni-3% Si合金では約4.8vol.%の片状黒鉛が晶出した¹⁵⁾。

4 結言

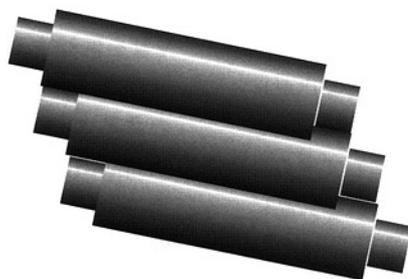
C量が1.4~4.4%、V量0~11%のFe-5% Cr-5% Mo-5% W-V-C系合金について、液相面に関する状態図を作成し、これがFe-V-C系合金およびFe-5% Cr-V-C系合金の状態図と類似の構成になっていることを明らかにした。この状態から、分散性に優れた共晶VCを多量に晶出する組成の決定などが可能になった。

しかし、凝固組織には、液相面の状態図に現れない相も晶出していたので、凝固過程について調査し、凝固時における合金元素の分配挙動、残液の組成変化および凝固反応の関連について明らかにした。また、Vの代わりにNbを用い、NiとSiを添加し、接種することにより、MC等の炭化物と共に数vol.%の黒鉛を分布させることができた。

以上の結果から、合金組成と凝固組織との関連が明瞭になり、目的とする組織を得るための合金設計が可能となった。

参考文献

- 1) K.Goto, Y.Matsuda, K.Sakamoto and Y.Sugimoto : ISIJ Int., 32(1992), p.1184
- 2) Y.Sano, T.Hattori and H.Haga : ISIJ Int., 32(1992), p.1194
- 3) M.Hashimoto, S.Otomo, K.Yoshida, R.Kurahashi, T.Kawakami and T.Kouga : ISIJ Int., 32(1992), p.1202
- 4) 木原淳二：鉄と鋼, 80(1994), p.N386
- 5) 沢本 章, 大城桂作, 松田公扶：鑄物, 54(1982), p.726
- 6) 沢本 章, 大城桂作, 松田公扶：日本金属学会誌, 49(1985), p.475
- 7) 沢本 章, 大城桂作, 松田公扶：鑄物, 57(1985), p.180
- 8) A.Sawamoto, K.Ogi and K.Matsuda : AFS Trans., 94(1986), p.403
- 9) 浜田貴成, 周 宏, 村井典子, 小野幸徳, 大城桂作：材料とプロセス, 6(1993), p.1367
- 10) H.F.Fischmeister, R.Riedl and S.Karagoz : Metal. Trans. A, 20A(1989), p.2135
- 11) 大屋正吉：金属の研究, 2(1930), p.615
- 12) Y.Ono, N.Murai and K.Ogi : ISIJ Int., 32(1992), p.1150
- 13) 小野幸徳, 武智 勉, 村井典子, 大城桂作：日本金属学会誌, 56(1992), p.802
- 14) 小野幸徳, 武智 勉, 大城桂作：日本金属学会誌, 57(1997), p.432
- 15) 久保田剛, 陣 金水, 村井典子, 大城桂作：日本鑄造工学会第127回全国講演大会講演概要集, (1995), 68



技術論文

革新的超硬系サーメット溶射技術の開発

— 溶射ロールによる調質圧延実験結果 —

Development of Innovative Thermal Spraying Technology of Tungsten Carbide Cermet
— Experimental Results of Thermal Sprayed Rolls Applied to Skin Pass Rolling —

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 Suzuki

溶接溶射技術開発室長

吉村 武憲

Takenori Yoshimura

要 旨

製鉄プロセスロールなどに広く普及が進行している溶射皮膜は剥離しやすいという短所があるために、適用範囲が制限されることが多かった。中でも比較的密着性が高いといわれる超硬 (WC) 系サーメット皮膜ですらクロムメッキのように、圧延ロールにまで適用されることはなかった。

そこで筆者らは、既に冷延ロールに用いられている硬質クロムメッキ膜の密着性を目指して溶射技術開発を行い、今回実験室調質圧延ロールによる圧延実験を行った。その結果、1000パスを越える圧延を行っても皮膜剥離は全く発生せず、密着性がクロムメッキと同等であることが確認された。

今後は圧延ロールのみならず、従来の溶射が使用できなかった高面圧を受けるプロセスロールにも実機適用を図り、性能の確認と必要あらば改善を行っていく。

Synopsis:

Due to the defect that thermal sprayed coatings are easily peeled off which are now being used in the processing rolls of steelmaking, its applicability has been frequently restricted so far. Above all, even the coating of tungsten carbide cermet which is said to have a relatively high adherence has not yet been applied to rolling rolls like a chromium plating.

Then the authors, aiming at the adhesive property equivalent to that of hard chromium plated coatings which have already been used in the cold rolling, carried out the development of thermal spraying technology and, at this time, rolling experiments using a skin pass rolling roll in the laboratory. As the result, it was confirmed that no peeling-off of the coating occurred, even when repeating its rolling exceeding 1,000 passes, and its adherence is equal to that of chromium plating.

From now on, its commercial application will be planned not only for rolling rolls, but also for higher stress bearing processing rolls which cannot be applied a usual thermal spraying, furthermore, confirming and, if necessary, improving its performance will be carried out.

1 緒言

溶射はそのプロセスがメッキとは異なるドライコーティングであることだけでなく、材料としてメタルからセラミックスまで広範な選択自由度があるという長所を有するために、実用化が現在進展しつつある表面改質技術である。とりわけ、サーメットの一種である超硬 (WC-Co) 系の溶射皮膜は、優れた耐摩耗性と近年開発された高速フレーム溶射法によれば比較的高い密着性が確保されることがわ

かり、製鉄プロセスロールなどのコーティングとして広く普及しつつある。しかしながら、接触面圧が高い場合には皮膜の剥離が発生することがあり、ましてや圧延ロールは適用の対象外とされていた。

圧延ロールは製鉄プロセスロールの中では最も高い負荷を受け、摩耗、肌荒れなどの表面損傷のために交換頻度が高いので、これまでに溶射を含めて種々の表面改質技術の適用が検討された。その結果、成功したのは硬質クロムメ

ツキのみである。すなわち、現在の表面改質皮膜の密着性はメッキのそれを越えられなかったのである。当然のことながら、密着性は皮膜の最も重要な性質であり、耐摩耗性など他の特性がいかに優れていてもこれが不十分では何の用も足さない。そしてその密着性は用途に応じて必要度が異なる。

本報告では、上述の超硬系の溶射について、既報¹⁾の評価法を活用して、溶射皮膜としてはおそらく極限まで密着性を高められる技術を開発したので、その圧延ロールへの適応性を調べた結果について述べる。調査の方法は、鋼板の実験室圧延機用ロールを、比較用のクロムメッキ法とともに試作して圧延により直接評価し、一方、耐摩耗性を同じく両材質についてころがりすべり方式の摩耗試験により比較した²⁾。

なお、ここでは圧延の種類を冷延鋼板の最終工程で行われる調質圧延（スキンパス圧延）^{3) 4)}に設定した。その理由は、この圧延が圧下率1ないし3%と比較的軽負荷であるので、最初の対象として最適と考えたからである。しかしそれでも、ロールが受ける最大接触応力は100kg/mm²以上、最大200kg/mm²程度にも達する。

調質圧延のワークロールは、交換頻度が数時間ないし数日と高く、種類も多いので、各製鉄所では多くの本数が保有されており、コスト的にもまた管理面からかなりの負担になっている。ロールの種類としては表面仕上げ毎に、ブライト、スクラッチ、ダルの3種類があり、特にダルロールは表面粗さ低下（摩耗）の軽減のために、現在は大半がクロムメッキ処理されている。

2 実験方法

圧延ロールが受ける平均的かつ定常的な接触応力による皮膜の耐剥離性は既報のころがり疲れ試験による評価で十分であると考えるが、板のかみ込み、尻抜けあるいはコイル継ぎ目部通過時などの衝撃応力、および板端部の集中応力などの、いわば非定常的な応力の影響はやはり圧延によらないと評価が難しい。そこで、圧延ロール表面にこの新しい溶射を行い、Table 1に示す実験室圧延機を用いて圧延実験を実施した。この装置は切り板圧延方式であるので、あらかじめ数10枚の切り板を準備し、一定の圧下率で繰

り返しそれらを圧延して溶射皮膜の剥離などの異常有無を観察することにした。実験した1日間の総計パス数は1,188および1,010であるので、コイル本数でも同数に相当すると思われる。

実験は2回行い、それぞれの実験条件はTable 2、3の通りである。第1回の圧下率はすべて1%であるが、2回目は3%、5%、そして最後は調質圧延ではほとんどあり得ない8%まで上げた。なお、圧下率の設定はここでは板厚でなく、板長さによった。すなわち、1%の圧下とは板長さ500mmが505mmに延びることである。

Table 2 Detail of tested rolls (Top and bottom work roll)

Items	First experiment	Second experiment
Coating material	WC-12Co and chromium plating	WC-12Co and WC-NiCr
Thickness of coating (μm)	150 and 10	Both 150
Surface roughness ($\mu\text{m Ra}$)	3 and 1.5	Both 2

Table 3 Rolling conditions

Items	First experiment	Second experiment
Material of rolled sheets	Cold rolled and annealed carbon steel	(Same to first experm.)
Size and number of sheets(mm)	1. 0.67×180×500 35 2. 0.73×180×500 23	0.80×180×500 80
Pass number and reduction of thickness (%)	1. → 30pass, 1% 2. → 6Pass, 1%	50sheets→14pass, 3% 30sheets→10pass, 5% 10sheets after 14pass, 3% reduction→1pass, 8%
Rolling speed (rpm)	10.5	10.5
Lubrication	10% Emulsion of mineral oil	(Same to first experm.)
Rolling length (m)	713	623
Revolution number of roll	2160	1890

ロールの種類は、第1回目が上ロールをメッキ、下ロールをWC-12Co、第2回目は上ロールをWC-12Co、下ロールをWC-NiCrとし、すべて表面仕上げは平均粗さで2~3 μm のダルとした。膜厚はメッキが10 μm 、溶射は150 μm である。

次に、圧延実験ではロールが摩耗するほど圧延距離が長くとれないので、別に、Fig.1に示すころがりすべり方式

Table 1 Detail of experimental rolling mill

Type	4 Hi skin pass mill
Power	Total 60kw
Dimension of work roll	ϕ 105×300 ϕ
Dimension of back-up roll	ϕ 310×300 ϕ
Maximum rolling force (ton)	120
Rolling method	Sheet rolling Max. size 3×200×500

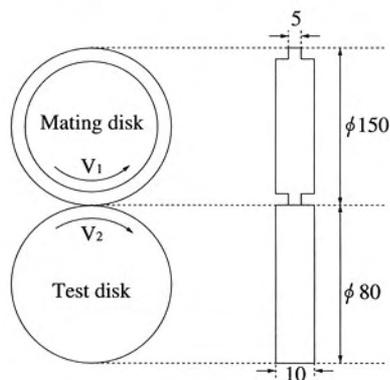


Fig.1 Method of wear test

の摩耗実験を行った。圧延ロールが受ける摩擦条件はころがりすべりであるので⁵⁾、相手片を炭素鋼で入手しやすいS45Cとし、接触面圧294MPa、すべり率5%で、転動数6万回までの表面粗さの変化を測定した。実験条件はTable 4の通りである。

Table 4 Experimental condition of wear test

Test temperature	Room temperature
Material of mating disk	S45C
Max. contact stress (MPa)	294
Revolution speed (rpm)	500
Slip ratio (%)	5
Total revolution number	60,000
Lubrication	Water

3 実験結果および考察

3.1 圧延実験結果

圧延実験はFig.2のように、手作業で板を繰り返し圧延機に通すのみで、目視によりロール表面の観察を続けた。

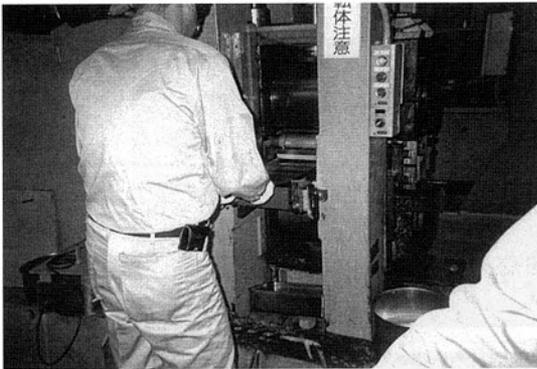


Fig.2 Circumstances of rolling experiment

実験状況は例えば、第1回の実験では最大で35枚の板を各30回圧延したので、このときのパス数は1,050、板長さは当初の500mmから最後に675mmまで伸び、第2回では最初に50枚の板を圧下率3%で各14回圧延して700パス、同じく500mmが816mmとなった如しである。

圧延荷重は、圧下率1%のときには初期には15ton程度、その後続く30パスまでの末期には加工硬化により最大20tonまで上昇した。圧下率3%では18tonから27tonまで、また、圧下率8%では40tonに達した。圧延荷重が40tonの場合、ワークロールとバックアップロールの間の、次式で与えられるヘルツ接触最大応力Pmaxは146kg/mm²となる。

$$P_{\max} = 60.56 \sqrt{(p/\ell)(R_1 + R_2)/R_1 R_2}$$

ただし、ロールと板のヤング率はともに21,000kg/mm²とし、pは圧延荷重、ℓは接触巾(ロール胴長)、R₁はワークロール半径、R₂はバックアップロール半径である。

第1回実験後のロール外観はFig.3のように、いずれも剥離などの異常はまったく認められなかった。第2回も同様である。このことから、この溶射膜の密着性はクロムメッキと同様に、圧延時の非定常応力にも十分耐え得ることが明らかになった。

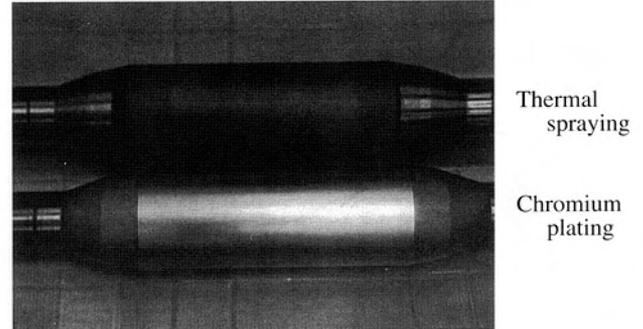
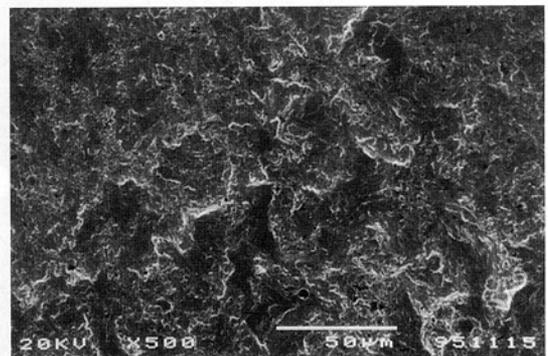
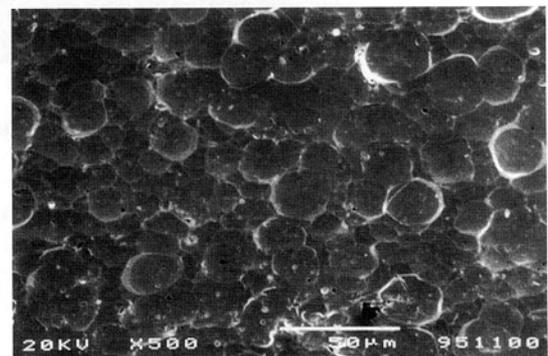


Fig.3 Appearance of test rolls after the first experiment

Fig.3で、溶射ロールの色がメッキに比べて黒ずんで見える。圧延された板も同様であったので、その表面をSEM観察すると、Fig.4のように、表面構造、つまり凹凸の微細な状況が両者で異なっていることがわかった。このような表面が板の2次加工性、すなわち、リン酸塩処理性⁶⁾、プレス加工性、および塗装性⁷⁾に及ぼす影響については今後の調査を待たねばならない。



(a) Rolled by thermal spraying roll



(b) Rolled by chromium plating roll

50 µm

Fig.4 SEI of rolled sheet surface

3.2 摩耗実験結果

摩耗試験結果をFig.5に示す。試験片の転動数とともに表面粗さが低下する速度はメッキに比して、溶射は数分の1と小さい、すなわち、耐摩耗性がかなり優れていることがわかる。

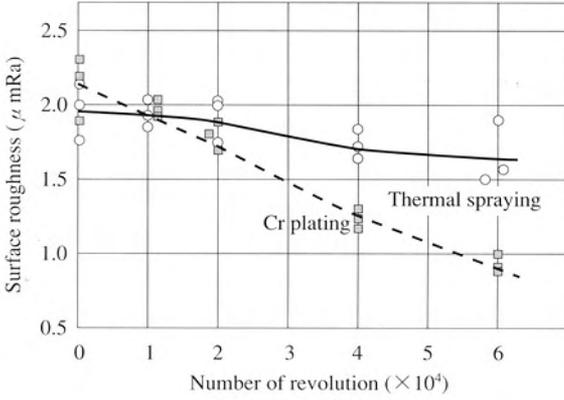


Fig.5 Decrease of surface roughness

硬質クロムメッキを冷延ロールに適用すると、表面粗さの低下速度がメッキなしの通常の鍛鋼に比べて7分の1以下になるといわれているが⁸⁾、これを溶射にすればさらにその数分の1以下になることがこの結果から予測される。

この溶射皮膜の粗さ保持性は、その形成が粉末の集積によるからではないか、つまり、粉末粒子が欠け落ちることによるのではないかとこの憶測を確かめるために、試験片の摩耗表面を観察した。すると、Fig.6のように欠け落ちの跡はなく、メッキと同様に接触面凸部から順次平滑になり、かつ、すべり方向にひっかき痕が見られることから、溶射皮膜の摩耗もメッキと同じアブレーションであると推測される。

3.3 皮膜形成過程の考察

上述のような優れた特性を有する皮膜はどのように形成されるのかを考察するために、個々の溶射粒子の基材表面への衝突状態を観察した。基材をSS400として1パスのみ溶射後の表面をFig.7に、また断面をFig.8に示す。これらから、この粒子は従来の溶射のようなスプラット形成⁹⁾はほとんど見られないこと、すなわち粒子の融解はなく、固体

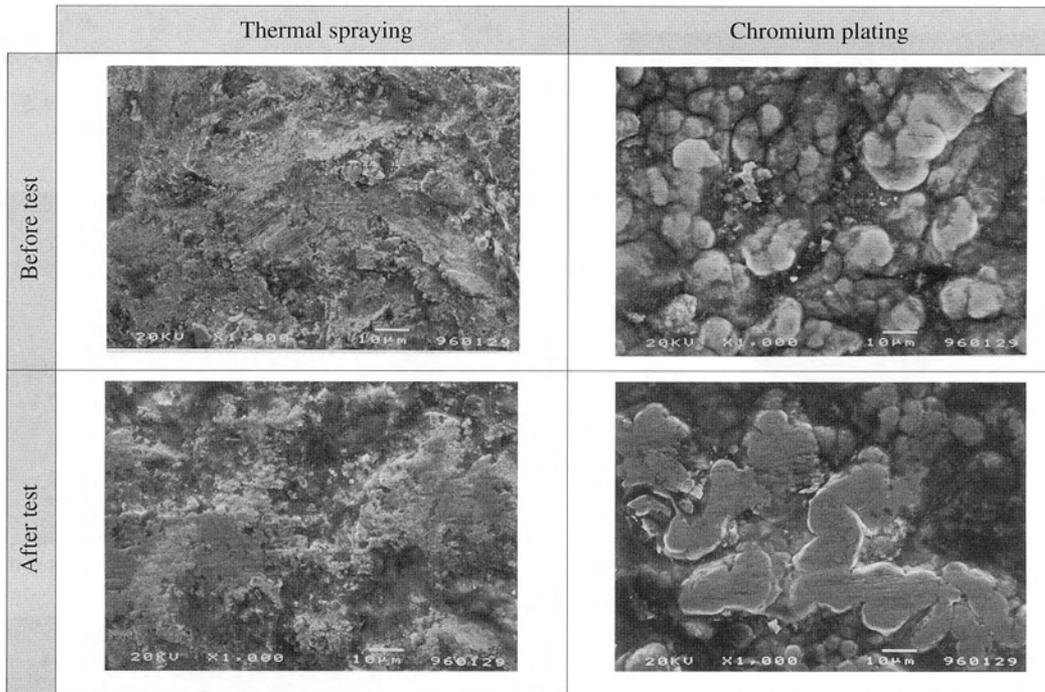


Fig.6 Surface of test disk before and after wear test

10 μm

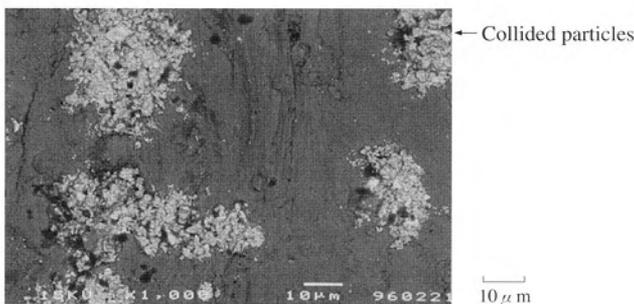


Fig.7 Thermal spraying particles after colliding with substrate (Top view)

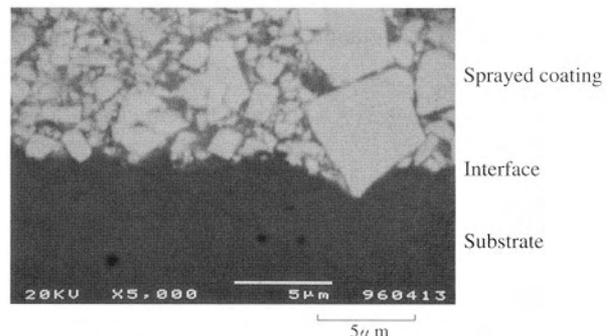


Fig.8 Cross section of collided particles

5 μm

のままで基材に打ち込まれていて、断面からは特に、1ないし5 μ mの大きさの白く角張って見えるWC粒子が基材に最大数 μ m程度食い込んでいることがわかる。このような界面構造は従来の溶射膜には見られないことから、これが高い密着性の原因の一つになっているものと推測される。

また、膜の組織は従来溶射膜の層状ではなく、焼結超硬に類似の緻密な構造をしている。これらは粒子の温度と速度を最適に制御することによって得られるものである。

4 結言

溶射皮膜の密着性の新しい評価法¹⁾を活用して革新的な超硬(WC)系溶射を開発した。これを初めて圧延ロールに適用し、調質圧延実験と摩耗実験を行って次の結果を得た。

(1) 実験室圧延において皮膜剥離は発生しないことから、皮膜の密着性は硬質クロムメッキとほぼ同等であり、調質圧延ロールにも適用が可能であると推測される。

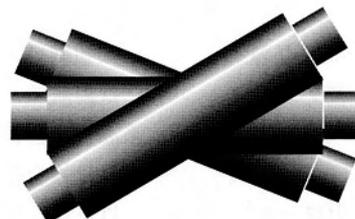
(2) この耐摩耗性をころがりすべり摩擦における表面粗さの低下速度で評価すると、クロムメッキの数倍程度優れている。

(3) このような革新的皮膜は、溶射粉末の温度と速度の最適制御により得られる。

今後は、この実験室で得られた結果を実機で確認するとともに、実用上の問題点把握と改善を図る。かつ、対象を圧延ロールのみならず、これまで皮膜剥離のために溶射が適用できなかった製鉄プロセスロールまで拡げて、ロールの耐久性向上に伴う省力化とコスト節減に貢献していく。

参考文献

- 1) 加藤 治, 尾崎健一, 洲崎真二, 吉村武憲: フジコー技報, No.3(1995), p.5
- 2) 加藤 治, 尾崎健一: 材料とプロセス, 9(1996), No.2, p.362
- 3) 鉄鋼製造法, 日本鉄鋼協会編, 丸善, (1972), p.703
- 4) 山下道雄: 塑性と加工, 36(1995)-417, p.1116
- 5) 加藤 治: フジコー技報, No.2(1994), p.51
- 6) 例えば, 梅原誠一郎, 盛谷喜夫, 松島安信: 鉄と鋼, 68(1982), p.720
- 7) 例えば, 角山浩三, 今中 誠, 古川九州男, 岸田 朗, 山田恭裕: *ibid.*, 75(1989), p.2090
- 8) 出石智也: 塑性と加工, 32(1991)-363, p.458
- 9) 谷 和美, 原田良夫, 李 長久: 日本金属学会誌, 59(1995), p.1130



連続注入クラッド法による熱延仕上げ前段ワークロールの製造と使用結果

Production and Application Results of Front Stands Rolls for Hot Strip Finishing Mill 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

技術開発部長
山本 圭太郎
Keitaro Yamamoto

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、高クロム鋳鉄、高合金グレン鋳鉄などの特殊鋳鉄が適用されてきた。近年、製品品質の高級化、熱延ラインの高効率化によって、ロールに対する負荷は増加し、高いレベルの特性が要求されている。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、優れた耐用を有するロールの製造技術を確認した。熱延仕上げ前段ワークロールには、特に耐肌荒れ性が要求されるため新たに材質設定を行い、無研削で最大10回使用可能の良好な結果が得られた。また、耐摩耗性についても、従来ロール（高クロム鋳鉄材）に比して、3倍以上の耐久性を有することが確認された。

Synopsis:

A special cast iron such as a high chromium cast iron, a high alloy grain cast iron, etc., has conventionally been applied for work rolls in hot strip mills. Recently accompanied with a higher quality of products and a higher efficiency of hot strip mill lines, loads to these rolls have been increased and a higher level of characteristics has been required. For these requests, together with selecting tool steel series materials containing many kind of alloying elements as work roll materials by applying the Continuous Pouring process for Cladding (hereinafter referred to as C.P.C method) as a manufacturing method, a manufacturing technology for the work rolls with an excellent useful life longevity has been established. Rough surface resistance of work rolls is specially required by the front stands of hot strip finishing mill, so the selection of material was newly carried out for a work roll. The work roll can roll 10 times without grinding and excellent application results are obtained. Also it was confirmed that its durability is three times or more greater than that of the conventional roll (high chromium cast iron) in wear resistance.

1 緒言

当社が創出したC.P.C法¹⁾は複合ロール、ローラの製造法として国内外に広く知られるに及んでいる。

C.P.C法による主要な製品のひとつである熱延ラインにおけるワークロール、搬送ローラはストリップの製品品質および、生産性の両面に影響を与えることから、高いレベルの特性が要求される。当社は本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おり、ワークロールとしては熱延仕上げ後段ロール¹⁾、冷延リパースミル用ロール²⁾、

棒鋼ロール³⁾等の開発、適用を推進してきた経緯がある。このたびは熱延仕上げ前段ワークロールの耐摩耗性、耐肌荒れ性および、耐事故性などを高いレベルに向上させることを目的に、内外層の材質の組み合わせにおいて、内層材には強靱性と軸部の耐摩耗性の面から強靱鋼とし、外層材には耐肌荒れ性と耐摩耗性などの表面性状の面から、多元系高合金白鋳鉄の一種である高炭素ハイス材とした。製造法には複合構造ロールの製造法であるC.P.C法を適用した。以下に、製造および、使用結果について報告する。

2 ロール仕様

ロール仕様をTable 1に示す。

Table 1 Specification of roll

Mill type	4 high hot strip mill
Outer diameter	φ 776 mm
Diameter of core material	φ 690 mm
Thickness of cladding layer	> 43mm
Length of barrel	1,780mm
Total length	4,020mm

3 製造法

3.1 製造工程

C.P.C法によって高炭素ハイス材を肉盛する圧延ロールの製造法は確立されており、本報の熱延仕上げ前段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¹⁾を採用した。当ロールのサイズは従来ロールに比べ最大級であり、各工程における品質管理には十分な注意が必要であった。

3.2 肉盛材の化学組成および硬さ

肉盛金属の溶湯は中周波誘導溶解炉で溶製し、所定の組成に調整確認後、C.P.Cに供した。

肉盛材は熱延ワークロールとしての必要な特性を確保するためにCoを添加し、基地組織の緻密化を狙った当社の材質記号であるFKC704材とした。FKC704材（高炭素ハイス）は凝固時に、炭化物であるMC、M₂Cが晶出し、これらの量、分布、形態によって材質特性が決定されることから、熱延ワークロールの必要特性を高度に引き出すためには、基地の制御だけでなく、炭化物の制御が極めて重要である。今回、熱延仕上げ前段ワークロールの材質を設定するに当たり、後段ワークロールおよび前段ワークロールの圧延後のロール表面の組織からヒートクラックと肌荒れの関係を考察し、成分系を決定した。

Table 2に当ロール材に用いたFKC704材の化学組成および硬さを示す。

Table 2 Chemical composition and hardness of FKC704

Chemical composition (wt.%)						Hardness (HsD)
C	Cr	Mo	V	W	Co	
1.5~2.0	3.5~7.0	4.5~8.0	4.5~8.0	3.5~7.0	1.0~4.5	80~85

また内層材（母材）には先述したように、軸部の強度と耐摩耗性を確保できる強靱鋼を適用した。

3.3 C.P.C

C.P.C条件は肉盛材の化学組成と同等にロールの特性を決定する大きな要因である。欠陥を発生させることなく良好なロール素材を製造するには、次のような因子が挙げられる。

- (1) 母材の適度な溶け込みによる肉盛材と母材との完全溶着
- (2) 母材の溶け込みのバラツキの最小化による化学組成

の均一化

(3) 投入熱量およびモールド部における抜熱の適正化による凝固組織の微細化、均一化

(4) 凝固シェルの強度、シェル厚の適正化による铸肌の健全化

C.P.C条件の中で溶着、凝固組織、铸肌に影響を及ぼす因子として次のようなことが重要である。

- (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の材質
- (3) 引き抜き速度

これらの因子を調整することによって、上記4項目の適正化を図った。

Table 3にC.P.C条件を示す。

Table 3 C.P.C condition

Diameter of mold	φ 830mm
Diameter of core material	φ 690mm
Coating material	B ₂ O ₃ -SiO ₂ -R ₂ O glass powder
Power of pre-heating coil	150~300kW
Power of heating coil	500~700kW
Pulling down velocity	8~11 mm / min

3.4 熱処理

C.P.C後铸造応力の緩和および、軟化のための焼鈍と合わせて以下の焼準、焼き戻しを実施した。

肉盛材に含まれるC、Cr、Mo、V、W、Coの多元系高合金組成中における各元素の特性によって、基地の微細化および安定化を図ること、析出炭化物、残留応力の制御を目的とした焼準および2回以上の焼き戻し処理である。その結果、硬さHsD82~85、残留応力<30kgf/mm²（圧縮）のロール素材を製造することができた。

ミクロ組織中の炭化物はM₆C（M₂Cから熱処理によって変化）、MCであり均一に分布し、C.P.C法特有の微細なグレナサイズであることが窺える。ミクロ組織をFig.1に示す。

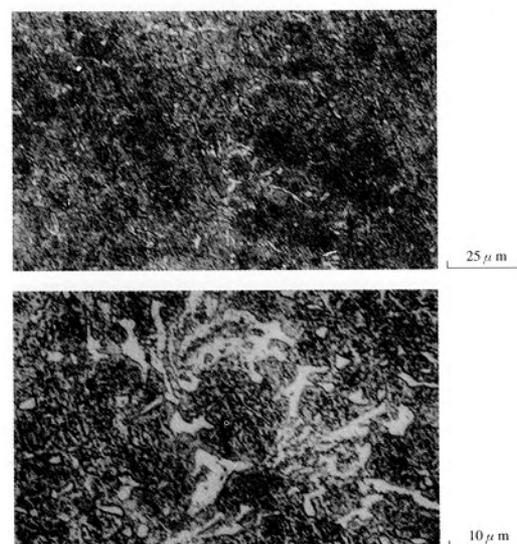
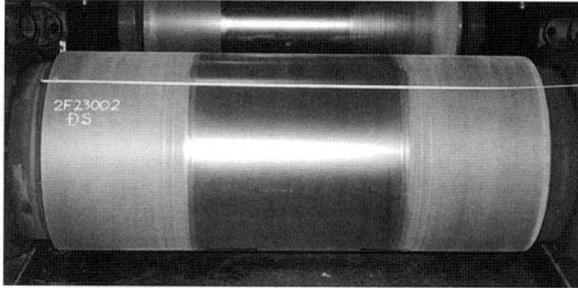


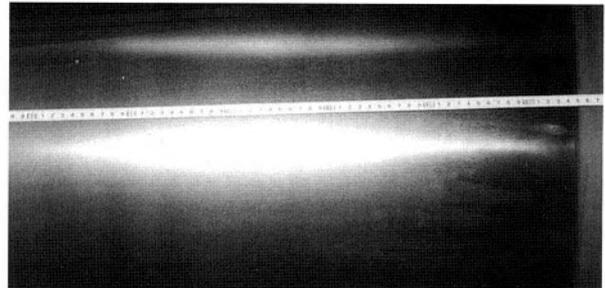
Fig.1 Microstructure

4 実機使用結果

熱延仕上げ前段ワークロールをF1～3スタンドで圧延使用し、ロールの耐久性を従来ロールと比較した。特に、熱延仕上げ前段ワークロールに要求される、耐肌荒れ性について、詳細に調査を行った。当ロールは、圧延後のロール表面状況が良好の場合、無研削で連続5～10回使用されており、順調に推移している。



View of the work roll

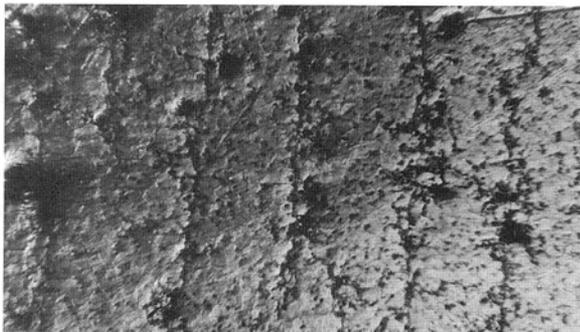


Half of the barrel

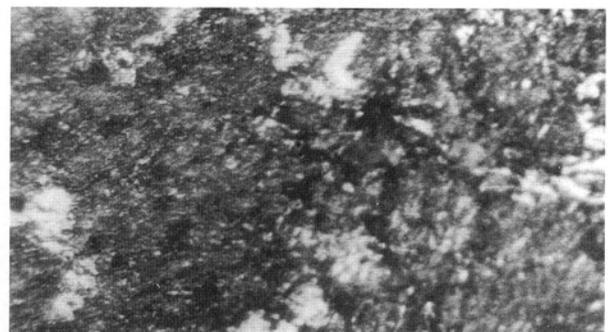
Fig.2 Roll surface of F3 roll after rolling 5times without dressing (5069 ton)



Fig.3 Roughness of roll surface after rolling (F3, 5069 ton) (Ra = 2.9 μ m, Rmax = 24.6 μ m)



(a) No etching 200 μ m



(b) Etching 25 μ m

Fig.4 Microstructure of surface of F3 roll after using 5times without dressing

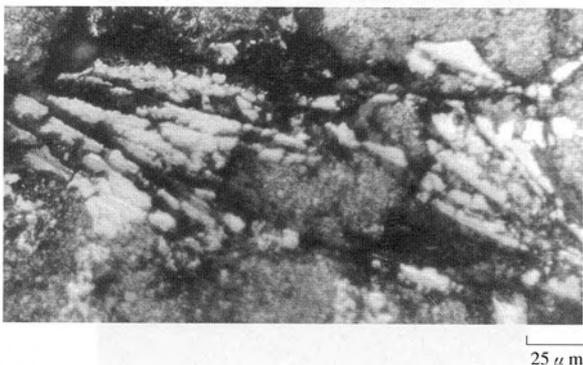


Fig.5 Appearance of carbide drop in a work roll¹⁾ (high carbon) for rear stands of hot strip finishing mill.

4.1 肌荒れ

5回連続圧延後のロール表面状況 (F3スタンド) をFig.2に示す。板幅全体にほぼ均一な黒皮皮膜が生成し、肌荒れは発生していない。また、表面粗さを測定した結果、Fig.3が得られた。後段ワークロール¹⁾に比べて、Rmaxが若干高目になっているが、著しい波形の凹凸はなく、無研削で多数回使用に十分耐え得ることを確認できた。

なお、熱延仕上げ前段ワークロールで、最も重要視される耐肌荒れ性を、さらに詳細に確認するために、Fig.2のロールの圧延後のロール表面のマイクロ組織を調査した。Fig.4にその結果を示す。腐食なしの組織写真Fig.4の(a)では、軸方向の等間隔のヒートクラックが発生している状況が認められるが、同(b)に示すように、ヒートクラックの周囲に欠け落ち部はなく、それが、マクロ的に良好な肌荒れ状態が得られた最大の要因と考えられる。本ロールの材質選定の際調査した、後段ワークロールにおいては、Fig.5に示すように、炭化物の近辺にヒートクラックが発生した場合、マッシブな共晶炭化物が脱落する部分を観察した。熱負荷がさらに増大する、前段ワ

ークロールでは、同一成分系にした場合は、この共晶炭化物の欠落がさらに増大する事が予想されたため、C量、V量および、Mo、W量のバランスを図ってマッシブな共晶炭化物を生成しにくくした成分系を決定した。本ロールにおいては、ロール表面全体にわたって、大きな共晶炭化物の欠落発生は認められず、所期の耐肌荒れ性を確保することができた。

4.2 摩耗

本ロールおよび従来ロール（高クロム鋳鉄ロール）の圧延使用結果をTable 4に示す。ここでは、スタンド毎に従

(1) 仕上げ前段ワークロールは、これまで製造した中での、最大径ロールであるが、C.P.C法による製造技術を確立できた。

(2) 肉盛金属は、耐肌荒れ性を最重点とした高炭素ハイス鋼を選定し、芯材には強靱鋼を適用した。

(3) 実機使用の結果、仕上げ前段ワークロールとして最も要求される耐肌荒れ性について、良好な結果を確認した。その要因として、マッシブな共晶炭化物の生成を抑止した成分系を選定しヒートクラックの近傍の欠落を防止できたことによると推定される。

Table 4 Rolling result of C.P.C work roll

Stand	Roll material	Rolling times	Rolling tonnage (ton)	Depth of wear (mm / time)	Depth of machining and grinding (mm / time)	Durability (ton / mm)	Durability ratio to conventional
F3	High carbon high speed steel roll	81	85,042	0.0112	0.0496	17,267	3.1
	High chromium cast iron roll	52	52,504	0.0345	0.1473	5,553	1.0
F1	High carbon high speed steel roll	480	542,004	0.0043	0.0533	19,610	3.0
	High chromium cast iron roll	164	178,114	0.0217	0.1432	6,587	1.0
F2	High carbon high speed steel roll	105	118,335	0.0100	0.0407	22,243	2.9
	High chromium cast iron roll	42	46,427	0.0157	0.1277	7,706	1.0

来ロールと比較した。この結果、F3→1→2のいずれのスタンドでも、従来ロールに比較し、約3倍の耐久性を示した。なお、従来ロールは1回、約1000～1100トンの圧延で必ず研削していたが、本ロールでは、連続5～10回、無研削使用が可能になった。

5 結論

C.P.C法による、ホットストリップミル用ハイスロールの開発に関し、今回、仕上げ前段(F1～3)ワークロールの製造と実機適用を行った。その結果は以下の通りである。

(4) 当ロールの耐久性は、5～10回の無研削連続使用が達成できたことと、耐摩耗性の向上とから、従来の高クロム鋳鉄ロールの約3倍を達成した。

参考文献

- 1) 坂本眞一, 玉川 進, 斉藤弘道, 津田篤信, 山本厚生: フジコー技報, No.3(1995), p.10
- 2) 坂本眞一, 斉藤弘道, 津田篤信: フジコー技報, No.3(1995), p.15
- 3) 坂本眞一, 斉藤弘道, : フジコー技報, No.4(1996), p.24

連続注入クラッド法による棒鋼ミル用複合スリーブロールの開発

Development of Composite Sleeve Roll for Bar Mill 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

要旨

当社開発の連続注入クラッド法 (C.P.C) によるハイス複合スリーブロールを開発し、異形棒鋼圧延ロールに適用した。クロムモリブデン鋼の母材に、高炭素ハイス鋼を肉盛した硬さHs 80~90の複合スリーブを、廃却ロールから加工したアーバに、焼嵌め率0.6~1.0/1000で嵌合し、複合スリーブロールを製造した。このロールを異形棒鋼ミルの中間~仕上前スタンドに使用した結果、従来ロールの3倍以上の耐久性を確保できた。特に、スリット方式ミルの"サクラ"および"ピーナツ"カリバーにおいて、スリット位置決め突起部およびスリット部の耐久性が著しく向上した。

Synopsis:

A composite sleeve roll with a high speed steel outer layer has been using the continuous pouring process for cladding (C.P.C) developed by our company, and the roll has succeeded in rolling deformed bars. The composite sleeve was clad in a high carbon high speed steel (HsD 80~90) on a Cr - Mo steel (core), and the composite sleeve roll was manufactured by fitting the composite sleeve to an arbor machined out of a disposal roll with a shrinkage fitting ratio of 0.6 - 1.0/1000. The durability of the roll, obtained from intermediate and pre-finishing stands of deformed bar mills, is more than 3times as compared with the conventional roll. Especially to the calibers which are similar to "Sakura (cherry blossom)" and "Peanuts" in shape in slit system mills, the durability at the protruding portion of slit positioning and the slit portion was markedly improved.

1 緒言

当社の創出によるクラッドプロセス、連続注入クラッド法 (以下C.P.C法と略す) が熱延¹⁾²⁾ および冷延帯鋼³⁾、棒鋼・線材、形鋼⁴⁾、鋼管等の圧延ロールに適用され、非常に良好な結果をおさめている。

本プロセスによれば、ロール内部 (芯材) を強靱鋼とすることによって、外層に高炭素多元系合金 (高炭素ハイス鋼) をクラッドした場合でも、折損、割損などの事故を防止することができる。

これらのC.P.Cハイスロールは、従来、母材 (芯材) を中実強靱鋼材 (SCM440など) とし、その胴部に高炭素ハイス鋼をクラッドした、中実複合ロールとして製造してきた。しかし、当社は

このたび、芯材が強靱鋼であるというC.P.Cプロセスのもっている特長を最大限に生かす目的で、C.P.Cによる複合スリーブを製造し、アーバに嵌合するスリーブロールを開発し棒鋼ミルに適用した。これは、複合スリーブにおいて、①肉盛層 (ハイス層) は改削量とカリバー深さを確保する必要があり、肉盛層と内層 (強靱鋼) の境界はかなり内部になること。②一方、スリーブ内径は必然的にロールの軸径より大きくなければならないことから、複合スリーブの内層厚さが小さくなってくが、この内層材質が強靱鋼であれば、製造中ならびに使用中に割損などの発生を防止できることに着目したものである。

複合スリーブロールは、生産性および歩留向上による、製造コスト低減も大きなねらいである。スリーブにおいては、

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であり、最終的に、ロール価格を大幅に低減することができる。また、廃却ロールをアーバとして転活用でき、かつ、繰り返し使用できることも、ロール価格低減に寄与する。

棒鋼ミル用複合スリーブロールは、現在、順調に使用されており、以下に、製作仕様（材質、形状の設定検討）、製造法、および使用結果を報告する。

2 製作仕様

2.1 ロール材質

C.P.Cによる肉盛層の材質は、複合スリーブロールにおいても、一体複合ロールと全く同一の高炭素ハイス鋼とすることが可能である。これによって、スリーブロールにおいても、従来のC.P.Cロールと全く同一の耐用を確保できる。Table 1にロール材の成分組成および硬さを示す。肉盛材質とその成分値、硬さは、適用スタンドに要求される耐摩耗性、耐肌荒れ性を考慮して決定する。

Table 1 Roll material and hardness

	Material	Chemical composition (wt %)						Hardness Hs
		C	Cr	Mo	V	W	Co	
Shell	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	
Core	SCM440	0.38~0.43	0.90~1.20	0.15~0.30	—	—	—	40~45
Arbor (Discard roll)	—	Nickel-grain cast iron or ductile cast iron						
Arbor (New)	SCM440	0.38~0.43	0.90~1.20	0.15~0.30	—	—	—	40~45

2.2 ロール構造

複合スリーブロールは、C.P.Cプロセスで製造した全胴長一体スリーブ（分割なし）を焼嵌めで嵌合する方式から着手した。アーバは、①廃却ロールの胴部を旋盤加工する場合と、②新作する場合を選択できる。①の場合は、廃却ロールの軸部形状および表面損傷を測定検査し、再使用可否を判定する。②の新作アーバは以後、最低3回は繰り返し使用可能と考えており、十分調質した材料を使用する。Fig.1にロール構造を示す。

2.3 ロール寸法

(1) 肉盛層厚さ

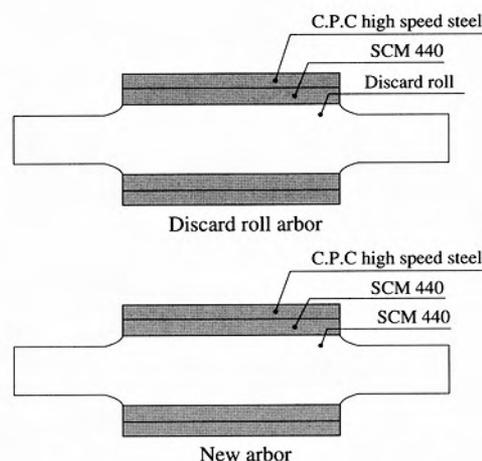


Fig.1 Shapes of composite sleeve roll

肉盛層厚さは、

$$[\text{新製胴径} - \text{廃却径}] / 2 + \text{孔型深さ} + \text{廃却時残存肉厚} \quad (\text{原則 } 10\text{mm})$$

で決定する。通常、肉盛層厚さは、30~40mmである。

(2) アーバ径（スリーブ内径）

アーバ径は、ロールの軸部径を考慮し、上述（1）による境界径との関係で、強度上優れているスリーブ内層の厚さが十分確保できるように決定する。アーバ径は大で、スリーブ内層厚さも大きいことが理想であるが、実ロールでは、アーバ径は、軸部径によってほとんど決定されてしまうことが多く、要求される境界径によっては、スリーブ化が不可能な場合も少なくない。

(3) 焼嵌め代

焼嵌め代は、ロールに加わる圧延荷重の最大値、圧延中のスリーブとアーバの温度差等から決定する。通常0.6~1.0/1000の範囲である。

3 複合スリーブロールの製造

複合スリーブの製造においてC.P.C素材製造は従来の一体複合ロールとほぼ同一である^{1) 4)}。ただ、母材（SCM440）は、製品スリーブの内径によって、厚肉鋼管か、丸鋼のBTA加工材かを選定するが、母材がスリーブ材であることは、中実母材と異なり、C.P.C時の溶着、溶込深さの調整や、熱処理時の焼準処理などで、適正条件範囲が拡大する利点がある。

Fig.2に、一例として、廃却ロールをアーバとした場合の製造工程を示す。

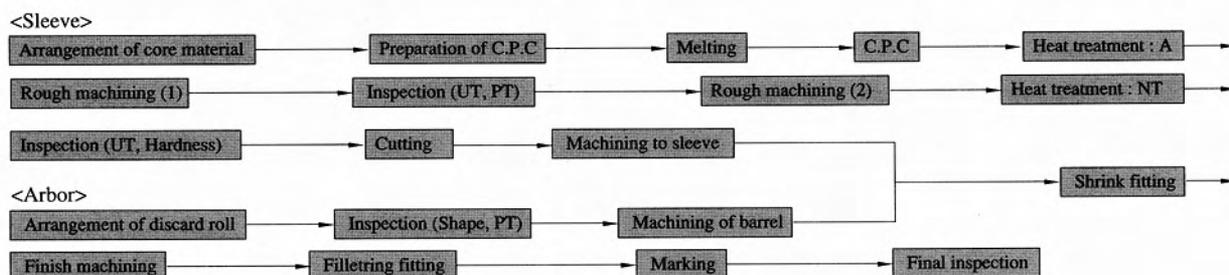


Fig.2 Production process of C.P.C composite sleeve roll

4 複合スリーブロールの実機使用とその結果

4.1 適用ミル

複合スリーブロールは、現在、主に異形棒鋼圧延用ミルの中間～仕上前スタンドに適用している。その要因は、

- (1) 全体的な耐摩耗、耐肌荒れ性向上のニーズのほかに、孔型形状によっては、高度の耐摩耗性を要求されるスタンドがあり、ハイス材の適用でメリットが生ずること
- (2) ロール胴径と軸部径の径差が大きいことスリーブ肉厚が大きくとれる形状のロールが多いこと
- (3) 圧延荷重が100トン以下で、スリーブ焼嵌め方式が適していること
- (4) ロール価格の低減に対する強いニーズがあることなどによる。

異形棒鋼圧延用ミルには、連続式(2本通し以上)とスリット方式(スリットにより分割)がある。スリット方式のミルは、中間スタンドまで、1本通しで圧延し、仕上スタンドの直前でスリットロールにより2分割し、2本通しで仕上圧延を行う方式であり、設備投資額が小で、かつ生産性を確保できるミル形式と評価されている。Fig.3にスリット方式による異形棒鋼圧延のカリバー形状を示す。(ここで、スタンドNo.は、ミルによって異なるため、便宜上、仕上ミル(F)を基準に遡って-1、-2…と付した。)

この中で、特に問題となるのは、通称"サクラ"と呼ばれるスタンド(Fig.3のF-4)と、同じく"ピーナツ"と呼ばれるスタンド(Fig.3のF-3)である。前者では、Fig.4のA部の突起が圧延材に凹みを作り、次のスタンドで2分割する位置を決めている。この部分が摩耗すると、分割の位置ずれが生じ、スリット以降の製品重量に差が出ることから、耐摩耗性が特に重要となる。

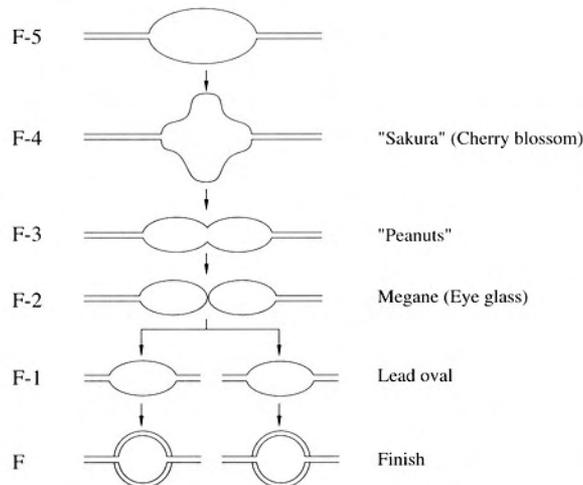


Fig.3 Caliber of deformed-bar rolling mill (Slit type mill)

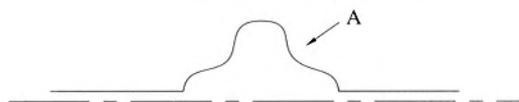


Fig.4 Important point of caliber "Sakura"

一方、後者では、スリット部の摩耗、欠けがスリット機能そのものに影響するため、耐摩耗、耐欠損性が要求される。

C.P.C複合スリーブロールは、仕上スタンドを除く、Fig.3のすべてのスタンドに使用されている。仕上スタンドは、現在、ほとんどのミルで、従来のニッケルグレン、チルドロールから超硬ロールに切替えられている。

4.2 使用結果

C.P.Cハイス複合スリーブロールは、各スタンドで従来ロール(ニッケルグレン鋳鉄ロールおよびダクタイル鋳鉄ロール)の3倍以上の耐久性をおさめている。以下、カリバー"サクラ"と"ピーナツ"の結果の一例を示す。

ロール形状をFig.5に示す。

(1) カリバー"サクラ"

従来のニッケルグレンロールの3倍(3直圧延)を圧延

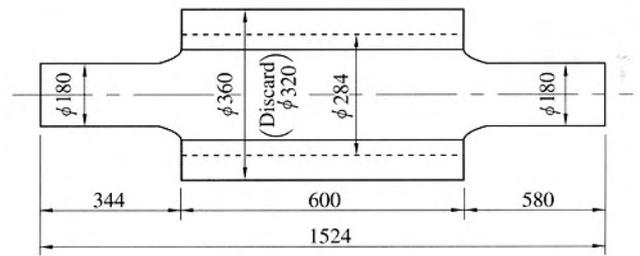


Fig.5 Shape of roll

した時点での、カリバー"サクラ"の摩耗プロファイルを、圧延前と比較してFig.6に示す(製品D16)。カリバー底部が若干摩耗しているが、Fig.4のA部の凹み部が明瞭に残存しており、C.P.Cハイスロールの優位性を示した。従来ロールでは、この1/3(1直圧延)で凹部が消失している。

なお、別のカリバーにおける、圧延途中のカリバー形状変化を測定した結果をFig.7に示す。

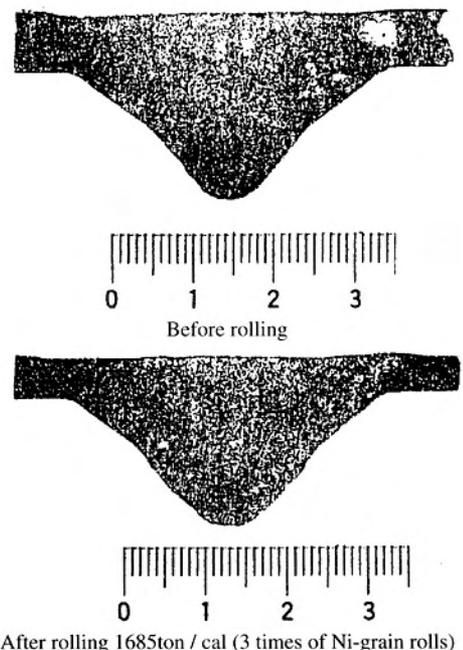


Fig.6 Caliber profile before and after rolling at Caliber "Sakura" (D16)

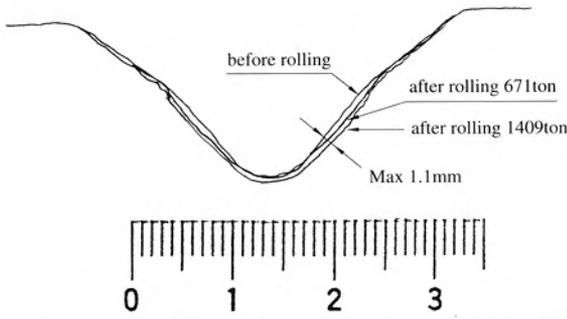
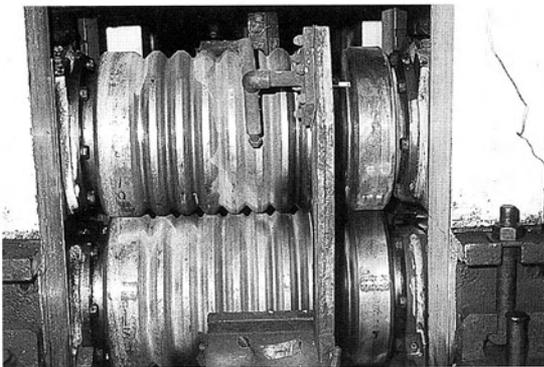
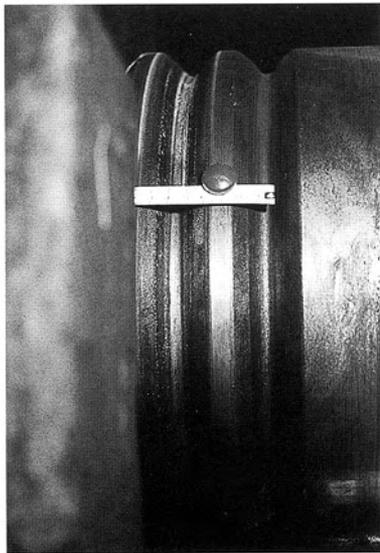


Fig.7 Change of profile by rolling at caliber "Sakura"

また、圧延後のロール肌荒れ状況をFig.8に示す。肌荒れ発生はなく、ヒートクラック、焼付き、スジ疵ともに発生しておらず、非常に良好であると評価されている。



View of roll



Surface view of caliber

Fig.8 Roll surface of caliber "Sakura"

最後に、このカリバーは、全カリバーの中で最も深さが大で、かつカリバー底がノッチになることから、カリバー底の割れ、割損が生じる場合があった。特に、ハイス系の単体スリーブを使用した例では、高強度であっても、低靱性のため、カリバー底から分割割損する事故が発生している。これに対し、C.P.Cによる複合スリーブロールは前述の事故は皆無である。C.P.C素材の母材SCMが、安全性を格段に高めていると考えているが、どの程度の厚さがあ

れば十分かなど、その理論的解析は今後の課題である。

(2) カリバー "ピーナツ"

スリットカリバーである、カリバー "ピーナツ" の圧延前、後の摩耗プロファイル比較をFig.9に示す(製品D16、上記Fig.7の圧延と同時に使用したロールである)。スリット部の摩耗量は少なく、カリバー全体がほぼ均一に摩耗していることを示している。

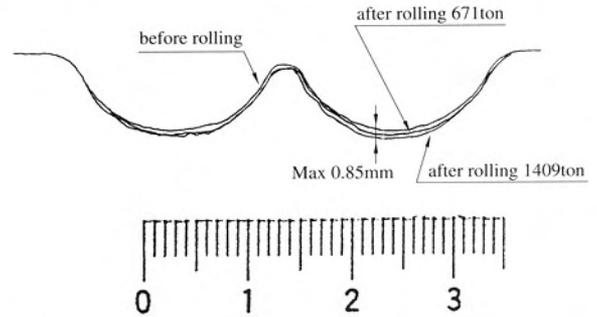
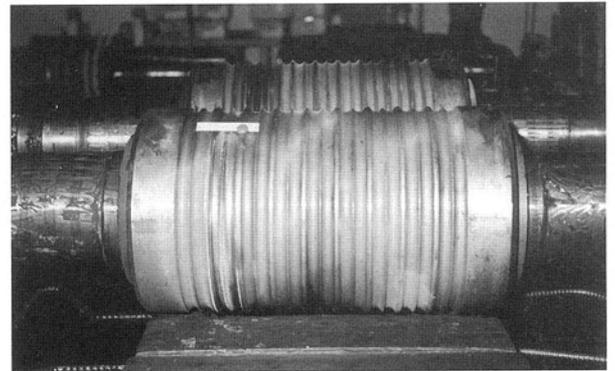
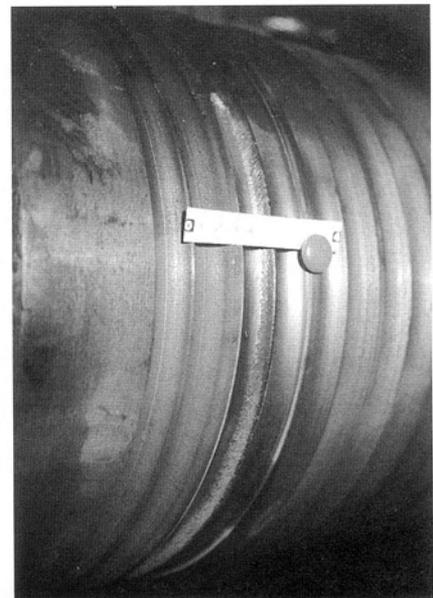


Fig.9 Change of profile by rolling at caliber "Peanuts" (D16)

また、圧延後のロール外観をFig.10に示す。前述のカリバーと同様、圧延後のロール肌は良好であり、スリット部の欠け落ち、ヒートクラック、焼付き、スジ疵などは発生していない。



View of roll



Surface view of caliber

Fig.10 Roll surface of caliber "Peanuts"

以上、特にカリバー"サクラ"と"ピーナツ"について、使用結果を報告したが、これらはいずれも某ミルにおける使用結果であり、このミルでは他社のハイス系ロールも使用されている。C.P.Cハイスロールは、これら、他社製ハイスロールと比較しても、良好な結果をおさめている。

5 結論

芯材が強靱鋼であるという、C.P.Cプロセスの特長を生かして、異形棒鋼圧延用複合スリーブロールを開発、使用した。その結果は以下の通りである。

(1) C.P.Cプロセスによって、肉盛層が高炭素ハイス鋼(FKC701、704)内層がクロムモリブデン鋼(SCM440)の複合スリーブを製造し、アーバに焼嵌め嵌合したロールを製作した。硬さはHs 80~90、焼嵌め率は0.6~1.0/1000である。

(2) この複合スリーブロールを、異形棒鋼圧延ミルの中間~仕上前スタンドで使用し、各スタンド共、従来のニッケルグレン、ダクティル鑄鉄ロールの3倍以上の耐久性を

確認した。

(3) 特に、スリット圧延方式のミルにおける、"サクラ"と"ピーナツ"の各カリバーにおいて、C.P.C複合スリーブロールは極めて良好な結果をおさめた。即ち ① "サクラ"においては、圧延素材の二分割スリット位置を決めるロール突起部の摩耗が小さいため、圧延材の形状、重量のバラツキを防止できること ② "ピーナツ"においては、スリット部の摩耗が少なく、欠け落ちもないため、本来のスリット機能が大幅に改善されること、が確認できた。

参考文献

- 1) 坂本眞一, 玉川 進, 斉藤弘道, 津田篤信, 山本厚生: フジコー技報No.3(1995), p.10
- 2) 坂本眞一, 斉藤弘道, 山本圭太郎, 山本厚生: フジコー技報No.4(1996), p.20
- 3) 坂本眞一, 斉藤弘道, 津田篤信: フジコー技報No.3(1995), p.15
- 4) 坂本眞一, 斉藤弘道: フジコー技報No.1(1993), p.16



技術論文

圧延ラインにおけるロールの温度および応力の理論解析

Theoretical Analyses of Temperatures and Stresses on Rolls in Strip Mill Lines



CPC技術開発室

李 平

Ping Li

CPC技術開発室

坂本 真一

Shin-ichi Sakamoto

調整管理室

新田 信昭

Nobuaki Nitta

富山大学工学部 教授

五嶋 孝仁

Takahito Goshima

要 旨

圧延ラインにおける複合ロールに関し、ラプラス変換および有限フーリエ余弦変換によって、熱的負荷（接触伝熱、摩擦熱）および機械的負荷を受けているロールの温度、応力の理論解析を行った。得られた温度解および応力解を用いて、圧延ラインに加熱—冷却の繰り返しを受けている焼きばめ構造のロールを例にとり、稼働中のロールに生ずる温度および応力を数値計算し、ロール温度、応力の分布およびその推移を数値的に明らかにした。

Synopsis:

Theoretical analyses of temperatures and stresses on composite rolls subjected to thermal loads (contact heat transfer and frictional heat) and mechanical loads in strip mill lines were carried out by means of the Laplace transformation and the finite Fourier cosine transformation. Using solutions of temperatures and stresses obtained from the theoretical analyses, and taking a shrinkage fit roll subjected to the repetition of heating and cooling in a strip mill line as an example, numerical calculations of temperatures and stresses generated in the roll under the work were carried out, furthermore, the distributions and transitions of temperatures and stresses were made clear numerically.

1 緒言

圧延ラインにおいて用いられるロールは熱的負荷および機械的負荷を受ける。ロールは加熱-冷却の繰り返しを受けるために、ロール表面近傍の温度、応力は変化し、ヒートクラックや表層剥離などによる肌荒れが発生しやすく、また、異常な熱応力による破損例もあることから、圧延ラインにおけるロールの温度および応力解析は古くから重要な課題となっている。特に実用のロールでは、二層複合材料のロールが多く、ロールを均一円柱として取り扱えない場合が多い。このため、小泉ら¹⁾は圧延用チルドロールに関して表面温度が与えられた同心二層円柱の熱応力を解析し、また野田ら²⁾は帯状熱源による複合円柱の熱応力を解析した。しかし、実際の圧延ラインではロールは回転しており、ロール表面は回転移動加熱されていると考えねばならない。著者らの一人は、ロールのこのような状況に

対応できるモデルを用いて、回転移動加熱による複合円柱の非定常熱応力を解析し³⁾、さらにこの回転移動熱源による熱応力拡大係数を解析した⁴⁾。本研究では、この解析方法を用いて、圧延ラインに用いられる同心二層複合ロールに関し、ステップ状に変化する移動熱源は一定角速度で回転するとして、ラプラス変換および有限フーリエ余弦変換によって、熱的負荷（接触伝熱、摩擦熱）および機械的負荷を受けている稼働中のロールの温度、応力の理論解析を試みた。なお解析にあたっては材料の熱的物性値および弾性係数は温度によらず一定であると仮定した。

2 解析モデルと円柱座標系

2.1 解析モデル

Fig.1に示すように、熱的負荷（接触伝熱、摩擦熱）および機械的負荷を受けている解析モデルを考える。ロール表面

はコイルと接触するところで、コイルからの伝熱、コイルとロールとの摩擦による発熱のために加熱され、その後、コイルから離れると水冷または空冷される。このような加熱—冷却の繰り返しを一つのコイルが通過するまで繰り返す。ロールの入熱はステップ状に変化するパターンを考える。

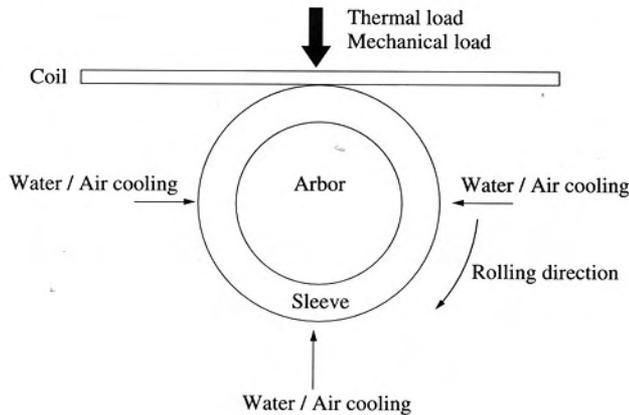


Fig.1 Analysis model

2.2 円柱座標系

Fig.1の問題を解析するために、円柱座標系 (r, θ, z) および熱源とともに回転している円柱座標系 (r', ψ, z) をFig.2に示すように設定し、さらに以下の解析においては次式に示す無次元変数や無次元量を採用する。

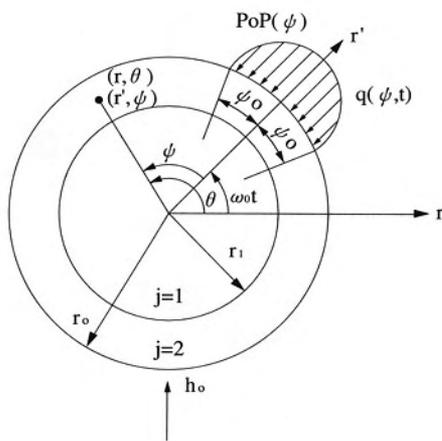


Fig.2 Cylinder coordinate system

$\rho = r/r_0$	$\rho_1 = r_1/r_0$	$a = a_0/r_0$	$\zeta = z/r_0$
$\tau = \kappa_1 t / r_0^2$	$\omega = \omega_0 r_0 / \kappa_1$	$h_0 = H_0 r_0 / K_2$	$h_s = H_s r_0 / K_2$
$\kappa^2 = \kappa_1 / \kappa_2$	$K = K_1 / K_2$	$\Delta = \delta / r_0$	$G = G_1 / G_2$

ここで r_0 はロールの外径、 t は時間、 κ_j は温度伝導率、 K_j は熱伝導率、 ω は回転角速度、 δ は焼ばめ代（直盛タイプロールの場合 $\delta = 0$ ）、 H_s 、 H_0 はそれぞれロール表面加熱、冷却時の熱伝達率を示し、添字 $j=1$ をもって内層 ($0 \leq \rho \leq \rho_1$)、 $j=2$ をもって外層 ($\rho_1 \leq \rho \leq 1$) を示すものとする。

なお流入する熱流 $q(\psi, t)$ は以下のように設定する。

$$q(\psi, t) = Q_0 Q(\psi) H(t) + V S f P_0 P(\psi) H(t) \quad \dots\dots (1)$$

$$Q(\psi) = 1 \quad (\text{一様分布})$$

$$P(\psi) = 3\pi(\psi_0^2 - \psi^2) / (8\psi_0^2) \quad (\text{放物線分布})$$

$$H(t) = \begin{cases} 1 & (t > 0) \\ 0 & (t \leq 0) \end{cases}$$

V : ロール周速度 Sr : すべり率 f : 摩擦係数
 P_0 : ヘルツ接触の最大圧力 Q_0 : 接触による熱流束

3 温度解析

3.1 熱伝導方程式と初期条件および境界条件

3.1.1 熱伝導方程式

ある任意の時刻 λ ($\lambda \leq \tau$) で瞬間熱流束が流入する場合を想定し、この時の温度 T_j^λ に関する熱伝導方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial^2 T_1^\lambda}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial T_1^\lambda}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 T_1^\lambda}{\partial \psi^2} = \frac{\partial T_1^\lambda}{\partial \tau}$$

$$\frac{\partial^2 T_2^\lambda}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial T_2^\lambda}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 T_2^\lambda}{\partial \psi^2} = \kappa^2 \frac{\partial T_2^\lambda}{\partial \tau} \quad \dots\dots (2)$$

3.1.2 初期条件

ロールの初期温度は一様な温度であり、この温度を基準として、初期条件は次のようになる。

$$(T_j^\lambda)_{\tau=0} = 0 \quad (j=1, 2) \quad \dots\dots (3)$$

3.1.3 境界条件

ロール表面 ($\rho=1$) および接合面 ($\rho=\rho_1$) での境界条件は次式のように与えられる。

$$\left(\frac{\partial T_2^\lambda}{\partial \rho} \right)_{\rho=1} + h_0 (T_2^\lambda)_{\rho=1} = \frac{r_0}{K_2} q(\psi, t) \delta(\tau - \lambda) \quad \dots\dots (4)$$

$\delta(\tau - \lambda)$: デイラックのデルタ関数

$$K \left(\frac{\partial T_1^\lambda}{\partial \rho} \right)_{\rho=\rho_1} = \left(\frac{\partial T_2^\lambda}{\partial \rho} \right)_{\rho=\rho_1} \quad \dots\dots (5)$$

$$(T_2^\lambda)_{\rho=\rho_1} - (T_1^\lambda)_{\rho=\rho_1} = R_H \frac{K_1}{r_0} \left(\frac{\partial T_1^\lambda}{\partial \rho} \right)_{\rho=\rho_1} \quad \dots\dots (6)$$

R_H : 接触熱抵抗

3.2 温度解析

式 (3) を考慮して、式 (2) および式 (4) ~ (6) を次のようにラプラス変換し、

$$\bar{T}(P) = \int_0^\infty T(\tau) e^{-P\tau} d\tau$$

さらに ψ に関する対称性を考慮して有限フーリエ余弦変換を施せば、

$$\hat{T}(n) = \int_0^\pi T(\psi) \cos(n\psi) d\psi$$

変形されたベッセルの微分方程式の境界値問題となるので、与えられた領域内での有限性を考慮して容易に解を得ることができる。得られた解を有限フーリエ余弦逆変換およびラプラス逆変換すれば、瞬間加熱による温度場 T_j^λ が次式のように得られる。

$$T_j^\lambda = \frac{r_0 Q_0}{K_2} \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^\infty \left\{ \delta_{12}^{n_2} \hat{Q}(n) \cos(n\psi) \times \sum_{k=1}^\infty \frac{x_k S_n^{(j)}(\rho, x_k)}{f_n'(x_k)} e^{-x_k^2(\tau-\lambda)} \right\} \dots\dots (7)$$

さらに T_j^λ を時間 λ について積分すれば、回転移動熱源による温度場 T_j が次式のように得られる。

$$T_j = \frac{r_0 Q_0}{K_2} \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^\infty \left\{ \delta_{12}^{n_2} \hat{Q}(n) \times \sum_{k=1}^\infty \left\{ \frac{x_k S_n^{(j)}(\rho, x_k)}{(x_k^4 + n^2 \omega^2) f_n'(x_k)} \times \{ S_n^c(\tau) \cos(n\theta) + S_n^s(\tau) \sin(n\theta) \} \right\} \right\} \dots\dots (8)$$

温度解の詳細説明を付記1に示す。

4 応力解析

4.1 熱弾性基礎式と初期応力および力学的境界条件

4.1.1 熱弾性基礎式

瞬間熱流束が流入した場合の平面ひずみ非軸対称状態にある物体の熱弾性基礎式は次式のように表される。

$$\begin{aligned} \nabla^2 u_j^\lambda + \frac{1}{1-2\nu_j} \frac{\partial e_j^\lambda}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho^2} (u_j^\lambda + 2 \frac{\partial v_j^\lambda}{\partial \psi}) \\ = \frac{2(1+2\nu_j)}{1-2\nu_j} \alpha_j \frac{\partial T_j^\lambda}{\partial \rho} \\ \nabla^2 v_j^\lambda + \frac{1}{1-2\nu_j} \frac{1}{\rho} \frac{\partial e_j^\lambda}{\partial \psi} + \frac{1}{\rho^2} (2 \frac{\partial u_j^\lambda}{\partial \psi} - v_j^\lambda) \\ = \frac{2(1+2\nu_j)}{1-2\nu_j} \frac{\alpha_j}{\rho} \frac{\partial T_j^\lambda}{\partial \psi} \dots\dots (9) \end{aligned}$$

ここで u_j^λ 、 v_j^λ はそれぞれ半径 (r) および円周 (θ) 方向変位を表し、 ν_j 、 α_j は材料のポアソン比および線膨張係数であり、また e_j^λ は次式で示される。

$$e_j^\lambda = \frac{\partial u_j^\lambda}{\partial \rho} + \frac{u_j^\lambda}{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial v_j^\lambda}{\partial \psi}$$

4.1.2 初期応力

初期焼ばめ圧力 P_m による初期応力は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \sigma_{r_0}^{(1)} = \sigma_{\theta_0}^{(1)} = -P_m \quad u_{r_0}^{(1)} = -(1-\nu_2) P_m r_0 \rho / E_1 \\ \sigma_{r_0}^{(2)} = \frac{P_m \rho^2}{1-\rho^2} \left(1 - \frac{1}{\rho^2}\right) \\ u_{r_0}^{(2)} = \frac{r_0 P_m \rho^2}{E_2 (1-\rho^2)} \left\{ (1-\nu_2) \rho + \frac{1+\nu_2}{\rho} \right\} \\ \sigma_{\theta_0}^{(2)} = \frac{P_m \rho^2}{1-\rho^2} \left(1 + \frac{1}{\rho^2}\right) \dots\dots (10) \end{aligned}$$

ここで Δ

$$P_m = \frac{\Delta}{\rho_1 \left\{ (1-\nu_1) / E_1 + [(1+\rho^2) / (1-\rho^2) + \nu_2] / E_2 \right\}}$$

ロールは直盛タイプ構造の場合

$$P_m = 0 \quad \sigma_{r_0}^{(j)} = \sigma_{\theta_0}^{(j)} = u_{r_0}^{(j)} = 0 \quad (j=1, 2)$$

4.1.3 力学的境界条件

ロール表面 ($\rho=1$) および接合面 ($\rho=\rho_1$) での力学的境界条件は次式のように表される。

$$\begin{aligned} (\sigma_{rr}^{(2)})_{\rho=1} = \begin{cases} -P_0 P(\psi) & |\psi| \leq \psi_0 \\ 0 & |\psi| > \psi_0 \end{cases} \\ (\sigma_{rr}^{(1)})_{\rho=\rho_1} = (\sigma_{rr}^{(2)})_{\rho=\rho_1} \\ (u_r^{(2)})_{\rho=\rho_1} - (u_r^{(1)})_{\rho=\rho_1} = \delta \\ \text{(直盛タイプ構造のロールでは } \delta=0 \text{)} \\ (v_\theta^{(1)})_{\rho=\rho_1} = (v_\theta^{(2)})_{\rho=\rho_1} \dots\dots (11) \end{aligned}$$

4.2 応力解析

次式のように定義される熱弾性ポテンシャル $\Omega^{(j)}$ および応力関数 $\psi_0^{(j)}$ 、 $\psi_1^{(j)}$ 、 $\psi_2^{(j)}$ を導入する⁵⁾。

$$\begin{aligned} \frac{u_r^{(j)}}{r_0} = \frac{\partial \Omega^{(j)}}{\partial \rho} + \frac{\partial \psi_0^{(j)}}{\partial \rho} + \rho \frac{\partial \psi_1^{(j)}}{\partial \rho} \cos \theta + \rho \frac{\partial \psi_2^{(j)}}{\partial \rho} \\ \times \sin \theta - (3-4\nu_j) (\psi_1^{(j)} \cos \theta + \psi_2^{(j)} \sin \theta) \\ \frac{v_\theta^{(j)}}{r_0} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Omega^{(j)}}{\partial \theta} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi_0^{(j)}}{\partial \theta} + \frac{\partial \psi_1^{(j)}}{\theta} \cos \theta + \frac{\partial \psi_2^{(j)}}{\partial \theta} \\ \times \sin \theta + (3-4\nu_j) (\psi_1^{(j)} \sin \theta - \psi_2^{(j)} \cos \theta) \dots\dots (12) \end{aligned}$$

式 (12) を式 (9) に代入すれば $\Omega^{(j)}$ および $\psi_0^{(j)}$ 、 $\psi_1^{(j)}$ 、 $\psi_2^{(j)}$ が次式の解であるとき、式 (9) は満足される。

$$\nabla^2 \Omega^{(j)} = \frac{(1+\nu_j)}{1-\nu_j} \alpha_j T_j^{\lambda} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\nabla^2 \psi_0^{(j)} = \nabla^2 \psi_1^{(j)} = \nabla^2 \psi_2^{(j)} = 0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

式 (13)、(14) をラプラス変換し、これを満足する熱弾性ポテンシャルおよび応力関数が得られる。得られた熱弾性ポテンシャルおよび応力関数を式 (12) のラプラス変換式に代入し、さらにデュアメル・ノイマン則に代入すれば、応力の一般解が求まる。式 (10) の初期応力および式 (11) の境界条件を考慮して、一般解中の未定定数が決定される。得られた応力成分をラプラス逆変換すれば瞬間加熱時の解が求まり、さらにこれらの解を λ に関する積分を行えば、熱応力解が以下のように求まる。

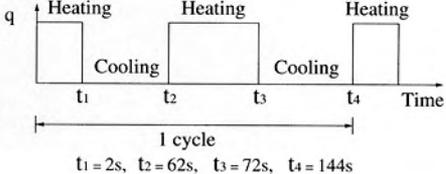
$$\begin{aligned} \sigma_{rr}^{(j)} = & \frac{2E_j P_0}{\pi(1-\nu_j)G_2} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \delta_{12}^{(n)} \hat{P}_n \right. \\ & \times \left. \left\{ {}^C X_n^{(j)}(\rho) \cos(n\psi) + {}^S X_n^{(j)}(\rho) \sin(n\psi) \right\} \right\} \\ & + 2G_j \left\{ \frac{A^{(j)}}{1-2\nu_j} - \frac{B^{(j)}}{\rho^2} - \frac{1+\nu_j}{1-\nu_j} \frac{\alpha_j}{\rho^2} \tau_j(\rho) \right\} \\ & + \sigma_{ro}^{(j)} + \frac{4E_j \alpha_j I_0 Q_0}{\pi K_2(1-\nu_j)} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \hat{Q}(n) \right. \\ & \times \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{G_n^C(\tau, \theta)}{(\delta \kappa^{(j)})^2 X_k (X_k^4 + n^2 \omega^2)} f_n'(X_k) \right. \\ & \times \left. \left. \left\{ {}^T X_n^{(j)}(\rho) + \frac{n(1-n)}{\rho^2} S_n^{(j)}(\rho, X_k) - \frac{\delta \kappa^{(j)} X_k}{\rho} S_{n+1}^{(j)}(\rho, X_k) \right\} \right\} \right\} \\ \sigma_{\theta\theta}^{(j)} = & \frac{2E_j P_0}{\pi(1-\nu_j)G_2} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \delta_{12}^{(n)} \hat{P}_n \right. \\ & \times \left. \left\{ {}^C Y_n^{(j)}(\rho) \cos(n\psi) + {}^S Y_n^{(j)}(\rho) \sin(n\psi) \right\} \right\} \\ & + 2G_j \left\{ \frac{A^{(j)}}{1-2\nu_j} + \frac{B^{(j)}}{\rho^2} + \frac{1+\nu_j}{1-\nu_j} \frac{\alpha_j}{\rho^2} \tau_j(\rho) \right\} + \sigma_{\theta o}^{(j)} \\ & + \frac{4E_j \alpha_j I_0 Q_0}{\pi K_2(1-\nu_j)} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \hat{Q}(n) \right. \\ & \times \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \frac{G_n^S(\tau, \theta)}{(\delta \kappa^{(j)})^2 X_k (X_k^4 + n^2 \omega^2)} f_n'(X_k) \right. \\ & \times \left. \left. \left\{ {}^T Y_n^{(j)}(\rho) + \left[\frac{n(n-1)}{\rho^2} - (\delta \kappa^{(j)})^2 X_k^2 \right] \right. \right. \right. \\ & \times \left. \left. \left. S_n^{(j)}(\rho, X_k) + \frac{\delta \kappa^{(j)} X_k}{\rho} S_{n+1}^{(j)}(\rho, X_k) \right\} \right\} \right\} \\ & \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

応力解の詳細説明を付記2に示す。

5 数値計算例

ここでは、圧延ラインに用いられる焼きばめ構造のロールを例にとり、ステップ状加熱、冷却がある場合を考え、FORTRAN77言語を用いて、数値計算を行った。数値計算用のパラメーターを Table 1 に示す。

Table 1 Parameters used for the numerical calculations

Roll size	1. Roll diameter 313 mm 2. Shrink diameter 235 mm 3. Shrinking allowance 0.125 mm
Physical constant	1. Thermal conductivity (kcal / mm.s.°C) Arbor material 1.18 × 10 ⁻⁵ Sleeve material 0.68 × 10 ⁻⁵ Air 5.861 × 10 ⁻⁹ 2. Heat transfer coefficient (kcal / mm ² .s.°C) Heating (Coil → Roll) 2.8 × 10 ⁻⁵ Water cooling (Roll → Water) 3.6 × 10 ⁻⁵ Air cooling (Roll → Air) 8.3 × 10 ⁻⁹ 3. Linear expansion coefficient (/ °C) Arbor material 13.9 × 10 ⁻⁶ Sleeve material 13.6 × 10 ⁻⁶ 4. Specific heat (kcal / kg.°C) Arbor material 0.094 Sleeve material 0.086 5. Specific gravity 7.85 6. Coefficient of friction 0.2 7. Poisson ratio 0.29 8. Young modulus (kg / mm ²) 21950
Application condition	1. Coil temperature 600°C 2. Cooling method Water or air 3. Heating and cooling pattern  4. Rolling velocity 5500mm / s 5. Lead ratio 5% 6. Load 100000kg

5.1 温度および応力の分布

Fig.3 (a) に冷却および水冷の場合の半径方向の温度分布を示す。ロールが空冷されている場合、ロールとコイルとの2秒間の接触で、ロール表面は600°C近くの高温に上昇し、この温度上昇によって、ロール表面付近の高温加熱層に組織変化や硬さ低下の可能性があると推測される。ロールが水冷されている場合、同じ接触時間で、ロールの表面温度が上昇するが、その程度は空冷の場合の半分ぐらいである。この二つの場合の円周方向および半径方向の応力分布を Fig.3 (b)、(c) に示し、ロールの昇温範囲で、圧縮応力を示し、最大圧縮応力はロールの最表面に生じる。応力分布についても、温度分布と同様に空冷の場合、極めて大きくなるのがわかった。ロール表面付近の異常な温度上昇によって、ロール表面層は組織変化、硬さ低下が発生するとともに、熱応力が生じるので、この高温加熱層はロールの摩耗、肌荒れおよび割れの大きな要因となり、ロール材には適正な冷却条件で使用することが非常に重要であると思われる。

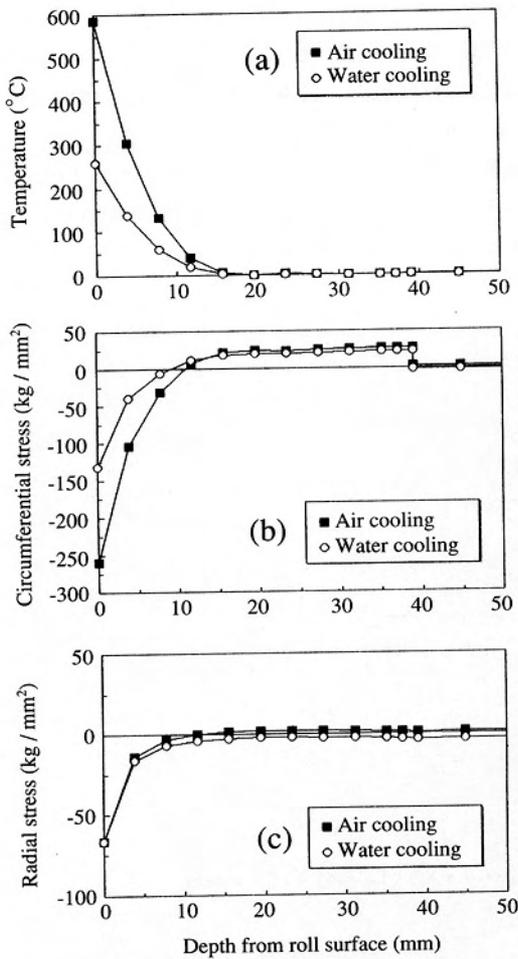


Fig.3 Temperature ((a)) and stress ((b), (c)) distributions

5.2 温度および応力の推移

Fig.4 は、ロールの水冷がある時の表面温度および応力の推移である(第5周期まで)。ロール表面はコイルと接触

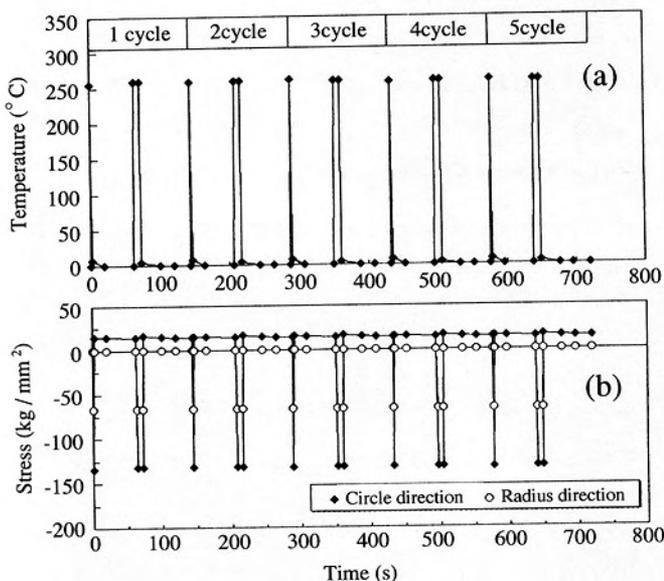


Fig.4 Temperature ((a)) and stress ((b)) transitions from 1 to 5 cycles

している時、ロールが加熱され、ロール表面の温度が上昇し、熱応力が生じる。ロールが冷却される時、温度と応力が低くなり、元の状態に戻る。ロール表面はこのような加熱-冷却が繰り返され、それとともに、応力も変動する。Fig.5 (a) はロール最表面および深さ3.9mmの箇所での温度推移の比較であり、円周方向応力および半径方向応力の時間的変化をFig.5 (b), (c)に示す。この2箇所はともに、加熱-冷却によって温度、応力が変動し、温度上昇の時間内に、圧縮応力が生じる。深さ3.9mmの箇所に温度の上昇および下降が最表面温度に比べて、少し遅れていることが認められ、それによって応力の変動も少し遅れている。

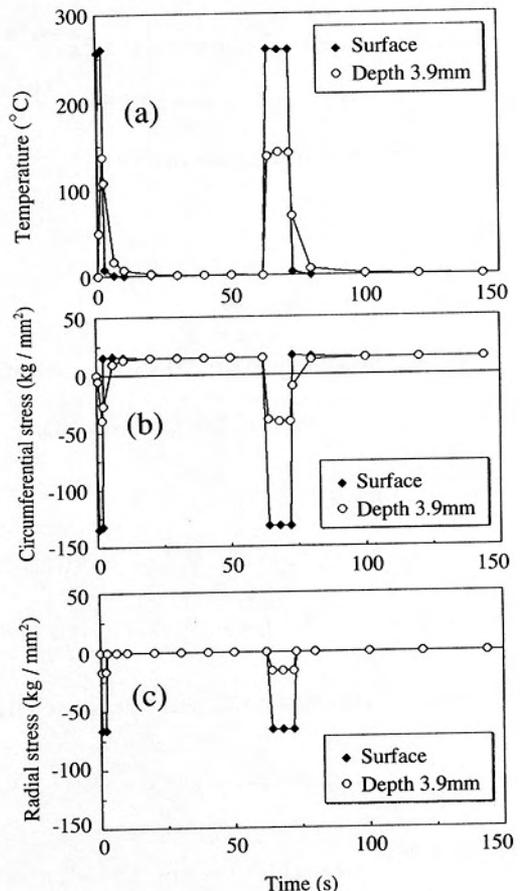


Fig.5 Temperature ((a)) and stress ((b), (c)) transitions

6 まとめ

ラプラス変換および有限フーリエ余弦変換を利用して、圧延ラインにおける複合ロール表面の熱的負荷(接触伝熱、摩擦熱)および機械的負荷による温度場を求め、さらにこれらの負荷を受けたロールに生ずる応力を熱弾性ポテンシャルと応力関数を用いて解析した。得られた温度解および応力解に基づいて、圧延ラインに加熱-冷却の繰り返しを受けている焼きばめ構造のロールを例にとり、稼働中のロールに生ずる温度および応力を数値計算することによって、ロール半径方向の温度、応力の分布およびその推移を数値的に明らかにした。本研究で得られた温度解および応力解は直盛タイプ構造の二層複合ロールにも適用できる。実機ロール

との対比および破壊に関する解析への展開が今後の課題であり、また、さらに計算結果の信頼性を高めるとともに、適用ロール材の合金設計等にも利用したいと考えている。

参考文献

1) 小泉 堯, 谷脇 力: 日本機械学会論文集, 33(1967), 248,

p.522

2) 野田直剛: 日本機械学会論文集, 43(1977), 365, p.46
 3) 五嶋孝仁, 宮尾嘉寿: 日本機械学会論文集, 50A(1984), 452, p.1346
 4) 五嶋孝仁: 日本機械学会論文集, 58A(1992), 549, p.39
 5) 五嶋孝仁, 宮尾嘉寿: 日本機械学会論文集, 45A(1979), 399, p.1346

付記1: 温度解 (式 (8)) の詳細説明

式 (8) で

$$S_n^c(\tau) = Xk^2 \cos(n\omega\tau) + n\omega \sin(n\omega\tau) - Xk^2 e^{-Xk^2\tau}$$

$$S_n^s(\tau) = Xk^2 \sin(n\omega\tau) - n\omega \cos(n\omega\tau) + n\omega e^{-Xk^2\tau}$$

$$\hat{Q}(n) = \frac{1}{Q_0} \int_0^{\psi_0} q(\psi, t) \cos(n\psi) d\psi$$

$$\delta_{12}^n = \begin{cases} 1 & n=0 \\ 2 & n \geq 1 \end{cases}$$

$$S_n^{(1)}(\rho, Xk) = \frac{2}{\pi \rho_1} J_n(\rho Xk)$$

$$S_n^{(2)}(\rho, Xk) = C_n(Xk) J_n(\rho \kappa Xk) - D_n(Xk) Y_n(\rho \kappa Xk)$$

$$+ R_H \frac{K_1}{r_0} \left\{ \frac{n}{\rho_1} J_n(\rho_1 Xk) - Xk J_{n+1}(\rho_1 Xk) \right\} \left\{ L_n^Y(Xk) J_n(\rho \kappa Xk) - L_n^J(Xk) Y_n(\rho \kappa Xk) \right\}$$

$Xk: f_n(x) = 0$ の第 k 番目の正根

$$f_n(x) = \{(n + h_0 + h_s) Y_n(\kappa x) - \kappa x Y_{n+1}(\kappa x)\} D_n(x) - \{(n + h_0 + h_s) J_n(\kappa x) - \kappa x J_{n+1}(\kappa x)\} C_n(x)$$

$$+ R_H \frac{k_1}{r_0} \left\{ \frac{n}{\rho_1} J_n(\rho_1 x) - x J_{n+1}(\rho_1 x) \right\} \left[L_n^J(x) \{(n + h_0 + h_s) Y_n(\kappa x) - \kappa x Y_{n+1}(\kappa x)\} \right.$$

$$\left. - L_n^Y(x) \{(n + h_0 + h_s) J_n(\kappa x) - \kappa x J_{n+1}(\kappa x)\} \right]$$

$$C_n(x) = \frac{n(1-k)}{\rho_1} J_n(\rho_1 x) Y_n(\rho_1 \kappa x) + \kappa x J_{n+1}(\rho_1 x) Y_n(\rho_1 \kappa x) - \kappa x J_n(\rho_1 x) Y_{n+1}(\rho_1 \kappa x)$$

$$D_n(x) = \frac{n(1-k)}{\rho_1} J_n(\rho_1 x) J_n(\rho_1 \kappa x) + \kappa x J_{n+1}(\rho_1 x) J_n(\rho_1 \kappa x) - \kappa x J_n(\rho_1 x) J_{n+1}(\rho_1 \kappa x)$$

$$L_n^J(x) = \frac{n}{\rho_1} J_n(\rho_1 \kappa x) - \kappa x J_{n+1}(\rho_1 \kappa x) \quad L_n^Y(x) = \frac{n}{\rho_1} Y_n(\rho_1 \kappa x) - \kappa x Y_{n+1}(\rho_1 \kappa x)$$

$J_n(x), Y_n(x)$: 第一種、第二種ベッセル関数。

付記2: 温度解 (式 (15)) の詳細説明

式 (15) で

$$\delta_{\kappa}^{\theta} = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \kappa & j=2 \end{cases}$$

$$G_n^c(\tau, \theta) = S_n^c(\tau) \cos(n\theta) + S_n^s(\tau) \sin(n\theta)$$

$$G_n^s(\tau, \theta) = S_n^c(\tau) \sin(n\theta) - S_n^s(\tau) \cos(n\theta)$$

$$\frac{A^{(1)}}{1-2\nu_1} = \frac{1}{D\nu} \{ 2(1+\nu_2) \alpha_2 \tau_2(1) + \frac{(1+\nu_1)\alpha_1}{(1-\nu_1)\rho_1^2} [2(1-\nu_2) \rho_1^2 G - (1-G)(1-\rho_1^2)] \tau_1(\rho_1) - \frac{1-\rho_1^2}{\rho_1} \Delta \}$$

$$\frac{A^{(2)}}{1-2\nu_2} = \frac{1}{D\nu} \left\{ \frac{1+\nu_2}{1-\nu_2} (G+1-2\nu_1) \alpha_2 \tau_2(1) + 2G(1+\nu_1) \alpha_1 \tau_1(\rho_1) + G\rho_1 \Delta \right\}$$

$$B^{(1)} = 0$$

$$B^{(2)} = \frac{1}{D\nu} \left\{ \frac{1+\nu_2}{1-\nu_2} [(1-2\nu_1) - (1-2\nu_2)G] \rho_1^2 \alpha_2 \tau_2(1) + 2G(1+\nu_1) \alpha_1 \tau_1(\rho_1) + G\rho_1 \Delta \right\}$$

$$D\nu = G \{ 1 + (1-2\nu_2)\rho_1^2 \} + (1-2\nu_1)(1-\rho_1^2)$$

$$\tau_1(\rho) = h_s T_s \left\{ \frac{\rho^2}{2h_0} - \frac{4\rho}{\pi\rho_1} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-Xk^2\tau}}{Xk^2 f'_0(Xk)} J_1(\rho Xk) \right\}$$

$$\tau_2(\rho) = h_s T_s \left\{ \frac{\rho^2 - \rho_1^2}{2h_0} - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{-Xk^2\tau}}{\kappa Xk^2 f'_0(Xk)} [C_0(Xk) [\rho J_1(\rho \kappa Xk) - \rho_1 J_1(\rho_1 \kappa Xk)] \right.$$

$$\left. - D_0(Xk) [\rho Y_1(\rho \kappa Xk) - \rho_1 Y_1(\rho_1 \kappa Xk)] + R_H K_1 \kappa Xk^2 \rho J_1(\rho_1 Xk) E_1(\rho Xk) / \Gamma_0 \right\}$$

$$E_1(\rho Xk) = Y_1(\rho_1 \kappa Xk) J_1(\rho \kappa Xk) - J_1(\rho_1 \kappa Xk) Y_1(\rho \kappa Xk)$$

$${}^m X_n^{(j)}(\rho) = {}^m A_n^{(j)} \frac{(n+1)(n-2)}{2} \rho^n + {}^m B_n^{(j)} (n+1) \rho^{-(n+2)} + {}^m C_n^{(j)} \delta_{xn}^{(j)} \rho^{n-2} + {}^m D_n^{(j)} \delta_{rn}^{(j)} \rho^{-n}$$

$${}^m Y_n^{(j)}(\rho) = -{}^m A_n^{(j)} \frac{(n+1)(n+2)}{2} \rho^{-n} - {}^m B_n^{(j)} (n+1) \rho^{-(n+2)} - {}^m C_n^{(j)} \delta_{yn}^{(j)} \rho^{n-2} + {}^m D_n^{(j)} \delta_{\theta n}^{(j)} \rho^{-n}$$

$$R_n^{(2)} = \begin{cases} (3-4\nu_2) \ln \rho - 1 & n=1 \\ (4\nu_2 - n-2) \rho^{-(n-1)} / 2 & n \geq 2 \end{cases} \quad \delta_{xn}^{(j)} = \begin{cases} 2\nu_j & n=1 \\ n-1 & n \geq 2 \end{cases} \quad \delta_{\tau n}^{(2)} = \begin{cases} 1-2\nu_2 & n=1 \\ n(1-n)/2 & n \geq 2 \end{cases}$$

$$\Theta_n^{(2)} = \begin{cases} (3-4\nu_2) \ln \rho & n=1 \\ (4\nu_2 + n-4) \rho^{-(n-1)} / 2 & n \geq 2 \end{cases} \quad \delta_{yn}^{(j)} = \begin{cases} -2(1-\nu_j) & n=1 \\ n+1 & n \geq 2 \end{cases} \quad \delta_{un}^{(j)} = \begin{cases} 0 & n=1 \\ 1 & n \geq 2 \end{cases}$$

$$\delta_{rn}^{(2)} = \begin{cases} 3-2\nu_2 & n=1 \\ (n-1)(n+2)/2 & n \geq 2 \end{cases} \quad \delta_{zn}^{(j)} = \begin{cases} -2(1-\nu_j) & n=1 \\ n-1 & n \geq 2 \end{cases} \quad \delta_{\theta n}^{(2)} = \begin{cases} -1+2\nu_2 & n=1 \\ (1-n)(n-2)/2 & n \geq 2 \end{cases}$$

$$R_n^{(1)} = 0 \quad \Theta_n^{(1)} = 0 \quad \delta_{rn}^{(1)} = 0 \quad \delta_{\theta n}^{(1)} = 0 \quad \delta_{\tau n}^{(1)} = 0$$

ここで ${}^m A_n^{(j)}$ 、 ${}^m B_n^{(j)}$ 、 ${}^m C_n^{(j)}$ 、 ${}^m D_n^{(j)}$ ($m = C, S, T$) ($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) ($j = 1, 2$) は次の連立方程式の根として与えられる。

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & A_{25} & A_{26} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} & A_{35} & A_{36} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} & A_{45} & A_{46} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} & A_{56} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} & A_{65} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^m A_n^{(2)} \\ {}^m B_n^{(2)} \\ {}^m C_n^{(2)} \\ {}^m D_n^{(2)} \\ {}^m A_n^{(1)} \\ {}^m C_n^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^m B_1 \\ {}^m B_2 \\ {}^m B_3 \\ {}^m B_4 \\ {}^m B_5 \\ {}^m B_6 \end{bmatrix}$$

ただし ${}^m B_n^{(1)} = {}^m D_n^{(1)} = 0$

$A_{11} = (n+1)(n-2)/2$	$A_{12} = n+1$	$A_{13} = \delta_{xn}^{(2)}$	$A_{14} = \delta_{rn}^{(2)}$	$A_{15} = 0$	$A_{16} = 0$
$A_{21} = -n(n+1)/2$	$A_{22} = n+1$	$A_{23} = -\delta_{zn}^{(2)}$	$A_{24} = \delta_{rn}^{(2)}$	$A_{25} = 0$	$A_{26} = 0$
$A_{31} = (n+1)(n-2)\rho_1^n/2$		$A_{32} = (n+1)\rho_1^{-(n+2)}$		$A_{33} = \delta_{xn}^{(2)}\rho_1^{n-2}$	
$A_{34} = \delta_{rn}^{(2)}\rho_1^{-n}$		$A_{35} = {}^m \Gamma_{12}(n+1)(2-n)\rho_1^n/2$		$A_{36} = -{}^m \Gamma_{12}\delta_{xn}^{(1)}\rho_1^{n-2}$	
$A_{41} = -n(n+1)\rho_1^n/2$		$A_{42} = (n+1)\rho_1^{-(n+2)}$		$A_{43} = -\delta_{zn}^{(2)}\rho_1^{n-2}$	
$A_{44} = -\delta_{\tau n}^{(2)}\rho_1^{-n}$		$A_{45} = {}^m \Gamma_{12}(n+1)n\rho_1^n/2$		$A_{46} = {}^m \delta_{zn}^{(1)}\rho_1^{n-2}$	
$A_{51} = (n-2+4\nu_2)\rho_1^{n+1}/2$		$A_{52} = -\rho_1^{-(n+1)}$		$A_{53} = \delta_{un}^{(j)}\rho_1^{n-1}$	
$A_{54} = R_n^{(2)}(\rho_1)$		$A_{55} = {}^m \Upsilon_{12}(2-n-4\nu_1)\rho_1^{n+1}/2$		$A_{56} = -{}^m \Upsilon_{12}\delta_{un}^{(1)}\rho_1^{n-1}$	
$A_{61} = (4\nu_2-4-n)\rho_1^{n+1}/2$		$A_{62} = -\rho_1^{-(n+1)}$		$A_{63} = -\rho_1^{n-1}$	
$A_{64} = -\Theta_n^{(2)}(\rho_1)$		$A_{65} = {}^m \Upsilon_{12}(n+4-4\nu_1)\rho_1^{n+1}/2$		$A_{66} = {}^m \Upsilon_{12}\rho_1^{n-1}$	

$${}^C T_{12} = {}^S T_{12} = (1 + \nu_1)(1 - \nu_2) / \{(1 - \nu_1)(1 + \nu_2)\} \quad {}^T T_{12} = \kappa^2 (1 + \nu_1)(1 - \nu_2) \alpha_1 / \{(1 - \nu_1)(1 + \nu_2) \alpha_2\}$$

$${}^C \Gamma_{12} = {}^S \Gamma_{12} = E_1 (1 - \nu_2) / \{E_2 (1 - \nu_1)\} \quad {}^T \Gamma_{12} = \kappa^2 E_1 \alpha_1 (1 - \nu_2) / \{E_2 \alpha_2 (1 - \nu_1)\}$$

$${}^C B_1 = -\pi (1 - \nu_2) / \{4(1 + \nu_2)\} \quad {}^C B_2 = {}^C B_3 = {}^C B_4 = {}^C B_5 = {}^C B_6 = 0$$

$${}^S B_2 = \pi (1 - \nu_2) f / \{4(1 + \nu_2)\} \quad {}^S B_1 = {}^S B_3 = {}^S B_4 = {}^S B_5 = {}^S B_6 = 0$$

$${}^T B_1 = \delta \kappa^{(2)} X_k S_{n+1}^{(2)}(1, X_k) + n(n-1) S_n^{(2)}(1, X_k)$$

$${}^T B_2 = n \delta \kappa^{(2)} X_k S_{n+1}^{(2)}(1, X_k) - n(n-1) S_n^{(2)}(1, X_k)$$

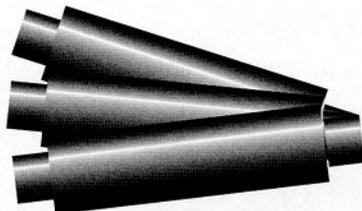
$${}^T B_3 = \delta \kappa^{(2)} X_k S_{n+1}^{(2)}(\rho_1, X_k) / \rho_1 + n(n-1) S_n^{(2)}(\rho_1, X_k) / \rho_1^2 \\ - {}^T \Gamma_{12} \delta \kappa^{(1)} X_k S_{n+1}^{(1)}(\rho_1, X_k) / \rho_1 - {}^T \Gamma_{12} n(n-1) S_n^{(1)}(\rho_1, X_k) / \rho_1^2$$

$${}^T B_4 = n \delta \kappa^{(2)} X_k S_{n+1}^{(2)}(\rho_1, X_k) / \rho_1 - n(n-1) S_n^{(2)}(\rho_1, X_k) / \rho_1^2 \\ - {}^T \Gamma_{12} n \delta \kappa^{(1)} X_k S_{n+1}^{(1)}(\rho_1, X_k) / \rho_1 + {}^T \Gamma_{12} n(n-1) S_n^{(1)}(\rho_1, X_k) / \rho_1^2$$

$${}^T B_5 = n S_n^{(2)}(\rho_1, X_k) / \rho_1 - \delta \kappa^{(2)} X_k S_{n+1}^{(2)}(\rho_1, X_k) \\ - {}^T \Gamma_{12} n S_n^{(1)}(\rho_1, X_k) / \rho_1 + {}^T \Gamma_{12} \delta \kappa^{(1)} X_k S_{n+1}^{(1)}(\rho_1, X_k)$$

$${}^T B_6 = -n \{S_n^{(2)}(\rho_1, X_k) - {}^T \Gamma_{12} S_n^{(1)}(\rho_1, X_k)\} / \rho_1$$

$$\hat{P}_n = 3\pi \{\sin(n\psi_0) - n\psi_0 \cos(n\psi_0)\} / (4\psi_0^2 n^3)$$



調査報告

FT-X3のアンコイラー レベリングロールへの適用状況

溶接溶射技術開発室
宮崎 裕之
Hiroyuki Miyazaki

溶接溶射技術開発室長
吉村 武憲
Takenori Yoshimura

1 緒言

熱延工場で巻き取られたコイルは、その用途によってホットスキンパスライン等の熱延精整工程を経て黒皮のまま製品になるものや、酸洗ラインを通り脱スケールされ冷延工程に進み、より付加価値の高い製品となる。

この中で、酸洗ラインでは熱延工場で巻き取られたコイルをほどいていくため、アンコイラー設備が設置されている。この設備にはプレッシャー、ピンチ、レベリングの順にロールが配置されており、レベリングロールは、送られてきたコイルについている巻き癖を直す、言わば形状矯正を行うことを目的とするロールである。

レベリングロールは圧下を掛けながら冷間で形状矯正し、しかも通板材の表面に付着している硬い酸化スケールのため、ロールが早期に摩耗する。特に板幅のエッジ付近が選択的に摩耗するため、ロールに径差が生じ、ある程度以上になると先の工程で板に腰折れ等の現象が生じてしまう。そのためロールは各所である基準を設けて、それ以上摩耗すると取外し改削研磨を行い取付け使用され、1~2回使用後廃却される。また摩耗原因の一つとして形状矯正時に脱落するスケールを洗い流すため、水が掛けられており、腐食摩耗の要素もあり、耐食性の考慮が必要となる。

レベリングロールは5~6本が1組となっている。また前段のピンチロール（4本）と回転数を一つの駆動源で同期させている所もあり、取替えとなると大変な労力と取替費用を要するため、レベリングロールの耐用UPが望まれていた。

本報告では当社開発の肉盛ハイス材FT-X3（高速度工具鋼系：ショアー硬度Hs95以上）をレベリングロールに硬化肉盛溶接を行い、各所で好成績を納めているので、以下にその数例を紹介する。

2 レベリングロールについて

図-1に示すように酸洗前のレベリングロールはアンコイラー設備の中に組み込まれプレッシャー、ピンチの後に位置する。このロールには軸受鋼（SUJ2種）、低合金の鍛鋼焼入れロール（Hs80~90）やショアー硬さHs75~85程度の硬化肉盛溶接ロール等が使用されており、その耐用も様々である。

当社のロールは安価な炭素鋼の母材表面にFT-X3という非常に耐食耐摩耗性に優れた7%Crハイス系（Hs95以上）

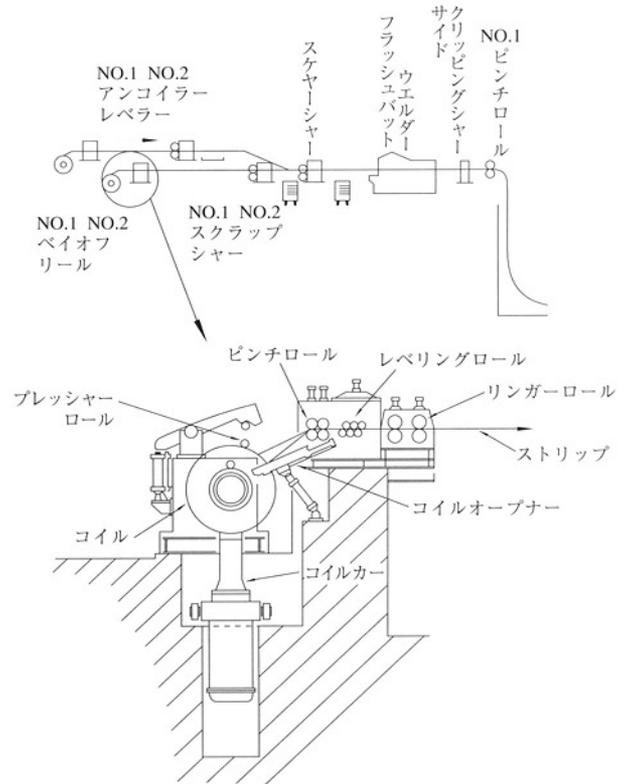


図-1 酸洗前アンコイラー設備一例¹⁾

の材料を5~7mm程度の厚さにハードフェーシングしたロールの構成となっている（図-2参照）。レベリングロールの使用条件の一例を表-1に示す。



図-2 レベリングロール製品外観

表-1 レベリングロール使用条件一例

通板鋼種	炭素鋼・高張力鋼
通板サイズ	1.2~9.0mmt
通板温度	常温~200°C
通板スピード	Max.600m/min
生産量	約18万トン/月

3 使用実績

酸洗前アンコイラーレベリングロールの使用実績で各材質との比較を表-2、表-3および表-4に示す。またステンレス鋼専用のコイルビルドアップライン（CBL）での使用実績を表-5に示す。いずれも良好な成績を納めている。

表-2 SUJ焼入れロールとの比較（A製鉄所）

ロール径：φ200 ロール取替え基準：径で2.5mmで取替え ロール使用限界径：径で8.0mmで廃却		
ロール取付位置 従来の摩耗傾向順位：①>②>③>④>⑤		
使用結果		
材質	SUJ	FT-X3
硬さ	Hs90	Hs95以上
摩耗	-φ1.94mm/6ヶ月	-φ0.62mm/6ヶ月
約3倍以上の耐用を示し、ロール購入費・研磨費・取替工事費等、約4,600千円/年のコストダウンとなった。		

表-3 低合金鍛鋼焼入れロールとの比較（B製鉄所）

ロール径：φ226 通板量：14.5万トン/月		
使用結果		
材質	低合金鍛鋼焼入れ	FT-X3
硬さ	Hs85～90	Hs95以上
耐用	7ヶ月(101.5万トン)	9ヶ月(130.5万トン)
摩耗	-φ10.4mm	-φ5.7mm
比較	-φ10.24mm/100万トン	-φ4.36mm/100万トン

表-4 肉盛溶接ロールとの比較（C製鉄所）

ロール径：φ226 通板量：15万トン/月		
使用結果		
材質	肉盛溶接品	FT-X3
硬さ	Hs80～85	Hs95以上
耐用	8ヶ月(120万トン)	14ヶ月(210万トン)
摩耗	-φ5.0mm	-φ5.0mm
比較	-φ4.16mm/100万トン	-φ2.38mm/100万トン

表-5 ステンレス工場コイルビルドアップライン（CBL）での使用実績
SUJ焼入れロールとの比較（D製鉄所）

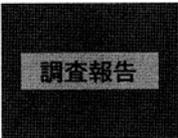
ロール径：φ170 通板サイズ：板厚 2.5～6.0t 板幅 730～1,280W 鋼種：90%がオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304主流) 10%がフェライト系ステンレス鋼・チタン・その他 温度：常温 通板スピード：25m/min 通板量：約9,000トン/月		
使用結果		
材質	SUJ	FT-X3
耐用	10ヶ月	42ヶ月
摩耗	-φ2.0mm	-φ2.0mm
約4倍以上の耐用		

4 まとめ

レベリングロールでのFT-X3の使用結果を数例紹介したが、各材質との比較、また製鉄所や鋼種によって様々な操業条件の違いがあるが、いずれのケースにおいても良好な成績を納めた信頼ある商品となり、ほとんどの製鉄所で常用されている。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会編：「わが国における最近のコールドストリップ設備および製造技術の進歩」(1977), p.30



軌条用矯正ローラの開発

溶接溶射技術開発室
宮崎 裕之
Hiroyuki Miyazaki

溶接溶射技術開発室長
吉村 武憲
Takenori Yoshimura

1 緒言

熱間圧延された軌条（レール）は、冷却床で冷却される際レール断面の非対称性や冷却時の不均一により、熱応力ひずみが生じ、反り、曲がり、波打ち等が起こる。

レールは真直性と正しい断面形状が要求されるため、矯正機を使用して、これらのひずみを取り除かなければならない。矯正方法としては製品に繰り返し曲げを与える方法が主であり、まず高能率のローラ矯正機で矯正され、その後曲がり検査を行い、再矯正を要するレールはプレス矯正される。

矯正ローラはレールの先端部と終端部が通過する際には大きな衝撃が掛かり、また矯正中はローラ表面にかなり高い面圧が掛かっており、厳しい環境下で使用されている。このため摩耗、割れ、剥離等の問題が早期に発生する。

今回、ローラ矯正機で耐用が短かった矯正ローラの寿命延長のため、FT-X1という当社開発の肉盛ハイス材（Hs90）をハードフェーシングしたローラを適用し、好成績を納めたので、以下にその調査内容について報告する。

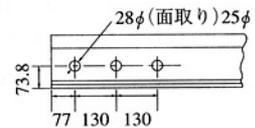
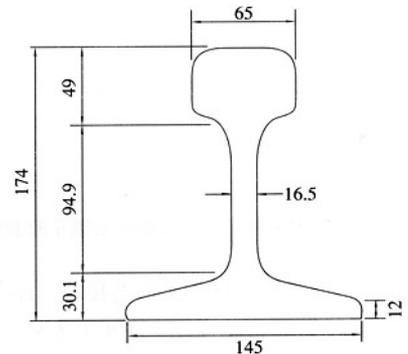
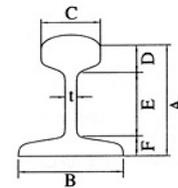
2 レールについて

レールの代表的な規格として国内においてはJIS（日本工業規格）、JRS（日本国有鉄道規格）、また、外国規格としてはBS（英国規格）、AREA（米国レール技術協会）等が挙げられる。表-1に代表的な規格のレール寸法を、図-1にその形状の例を示す。また表-2にレールの化学成分および機械的性質を示す。

レールはその用途により普通レール、熱処理レール、導電用レール、特殊レールに大きく分けられる。この内普通レールは一般の鉄道レールであり、国内では新幹線用の60kgをはじめ50kg、40kgおよび37kgなどの種類がある。長さについては通常25mであるが、一部新幹線用を含め50mレールも製造されている。

表-1 レール寸法

種類	寸法 (mm)							断面積 A (cm ²)	重量 W (kg/m)
	A	B	C	D	E	F	t		
JIS 37kgN	122.24	122.24	62.71	36.12	64.69	21.43	13.49	47.30	37.20
JIS JRS 40kgN	140.00	122.00	64.00	41.00	73.50	25.50	14.00	52.00	40.90
JIS JRS 50kgN	153.00	127.00	65.00	49.00	74.00	30.00	15.00	64.20	50.40
JIS JRS 60kgN	174.00	145.00	65.00	49.00	94.90	30.10	16.50	77.50	60.80
AREA 100 lb RE	152.40	136.52	68.26	42.07	83.34	26.99	14.29	64.19	50.35
AREA 115 lb RE	168.28	139.70	69.06	42.86	96.84	28.58	15.88	72.58	56.90
AREA 136 lb RE	185.74	152.40	74.61	49.21	106.36	30.16	17.46	86.13	67.56



JIS JRS 60kg

図-1 レールの形状例

表-2 レールの化学成分と機械的性質

規格	種類	化学成分 (%)					引張試験	
		C	Si	Mn	P	S	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
JRS (日本国有鉄道)	40N	0.60~0.75	0.10~0.30	0.70~1.10	0.035以下	0.040以下	80以上	8以上 10以上
	50N							
	60kgf							
AREA (chapter 4-1979年版)	90~120 lbf/yd	0.67~0.80	0.10~0.35	0.70~1.00	0.035以下	0.040以下	—	—
	121 lbf/yd 超							

3 矯正ローラについて

ローラ矯正機の例を図-2に、またローラ配列の一例を図-3に各々示す。上に4個、下に3個のローラが交互に配列され、上下いずれか一方が駆動、他方がアイドルになっている。ローラは始め3個の上下ローラで曲げモーメントを受け始め、引き続き後続ローラで逆方向に降伏曲げモーメントまで圧下され以後順次圧下を減ずる。この間でローラの上下方向の曲がり除去される。端部はローラプレス矯正機で矯正される。また横方向の曲がりにはスラスト機構を強固にすることによって矯正される。

従来の矯正ローラはダクタイト（Hs65～70）、チルド

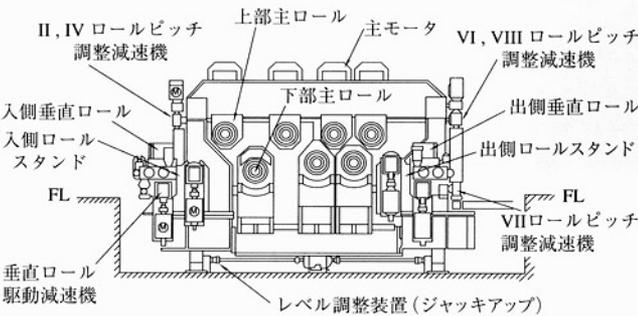


図-2 片持式可変ピッチ型ローラ矯正機

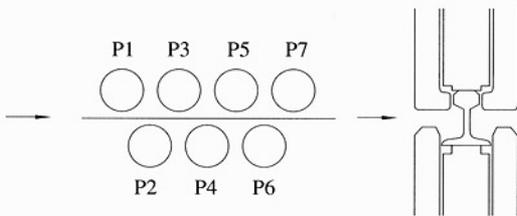
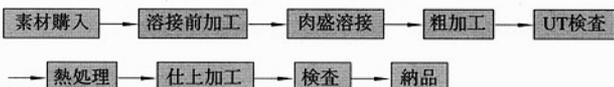


図-3 ローラ矯正機のローラ配列と矯正断面形状

(Hs68～70)の鋳造品や硬化肉盛溶接品(Hs70～80)等が使用されている。鋳造品ローラはサイズダウンしながら使用され、ある径で廃却する。また溶接品は径で約20mmの肉盛溶接がされており、サイズダウンしながら使用し限界径になると、再度肉盛溶接して使用している。

4 矯正ローラの製造方法概略

リング鍛造された炭素鋼の外周にサブマージアーク溶接法で肉盛ハイスFT-X1(4%Crハイス系、Hs90以上)を片肉10mm肉盛溶接して製造する。概略工程を次に示す。



5 使用状況

A製鉄所における使用状況を以下に示す。

5.1 ローラ配列

前項の図-3と同様の配列である。

5.2 ローラ負荷状況

各種ローラを矯正する際、各位値のローラに掛かる矯正反力を表-3に示す。

表-3 各ローラに掛かる矯正反力

ローラの種類	矯正反力(トン)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
50K	28	46	49	46	41	35	30
60K	37	62	66	62	55	47	40
136LB	76	124	134	124	110	96	82

(1) 下ローラはローラの形状から判断出来るように負荷は軽少である(ローラ幅方向の接触が大きいため)。

(2) 上ローラの2番目のP3ローラの負荷が最も大きく、以後P5>P7>P1の順で負荷は小さくなる。

5.3 従来品ローラ

ショアー硬度Hs85程度の硬化肉盛溶接ローラが使用されており、取替え原因は摩耗、割れ、ローラ肩部の塑性変形であり、約2,000トン未満で交換されていた。摩耗の場合は径で1mmの改削がなされていた。

6 使用結果

A製鉄所における使用結果を以下に示す。

6.1 ローラ取付位置

肉盛ハイスローラを負荷が大きい上ローラP1、P3、P5、P7に組み込んだ。取付位置を図-4に示す。

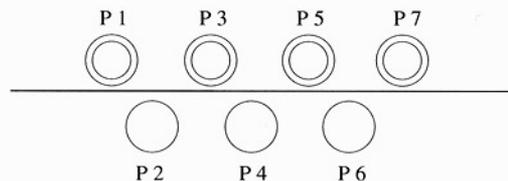


図-4 肉盛ハイスローラ取付位置

6.2 使用結果

表-4は上ローラP1、P3、P5、およびP7の使用結果を示したもので、次のことが明らかとなった。

表-4 使用結果

	使用期間	1日の矯正トン数		合計(トン)	累計(トン)	摩耗量(mm)
		Min	Max			
第1回目	H7/10~12	85	938	6,126	—	0
第2回目	H8/2~6	60	2,350	9,534	15,660	0

(1) 上ローラP1は先行してテスト使用していたため、すでに29,295トンの矯正実績があり、今回も含め、累計44,955トンとなった。

(2) 摩耗量について

・最も負荷が高いP3上ローラも含みP5、P7ローラで15,660トン矯正して摩耗0であった。

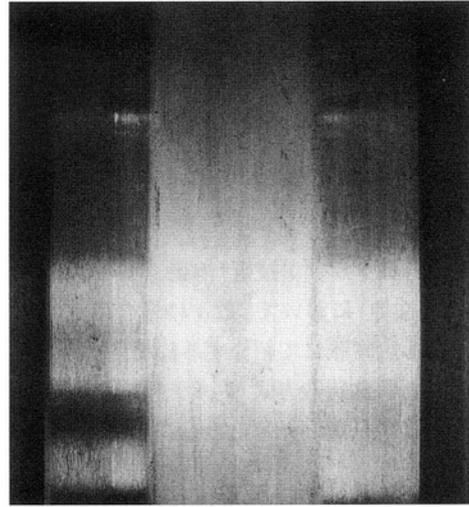
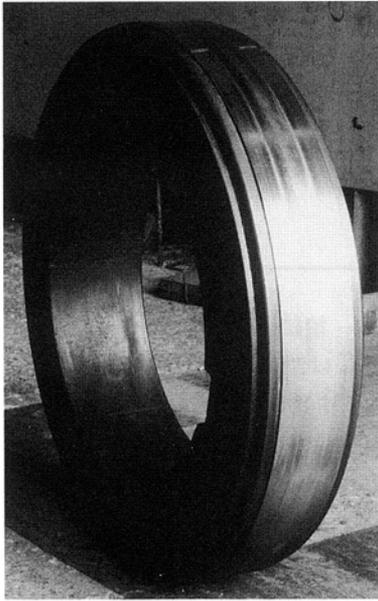


図-5 使用後のローラ外観写真

・P1上ローラについては前回の実績も合わせ、44,955トンのレールを矯正して摩耗0であった。

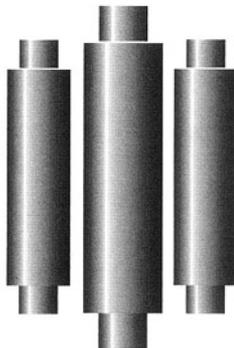
(3) 使用後のローラ外観写真を図-5に示す。割れ、剥離、肩部の塑性変形等の異常もなく、健全なローラ外観を呈している。

7 まとめ

目標を従来品（2,000トン矯正）の3倍の6,000トンに設定したが、それを遥かに上回る実績を示した。今後、類似の矯正ローラにも適用が期待される。

参考文献

日本鉄鋼協会編：鉄鋼便覧III(2), 条鋼・鋼管・圧延共通設備(1980), 丸善



複合鑄造ライナーの使用成績 (第2報)

現 溶接溶射技術開発室
木下 利哉
Toshiya Kinoshita

営業本部
立花 隆
Takashi Tachibana

1 緒言

当社は創業以来、各種クラッド技術(溶接、溶射、C.P.C および特殊鑄掛肉盛法等)において、数々の複合商品を開発してきた経緯がある。本報にて紹介するESTライナーも、当社で新たに考案した特殊鑄造方式(クイクスプレッド方式)を採用した大型サイズ(900mm×1800mm×25~30mm)の高耐久性の鑄造複合ライナーである。尚本ライナー材の材質特性等については、すでに詳細に報告^{1) 2)}している。

本調査報告では、前報²⁾に引き続き「ESTライナー」のその後の使用成績について、いくつかの事例を挙げて報告する。

2 材質特性概略

「ESTライナー」は、クイクスプレッド方式による、鋼板(SS400)と高クロム鑄鉄材との2重構造である。

その構成は、

(1) 高クロム鑄鉄層18mmと鋼板12mmの合計30mm厚さ

(2) 高クロム鑄鉄層16mmと鋼板9mmの合計25mm厚さ

の2種類である。

その構造及び構成により、耐摩耗性と耐衝撃性を兼備した高耐久性ライナーとなっている。

特に耐摩耗性については、表-1に示す様な特殊元素を含む高炭素高クロム鑄鉄系の高硬度材であり、各種炭化物の面積比が約65%と高比率化が図れている。

表-1 「ESTライナー」の化学成分組成および硬さ

元素 区分	C	Cr	特殊元素 (Wt%)			常温硬さ
			X	Y	Z	
EST1	4.0~5.0	25.0~30.0	0.5~2.0	0.5~2.0	—	85±5
EST2	4.5~5.5	25.0~30.0	0.5~2.0	3.0~7.0	3.0~7.0	90±5

又、高温環境下においても、硬さの低下が非常に小さいことも大きな特徴である。

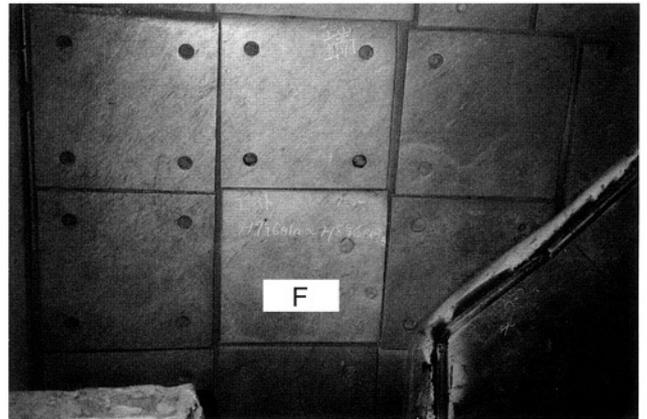
したがって、機械的衝撃を受ける箇所や、高温雰囲気等の様々な使用環境に対応が可能である。

3 使用成績

次にESTライナーの使用成績について、前報²⁾に引き続き、いくつかの適用例を取り上げて述べる。

3.1 焼結機排鉱部ケーシングライナー

図-1は原料焼結機の排鉱部ケーシングライナーに本ライナーを適用した例(中央部F)である。本ライナーの使用環境は、非常に過酷で、焼結機の一次クラッシャー鬼刃、受刃の側壁に配置されており、赤熱状態の鉄鉱石(約800℃)が、クラッシャーと同様に、バレット台車から落下衝突して、著しいアブレーション摩耗を受け易い環境である。



F: ESTライナー

図-1 焼結機排鉱部ケーシングライナー

当該ライナーとして、従来は他社高Cr鑄鉄材(一体鑄造品)が適用されていたが、通常最長で6ヶ月が耐用寿命であった。

しかし、ESTライナーの適用によって、現状約1年の耐用を上げて、なおも継続使用中である。図-2に耐用状況の一例を示す。

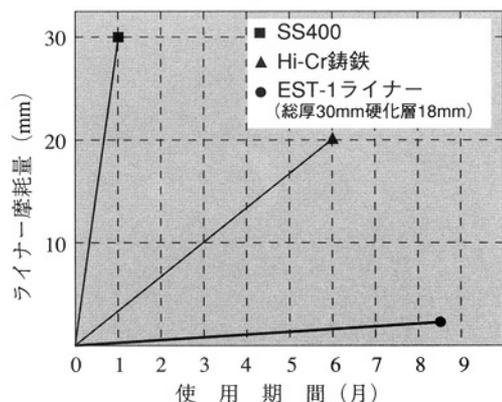
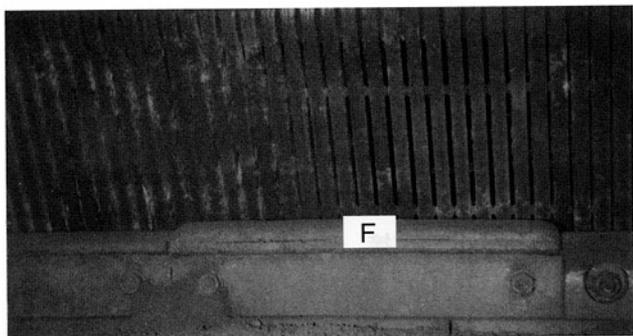


図-2 焼結機排鉱部ケーシングライナーの摩耗状況

3.2 焼結機クラッシャー前面シュート

次にESTライナーをセルフライニング式シュートに適用した代表例として、図-3に焼結機末端部で一次クラッシャー前面のシュートライナーを示す。本ライナーは、複合構造の利点を生かして、鋼板部を溶接することにより取り付けられている。通過原料は、前記焼結機排鉱部ケーシングライナーと同様に、高温の鉄鉱石である。



F: ESTライナー

図-3 焼結機クラッシャー前面シュート

使用成績としては、約1年使用後の状況を他社高クロム鋳鉄材と比較して、約3倍の耐用を示している。

これと類似の応用例としては、前報²⁾で報告したBCヘッドシュートライナーへ適用した図-4に示す「先端金物ライナー」があるが、やはり大幅な耐用の向上が確認されている。

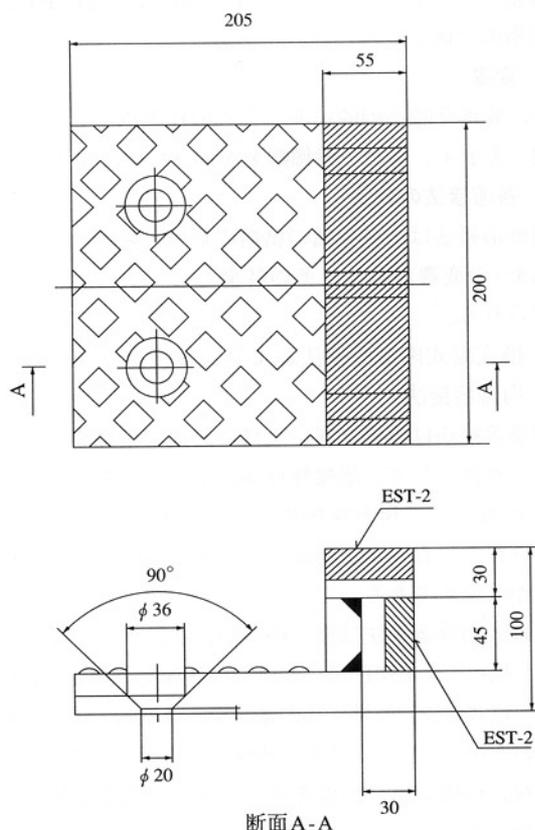


図-4 応用例 (先端金物ライナー)

3.3 クリンカークーラーグリズリーバー

図-5はセメントクリンカーのグリズリーバーへ本ライナーを適用した例である。

本ライナーの使用環境は、約150°C程度のクリンカー塊を粉砕するハンマークラッシャー前方の位置に設置された、セメント原料の選別シュートライナー (固定篩) である。

温度環境は150°C程度であるが、クリンカー塊の衝突や原料通過時にアブレーション摩耗を受けている。耐用状況は、S25C (丸鋼) の約18倍、SUS304の約6倍であり、格段の耐用差となっている。又、硬化肉盛溶接 (Hi-Cr系) と比較した場合でも、硬化層厚みが18mmの本ライナー材を使用した結果、製作コスト・耐用面で非常に有効となった。



図-5 クリンカークーラー グリズリーバー

4 その他

製鉄所をはじめ、セメント、窯業の分野に利用されている。その使用方法は、様々である。特記すべき使用例では、非鉄金属原料の気流乾燥装置内のケーシングライナーや、セメント原料の二次クラッシャー刃先等においても使用され、その利用用途は、更に広がり耐用延長ははかられている。

5 結言

以上、ESTライナーについて、前報²⁾に引き続きいくつかの使用例を紹介した。

本ライナーを適用することによって、いずれも耐久性の向上をもたらし、その結果、設備保全費の低減など大きな効果を上げている。

今後、更に適用範囲が拡大することを期待している。

参考文献

- 1) 木下利哉, 戸川孝司: フジコー技報, No.2(1994), p.42
- 2) 木下利哉, 立花 隆: フジコー技報, No.3(1995), p.39



C.P.C法

フジオーリジナルルーツ技術の紹介

CPC技術開発室
坂本 眞一
Shin-ichi Sakamoto

1 緒言

当社は既に述べたように、初代社長が、製鉄所における鑄型修理技術によって社業を興し、その特殊な技術による貢献は甚大であったと聞いている。

鑄型修理実験で成功した日（昭和27年6月15日）より、鑄型修理以外の分野の開拓にも努力していたところ、その約1年半後、昭和28年11月に八幡製鉄所に溶接指名業者として登録され、かねてから、溶接の真髓であると考えていたロール、ローラの分野の開発を手掛けることとなった。

当社は、当時から、鑄鉄の肉盛溶接が可能であれば、各種のロール、ローラの補修のニーズは極めて多いことを洞察しており、最も難しい肉盛溶接の一つであること、かねてより言われていた鑄鉄の溶接肉盛実験を試みることとなり、試験を重ねることによって成功に到達したのである。

この成功をもたらしたものは、適切な製造プロセスの選択であることは言うまでもなく、その着想の経緯には後続する我々も感心する点が多く当時の苦勞が偲ばれる。発明、発見には、卓越した着想と執念があればこそと察せられるが、今や世界的な複合材の製造プロセス、C.P.C法の発明においても同様であると感じられる。

C.P.C法と命名される以前は、肉盛溶接法の名称で呼ばれ、肉盛溶接法を基にして開発されたプロセスであることが窺える。その呼称の変遷には歴史があり、重みがある。C.P.C法とは、Continuous Pouring Process for Claddingの頭文字をとり、連続注入クラッド法を略した呼称である。このようなことから、C.P.C法は溶接と鑄造の特性を兼備したクラッド材の製造プロセスであるとも判断される。

C.P.C法の礎である高速肉盛溶接法から、技術的改善によって高速鑄掛け肉盛溶接法が生まれ、C.P.C法となった、その変遷について紹介する。

2 高速肉盛法からC.P.C法への変遷

高速肉盛溶接法の肉盛材は鑄鉄系と鋼系の2種類があり、その原理¹⁾は次のように示される。

2.1 鑄鉄の高速肉盛溶接

(1) 鑄鉄の多層肉盛溶接は各層の境界に硬化帯が発生するので、均一な硬度を得るには一層で肉盛を構成する必要があるため、一層の表面が未だ凝固しないうちに次の溶融層を肉

盛し、これを反復、繰り返して肉盛をする必要がある

(2) 溶融鑄鉄の高温において酸化、還元反応が同時に起きるのは鑄鉄内にはCが飽和状態まで含有されているためであり、この飽和状態のCが全ての酸化還元反応にかかわり、酸化物を還元する

2.2 鋼の高速肉盛溶接

(1) 鋼は自己脱酸力を持たないため、溶融鋼の表面は溶融さい（ノロ）を構成して、大気中の酸素と遮断する必要がある

(2) 溶融鋼は種々のガスを吸収しており、凝固する際にガスを吐き出すので溶融部の湯の流動性を良好にして大気中に逃がしてやらないと肉盛層内に巣が発生する

この原理に基づいて開発した肉盛溶接法が高速肉盛溶接法であり、高速肉盛溶接法が鑄掛け肉盛溶接法を産みこれこそが現在のC.P.C法のルーツである。鑄掛け肉盛溶接法は焼結塊破碎用鬼刃、受け歯の補修などに現在においても継続採用されており、次のような変遷によってC.P.C法として技術的に確立された経緯がある。

2.3 変遷

表-1に変遷を時系列的に並べ、その作業内容および、設備概要²⁾を示す。また、設備概要を図-1~10に示す。

2.4 各溶接法の特徴

各肉盛溶接法は肉盛金属の供給の形態、熱源などによって概ね5つの変遷があり、その特徴として次のようなことが挙げられる。³⁾

(1) 槽式縦式肉盛溶接法および、縦式自動回転降下式肉盛溶接法

両肉盛溶接法は肉盛金属に大径の鑄鉄溶接棒を用いていること、熱源として、溶接棒自体によるアーク熱および補助的な熱源として炭素電極棒アークを利用していること、また、砂枠内において、肉盛金属である外層材が形成されることが共通点である。

槽式縦式肉盛溶接法は後の肉盛溶接法に比べ、多くの人手を要し極めて非能率的で、作業者の熟練度が高度に必要であった。縦式自動回転降下式肉盛溶接法は槽式に比べ改善はされているが、同様に作業者の熟練度は高度に必要であった。その後、肉盛金属に溶湯を用いた鑄掛け肉盛溶接法に移行するのである。

(2) 連続鑄掛け肉盛溶接法

溶湯を銅製の水冷ジャケット内の黒鉛モールドに注入す

ることおよび、熱源として炭素電極棒アークを利用していることが大きな特徴として挙げられ、飛躍的に技術的な改善が図れている。

(3) 自動制御式炭素電極アーク鋳掛け肉盛溶接法

自動制御の炭素電極のアーク熱を利用する方法で、母材の径および肉盛厚みによって炭素電極の配置数を決定する。

このままでは、熱源が点となることから、母材、耐火棒、水冷モールドを一体とした組み合わせ型を回転させることによって、アーク熱は円周方向において均一化される。当時は、エルー式電気炉にて所望成分組成材料を溶製し肉盛金属としており、本溶接法によって、さらに飛躍的に技術的な改善が図れている。

表-1 肉盛溶接法からC.P.C法への時系列的な変遷および、その概要

経緯	溶接法名称、作業内容および設備概要	図番
昭和34年7月	槽式縦式肉盛溶接 ① 鋳鉄大径溶接棒使用 ② 円形ビード棒 (砂棒) 継ぎ足し ③ 一層肉盛溶接 ④ 炭素電極棒アークによる熱補給 ⑤ 人力によるロールの回転 ⑥ 作業足場継ぎ足し上昇	1、2
昭和36年11月	縦式自動回転降下式肉盛溶接 ① 鋳鉄大径溶接棒使用 ② 半円形突き合わせ砂棒継ぎ足し ③ ロール自動回転上昇 ④ 作業位置地面	3
昭和40年11月	鋳掛け肉盛溶接 溶湯を砂棒内に注入	4、5
昭和42年1月	連続鋳掛け肉盛溶接法 ① 溶湯をモールド内に注入 ② 水冷式回転モールド ③ 銅製水冷ジャケット、黒鉛モールド使用	
昭和43年6月	自動制御式炭素電極アークによる鋳掛け肉盛溶接法	6、7
昭和44年12月	高周波誘導熱利用連続鋳掛け肉盛溶接法 (超高速鋳掛け肉盛溶接法) ① 高周波コイル内蔵耐火棒 ② 連続溶湯鋳込み ③ モールド回転なし	8
昭和48年	山陽工場竣工、本格的な設備設置、稼働開始	9
昭和51年	超高速連続鋳掛け肉盛溶接法をC.P.Cと命名	
昭和54年	C.P.C設備に予熱装置導入	
昭和55年	現在のC.P.C法の体系を確立 ① C.P.C法にガラスコーティング法の導入 ② 改良型芯出し装置の設置	10

備考：実用新案 第830886号 「縦式鋳鉄溶接および鋳掛け肉盛装置」
 第920270号 「肉盛溶接用中空水冷式回転冷却型」
 特許 第555715号 「回転降下式連続鋳込み肉盛溶接法」 発明協会長奨励賞受賞
 第552637号 「高周波電流を使用する連続肉盛溶接法」 発明賞受賞
 本特許は外国特許も取得
 アメリカ特許 第345372号
 イギリス特許 第1212689号
 イタリア特許 第819771号
 スウェーデン特許 第327058号

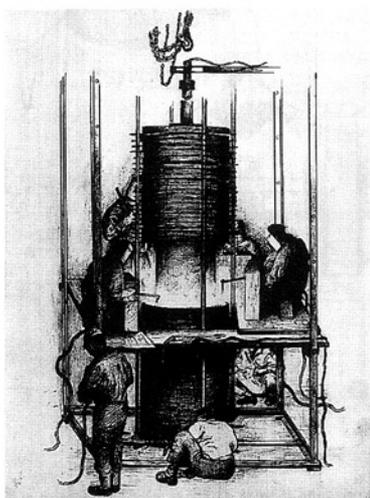


図-1 槽式縦式肉盛溶接作業

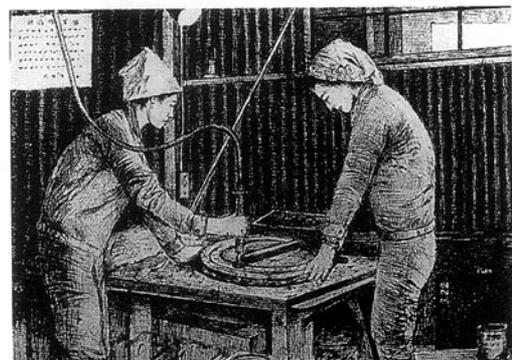


図-2 円型ビード棒砂詰作業



図-3 回転降下式肉盛溶接作業

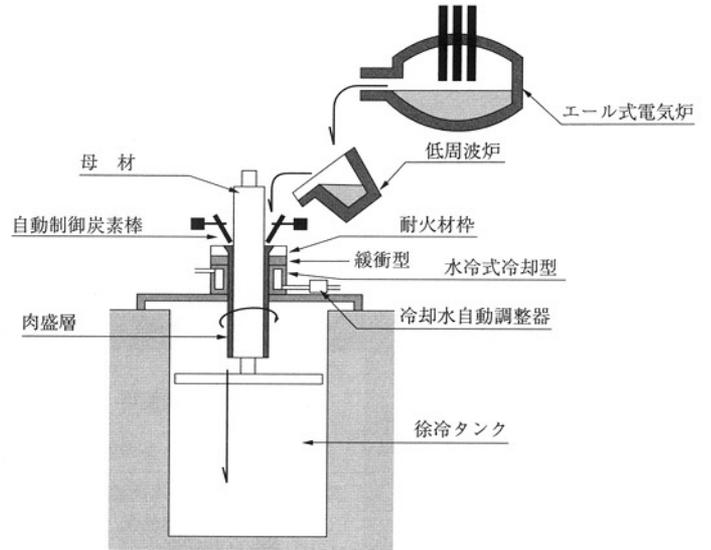


図-6 自動制御炭素電弧熱を利用する肉盛溶接法の概要図

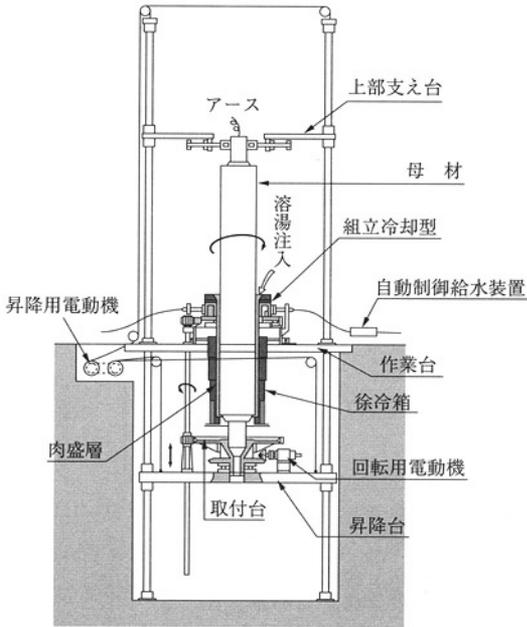


図-4 縦式肉盛溶接装置の概要図

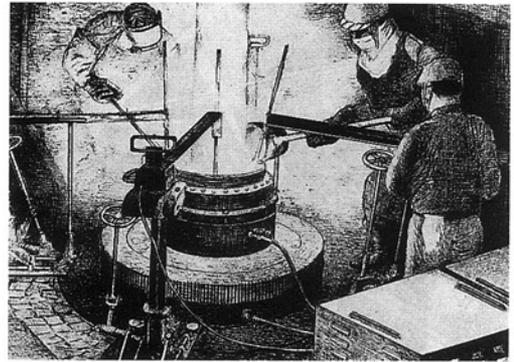


図-7 回転降下式自動アーク鋳掛け肉盛溶接作業



図-5 回転降下式鋳掛け肉盛溶接作業

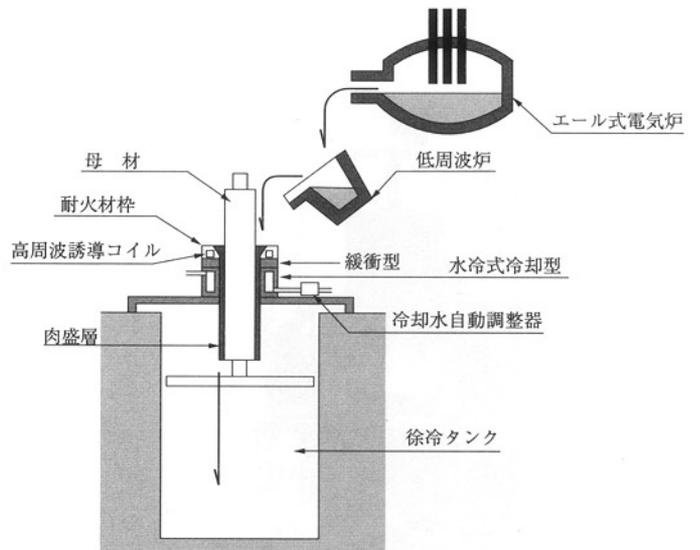


図-8 高周波誘導熱を利用する肉盛溶接法の概要図

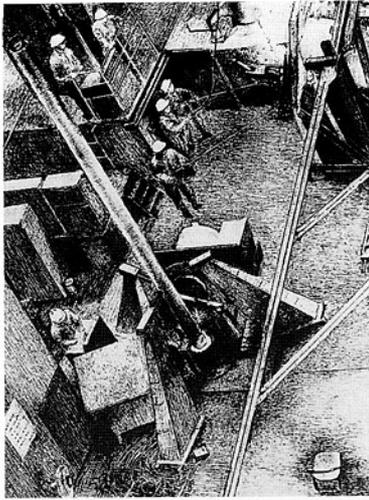


図-9 高周波使用の降下式連続鋳掛け肉盛溶接作業

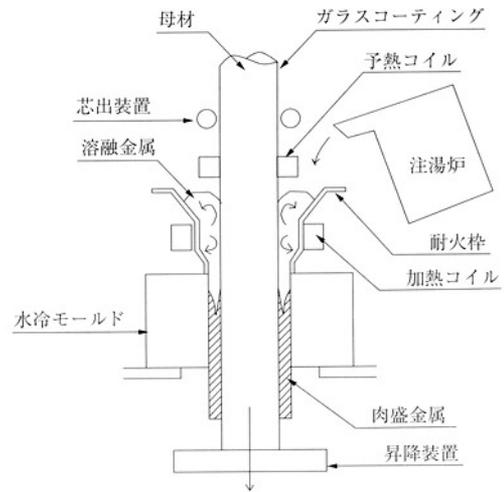


図-10 現在のC.P.C法の概要図

(4) 高周波誘導熱利用連続鋳掛け肉盛溶接法

高周波誘導熱によって溶湯を加熱しながら、母材と接合させる方法で極めて良好な品質で、高速肉盛が可能で大量生産に向けた肉盛溶接法である。耐火枠内に注がれた溶湯は高周波誘導加熱と同時に攪拌され、スラグなどの内部欠陥となりうる要因を浮上させることが可能である。このことが、大きな特徴の一つに挙げられる。当時もエルー式電気炉にて所望成分組成の材料を溶製し、低周波炉にて一定温度に保持しながら耐火枠内へ溶湯を連続的に注ぎ、断続的に引き抜くことで黒鉛モールド内において凝固シェルが形成され、肉盛溶接が進行するのである。高周波誘導加熱を利用することによって、さらに大きな技術的な改善がもたらされていることが認められる。

(5) C.P.C法については、現在のC.P.C法の項で説明する。

2.5 技術開発によって得られた成果の変遷⁴⁾

技術開発によって得られた成果の変遷について、ユニットロール(バレルサイズ、φ305×2100L)補修例を表-2に示す。表に示すように、各比較項目において、飛躍的な進歩が窺える。

3 現在のC.P.C法について

3.1 C.P.C法の特徴および設備の概要

現在のC.P.C法の特徴は次のようである。

図-10に示すように、中実または中空の母材をモールドと同芯にセットし、モールドと母材との間にクラッドしようとする熔融金属を鋳込み、高周波の誘導加熱により母材に融接させながら断続的に引き抜き複合材を製造するプロセスである。母材の表面には予め、特殊なガラスのパウダーをコーティングしておき、母材が上部にセットしてある予熱コイルを通過する際にガラスが熔融軟化され、母材の表面を清浄化、活性化し、健全な接合部をもつクラッド層

表-2 技術開発によって得られた成果の変遷

時期 比較項目	初期	中期		後期	
	昭和34年 ～昭和36年	初 昭和36年 ～昭和40年	終 昭和40年 ～昭和43年	初 昭和43年 ～昭和44年	終 昭和44年 ～昭和48年
方法	槽式縦式肉盛溶接法	縦式自動回転 肉盛溶接法	鋳掛け肉盛溶接法	自動制御式炭素 電極アークによる 鋳掛け肉盛溶 接法	高周波誘導加熱 利用連続鋳掛け 肉盛溶接法
肉盛材重量(kg)	510	478	326	274	274
肉盛材の 肉盛重量(kg)	277	277	277	238	238
肉盛材の 歩溜り(%)	54	58	85	87	87
溶接所要時間(h)	34	13	3.5	1.5	1
所要工数	78	33	12.5	6.3	3
製品歩溜り(%)	60	75	80	91	98
作業者に要する 技能の熟練度	極めて必要	極めて必要	少々必要	不要	不要

を構成することができる。C.P.C法に代わる以前と同様に、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（アーク溶接など）では不可能であった材質、例えば過共晶材などのクラッドも可能であり、肉盛金属が高カーボン材ほどやさしい組み合わせとなっている。また、予熱電源の設置およびガラスコーティング法の採用により、鋼を母材として鋼をクラッドする組み合わせにおいても品質の安定性が飛躍的にアップしている。

高周波誘導加熱を利用して以来、現在のC.P.C法は当時と比べて次のような大きな違いがある。

(1) 溶湯の中へ入る母材表面を予熱する予熱コイルを有していること

(2) 母材の表面には特殊なガラスのパウダーがコーティングされていること

C.P.C法によるクラッド材の外層材および境界部には次のような特徴がある。

(1) モールド側からの凝固シエルの発達が支配的で一方からの凝固組織である

(2) 凝固組織が従来の溶接肉盛法と同等に微細で、優れた機械的性質を有す

(3) 境界部を中心にした引張試験において、境界層からの剥離は発生せず、内外層のいずれか材力の劣る方で破断し、接合強度は大きい

(4) 境界部における内外層材の化学成分の遷移層が微小で、拡散層の影響が全くない

(5) 一層肉盛であるため、肉盛金属内における特性の変化が微小である

表-3 C.P.C設備の概要

ライン数	A、B 2ライン切り替え使用	
溶解炉	800kg 炉×2基 /ライン	
注湯炉	200kg × 1基 /ライン	
加熱電源	1基 920kW	A、B 2ライン切り替えて使用
予熱電源	1基 600kW	
昇降装置	1基 /ライン	

表-4 製造可能な形状および材質

製品の外径 (mm)	φ 100~780
製品の長さ (mm)	Max. 8,000
製品の重量 (kg)	Max. 15,000
肉盛厚み (mm) (実績)	中空母材：15~85 中実母材：20~130
母材材質	普通鋼 特殊鋼（強靱鋼など）
肉盛材質	鋳鉄、特殊鋳鉄 特殊鋼 ステライト等の非鉄材料

C.P.C設備の概要を表-3、製造可能な形状および材質を表-4に示す。また、C.P.Cの状況を図-11に示す。

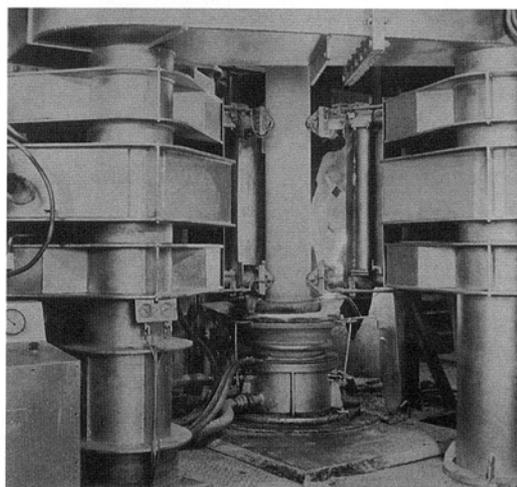


図-11 C.P.Cの状況

3.2 他の代表的なクラッド材の製造法との特性比較⁵⁾

C.P.C法は他の製造法との特性の比較を表-5に示すように優れた特性を有し、高能率のクラッド材の製造プロセスである。

表-5 他の代表的なクラッド材の製造法との特性比較

肉盛法	C.P.C法	サブマージドアーク溶接法	エレクトロスラグ肉盛法
熱源	誘導熱	アーク熱	ジュール熱
溶接材	溶融金属	溶接ワイヤー	溶接ワイヤー
肉盛方法	単層肉盛	多層肉盛	単層肉盛
肉盛材の範囲	非常に広い	狭い	広い
硬さムラ	少ない	多い	少ない
肉盛速度	1,000kg/h	10kg/h	100kg/h

3.3 C.P.C法による製品例

現在のC.P.C法による主要な製品は製鉄所における熱延ラインの搬送ローラ、コイラーロールであり、最近ではワークロールも手掛け徐々に拡販が図れている。中でも、熱延ランナウトテーブルローラは、国内外の製鉄所に広く採用されており、使用特性において優れた耐焼き付き性、耐磨耗性を有し高い評価を受けている。

ワークロールについては、薄板のみならず形鋼の分野においても進出し優れた特性が確認されつつある。

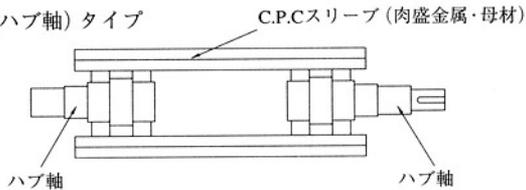
代表的なロール、ローラに適用している外層材およびその構造について表-6に示す。

各種のロール、ローラの代表的な構造を図-12に示す。

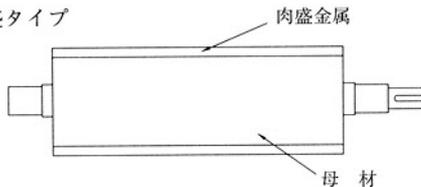
表-6 代表的なロール、ローラ材と構造

ロール、ローラの種類	外層材	構造
熱延粗テーブルローラ	6~13%Cr鋳鋼	直盛タイプor スリーブ焼嵌めタイプ
熱延ランナウト テーブルローラ	高Cr~高V系特殊鋳鉄	中空ハブ軸嵌合タイプ
熱延コイラーロール	7%Cr鋳鋼、 高耐食性ハイス	直盛タイプor スリーブ焼嵌めタイプ
熱延ワークロール	高炭素ハイス	直盛タイプ
形鋼ワークロール	高炭素ハイス	直盛タイプor スリーブ焼嵌めタイプ

●中空（ハブ軸）タイプ



●中実直盛タイプ



●C.P.Cスリーブ焼嵌めタイプ

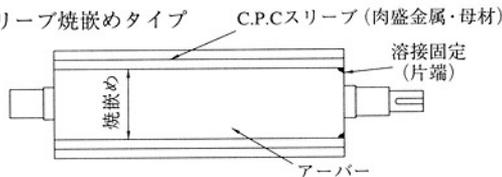


図-12 C.P.C製ロール、ローラの構造

4 まとめ

C.P.C法は当社が開発した。このプロセスは世界中で他に類を見ない画期的なオリジナル技術であり、我々の誇りとするものである。基本技術の連綿とした変遷の底流には開発精神に溢れた着想と実験の積み重ねがある。

C.P.C法の基本技術がほぼ確立した後も、その工業的実用化のためには一つ一つの治工具、個々の作業に至るまで数々のノウハウが込められている。C.P.C法は、特性の優れたクラッド材の製造法として、国内外に注目されている。この特殊な技術をブラッシュアップすることによって、C.P.C法の適用を拡大したいと考えている。

ロール、ローラにおいても顧客のニーズに合わせた使用特性の向上を図る所存である。

また、ロール、ローラ以外にも目を向け、高機能材料が求められる時代の中でC.P.C法のさらなる発展を期したい。

参考文献

- 1) 「二十年の歩み」：(株)富士工業所編(1975), p.163
- 2) 同上, p.175
- 3) 同上, p.165
- 4) 同上, p.177
- 5) 同上, p.114



高耐食性ハイス材熱延コイラーロール

1 緒言

当社C.P.C製熱延コイラーロールは、国内外の製鉄所において、広く適用されている。熱延ラインのロール、ローラに要求される特性は、熱延ラインの高速化、生産品種の多様化および圧延材の高品質化などによって、さらに、高級化が進行しつつあり、昨今では、ハイス材をワークロールに適用することによって、飛躍的に圧延効率がアップしている。圧延ロールについて、熱延ラインの効率に及ぼす影響の大きいコイラーロールにおいても、耐用の向上が必要となっている。

このようなことから、優れた耐摩耗性が期待されるハイス材をコイラーロールに適用し、好成績が得られたので、その結果を紹介する。

2 コイラーロール材としての考え方

2.1 コイラーロールに必要な特性

- (1) 耐焼き付き性 (2) 耐食、耐摩耗性
- (3) 耐肌荒れ性 (4) 耐打ち疵性
- (5) 耐熱衝撃性

これらは、いずれも重要な特性で、十分でない場合、コイル表面に悪影響を及ぼすだけでなく、圧延効率の低下をもたらすこととなる。コイラーロールの必要特性をハイレベルに向上することを目的として、ハイス材をコイラーロールに適用することを試みた。

ハイス材の特性として、マイクロ組織中に高硬度のM₂C、MCなどの炭化物を有し、優れた耐摩耗性がある。ハイス材は、通常、主として高温においてドライで腐食しにくい雰囲気中で切削工具などとして使用される。高温で、そのような特性を有することから、ハイス材は耐熱鋼の一種であるとも見做される。しかし、ハイス材を熱延ラインのコイラーロールとして使用する場合、ワークロールとは異なる温度条件下で、使用環境がウェットおよび高温過熱水蒸気雰囲気中であり、ロール表面は腐食され易い環境にある。また、コイラーロールはコイルに押し付けられることによって、急激で顕著な温度上昇もあり、腐食摩耗を起し易いことが想定される。このようなことから、ハイス材の高耐食性化に着目し、腐食試験、熱間焼き付き試験、常温摩耗試験、高温摩耗試験を実施することによって材質を選定し、実機ラッパーロールに適用した。

2.2 オフライン試験の結果

2.2.1 オフライン試験の材質

オフライン試験材の主要な化学成分の組成を表-1に示す。

表-1 オフライン試験材の化学組成

元素	C	Cr	Mo	V	W	Co	Ni	特記事項
FKC701系 (ハイス材)	1.8 ~2.4	3.5 ~7.0	4.5 ~8.0	4.5 ~8.0	3.5 ~7.0	1.0 ~4.5	—	熱延WR材 (Hs80~85)
FKS407 (現用材)	0.50 ~0.55	7.0 ~7.5	1.0 ~2.0	0.2 ~0.3	—	—	1.0 ~2.0	コイラーロール材 (Hs70±5)
FKC711 (ハイス材)	低	↗	→	→	→	↗	—	開発材 (Hs70~75)
FKC721 (ハイス材)	中	↗	↘	↗	↘	→	—	開発材 (Hs80±5)

FKC711、721材の化学組成は現在、特許出願につきFKC701系と比較して示す。

2.2.2 腐食試験結果

試験条件を表-2、試験結果を図-1に示す。

表-2 試験条件

試験方法	浸せき法	試験温度	60°C
試験片寸法	20×30×3mm	試験時間	100h
腐食液	熱延冷却水	評価	腐食減量 (mg/dm ²)

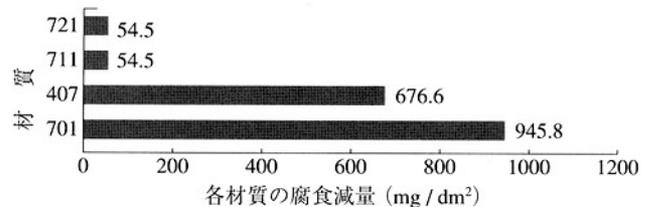


図-1 腐食試験結果

2.2.3 熱間焼き付き試験結果

試験条件を表-3、試験結果を図-2に示す。

表-3 試験条件

試験方法	円筒ブロック スリップ試験	試験片冷却	なし
試験片寸法	ブロック 10×10×20mm 円筒 φ100×10t (相手材)	押付荷重	196N
		滑り速度	1.0m/s
		トルク上限値	5.0N・m
相手材(加熱)	S45C	試験時間	600s
加熱温度	800°C	評価	トルクオーバー までの時間

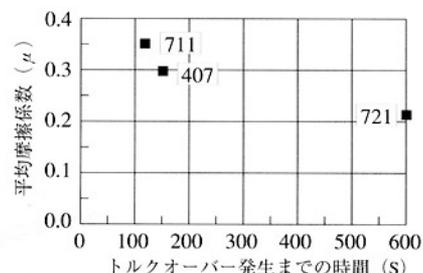


図-2 熱間焼付試験結果

2.2.4 常温摩耗試験結果

試験条件を表-4、試験結果を図-3に示す。

表-4 試験条件

試験方法	エメリーパーディスク	押付荷重	9kg
	摩耗試験	回転数	150rpm
試験片寸法	10×10×20mm	試験時間	10min
ディスク径	φ120	評価	腐食減量 (mg/dm ²)
ペーパー粗さ	#220		

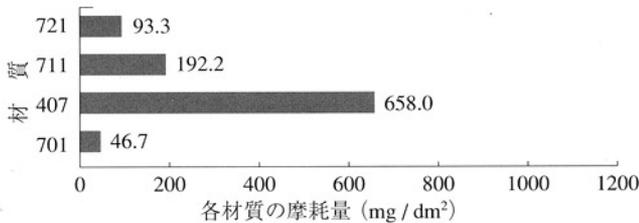


図-3 常温摩耗試験結果

2.2.5 高温摩耗試験結果

試験条件を表-5、試験結果を図-4に示す。

表-5 試験条件

試験方法	二円筒摩耗試験	滑り速度	0.13m/s
試験片寸法	φ100×10t	滑り率	5%
相手材質(加熱)	S45C	試験時間	3h
加熱温度	800°C	評価	摩耗容積 荷重×滑った距離 (mm ³ /Nm)
試験片冷却	水冷あり		
押付荷重	98N		

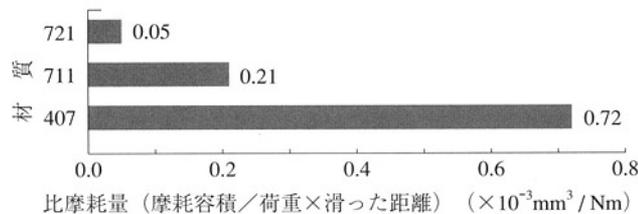


図-4 高温摩耗試験結果

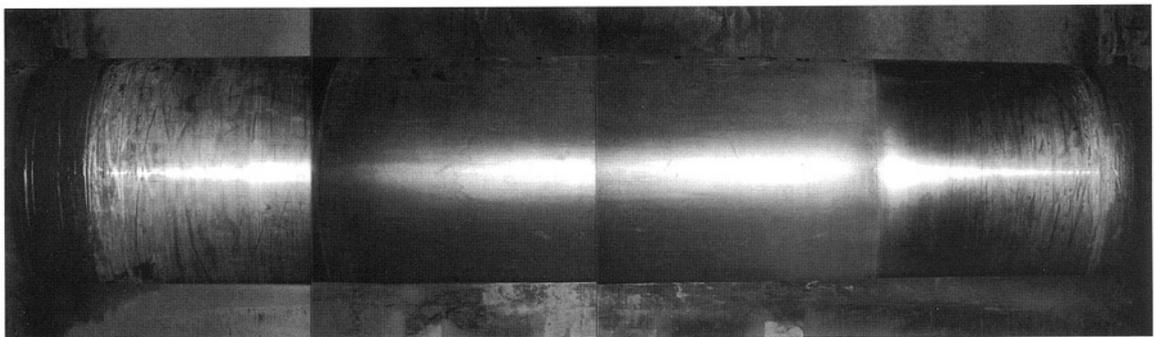


図-5 FK711材ラッパーロールの表面の状況

2.2.6 オフライン試験結果のまとめ

以上の試験結果は、次のようにまとめられる。

- (1) FK711、721材は高耐食性ハイス材であり、腐食摩耗に対して優れた特性が見込める。
- (2) FK711、721材は、既に適用されている材質以上の耐焼き付き性を有していることが認められる。

- (3) 常温および、高温においてFK711、721材は非常に優れた耐摩耗性を有することが認められる。

3 実機ロール適用の結果

FK711材を実機ラッパーロールへ適用した結果について、以下に示す。

3.1 実機適用の結果1 (FKS407材との比較)

巻き取り、10⁵トン当たりの摩耗 (普通鋼圧延ライン)

FK711: φ0.30 FKS407: φ0.80

耐摩耗比 (φ0.80/φ0.30) : 2.7倍

3.2 実機適用の結果2 (他社材との比較)

巻き取り、10⁵トン当たりの摩耗 (普通鋼および特殊鋼圧延ライン) 無注水巻き取りあり

FK711: φ0.66 他社材: φ1.08

耐摩耗比 (φ1.08/φ0.66) : 1.6倍

3.3 FK711材ロールの代表的な表面状況

代表的なロールの3ヶ月間使用後の表面状況を図-5に示す。

黒錆支配で焼き付きは全く発生しておらず、肌荒れや打ち疵等もほとんど観察されず、良好な表面性状である。

4 まとめ

(1) ラッパーロールにおいて、FK711材の優れた耐用を確認した。前記適用以外にも、優れた耐用が確認されつつある。

(2) オフライン試験において、FK711より、さらに、優れた特性を有するFK721材の実機適用を推進しており、その結果が期待される。

(3) 今後もさらに、ハイス材コイラーロールの拡販を期待しており、ピンチロールにも適用を拡大したいと考えている。

[問い合わせ先]

本社 CPC技術開発室 (山陽工場駐在)
Tel. 08654(4)5151 坂本 眞一

革新的超硬(WC)系サーメット溶射技術

1 いきさつ

溶射はドライプロセスの表面改質であること、および材料の選択可能範囲が広いことだけでなく、基材の再使用が可能であるということ、つまり補修施工が何回でもできるという大きな長所を有している。このために広く実用化が進行しつつあるが、唯一の泣き所は皮膜が剥離しやすいことである。溶射皮膜の密着性はクロムメッキにはるかに劣るといわれてきており、上記の長所があるにもかかわらず、耐摩耗材料への適用は使用中に剥離が起こらないところ、つまり負荷の小さい安全なところに限定されてきた。

そこで当社では、この数年間、製鉄プロセスロールで最も多く使用されている炭化タングステン(WC)系、あるいは超硬系ともよばれるサーメット溶射皮膜の密着性をこれまでより格段に向上させるための研究を行ってきた。^{1) 2)} その結果、本号²⁾にも報告したように、クロムメッキ並みの密着性とクロムメッキよりすぐれた耐摩耗性を兼ね備えた新しい溶射の技術開発に成功した。これは従来の「剥離しやすい溶射」という概念を根底から塗り替えるものであり、製鉄プロセスロールの溶射化がさらに加速することが大いに期待される。

新しく当社が開発した溶射の特徴をクロムメッキと比較すると表-1のようになる。この新技術の中身を詳細に説明することはできないが、その特性、仕様、どのようなところに適用できるかなどについて以下に紹介する。

表-1 当社の溶射とクロムメッキの特徴比較

項目	当社の溶射	クロムメッキ
皮膜材質	炭化タングステン(WC)系 サーメット	硬質クロム
皮膜厚さ(μm)	20~500程度	1~数100
皮膜特性		
・密着性	クロムメッキと同等	圧延ロールにも適用可
・ピッカーズ硬さ	Max.1400	Max.1100
・耐摩耗性	クロムメッキの数倍程度	鋼の数倍
・耐食性	クロムメッキより若干劣る	ステンレス鋼と同等以上
・耐押し込み 疵性	(同上)	ほぼ金属並み
・使用可能 温度範囲	熱膨張率が基材より小さい ので、200℃程度以上では 割れが生じることあり。 高温での硬さ低下は小さい。	熱膨張率が金属並みなので、 熱応力割れは生じない。 200℃程度以上の温度にさら されると硬さが低下する。
基材寸法	制限なし	メッキ浴槽寸法により制限
基材の再使用 (補修)	可能	可能

2 新溶射技術の特徴

2.1 皮膜特性

新しい溶射皮膜の密着性、耐摩耗性などの特性データは文献^{1) 2)}を参照して頂きたい。

基本的には、溶射材料がWC系のサーメットであるから、クロムメッキのような耐食性、または耐酸化性を要求される場所は最初に対象から除かねばならない。また、基材である鉄との熱膨張係数の違い、およびWCの酸化が500℃付近から始まることから、熱間での使用は難しい。しかし、室温付近での耐摩耗性皮膜としては断然有利となる。そして、本号²⁾に紹介したように、この溶射は大きな応力を受ける調質圧延のワークロールにさえ皮膜剥離の恐れなく使えるのであるから、製鉄プロセスロールのほとんどが適用対象であるかのように思われる。しかし、中には異物の飛び込み、あるいは衝撃などが加わったり、腐食などの化学的因子が同時に作用するような種々の環境があり、実際にはそれらに耐え得るかどうかは実環境でないと評価が難しい。つまり、実験室でのある特定条件下での特性が優れていても、実機では使用条件が千差万別であるので、同じ結果になるとは限らないのである。

2.2 溶射に要する費用

次に、重要な溶射のコストについては、要求される仕様によっても変動するが、膜厚が大きい場合、あるいは溶射後研磨仕上げをせねばならない場合を除けば、クロムメッキより高くはなるが、それほど大きな差はないといえる。加えて、剥離の問題がなく、寿命が数倍以上に延長できれば、この表面改質技術はクロムメッキに代わって今後著しく進展することは十分予測される。

2.3 適用対象ロール

具体的に有望なロール名は冷延、焼鈍、酸洗、メッキ、冷延精整(スリット、シアー、リコイリング)などの各ラインにある次のようなものである。

調質圧延(スキンパス)ワークロール
デフレクター
ピンチロール
ブライドルロール
ワイパーロール など

製鉄プロセスロールの表面改質技術として溶射が適しているのは、その膜厚から、摩耗深さが、0.1mm程度以上になると取替ねばならないロールであろう。摩耗深さが1mm程度でも使用できるロールには溶接肉盛などの方が

適していると考えられる。

参考までに、ロールへの溶射施工状況の例を図-1に示す。

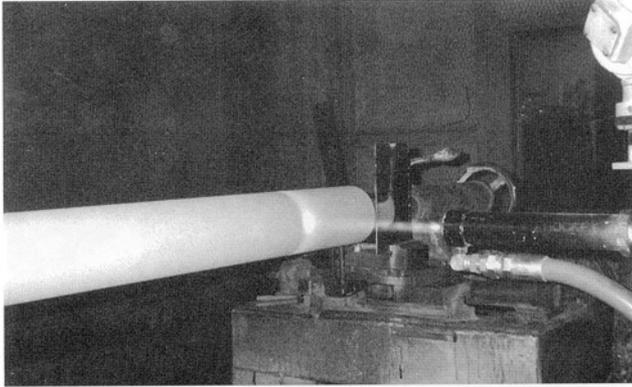


図-1 ロールへの溶射施工状況

3 高密着性の原理

新しく開発した溶射皮膜の密着性がこれまでに比べて格段に高い原因の一つは、基材との界面構造にある。それは図-2の例に見られるように、WC粒子が基材に食い込んでおり、極めて強固な機械的結合をしていることがわかる。また、この構造から、WCを包んでいるCoが基材とある程度の金属結合をしている可能性すら伺える。このような皮膜構造は溶射粒子が基材に衝突する時の温度と速度を制御することにより得られるのである。

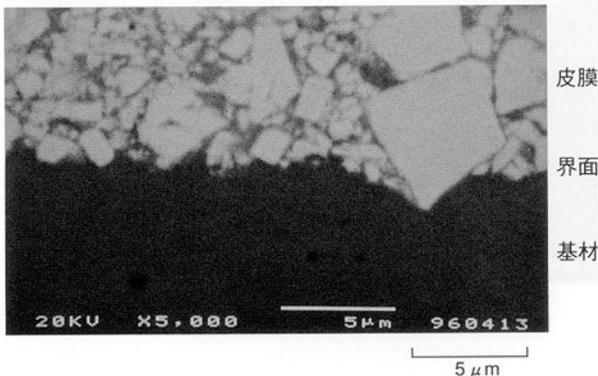


図-2 溶射皮膜と基材の界面構造

4 皮膜の製造仕様

4.1 皮膜組成

皮膜組成として、WCのバインダーの種類は、主にCoが用いられるが、用途に応じてNi、Crも用いられ、Ni、CrはCoより耐食性が優れているといわれる。バインダーの量は9~25Wt.%の間で選定されるが、その量が少ない、つまりWCが多いほど耐摩耗性が優れている。

4.2 膜厚と表面仕上げ

溶射皮膜の厚さは最低20 μ mであり、最大は500 μ m程度である。これ以上の厚さにすることは可能であるが、皮膜内に蓄積する残留応力が高くなるばかりでなく、溶射費用が高くなり、非経済的である。

製品の表面仕上げとしてはAs Spray (溶射まま) から鏡面研磨まで可能である。As Sprayの表面粗さは3~6 μ mRaであるので、これより小さい粗さにするには研磨工程が必要になる。

5 まとめ

クロムメッキ並みの密着性とクロムメッキより格段に優れた耐摩耗性を兼ね備えた、従来に比べると革新的な性能を有する超硬(WC)系サーメットの溶射技術を開発した。今後はラボで得られたこれらの特性を実機で確認するとともに、これまで皮膜の密着性が不十分なために溶射が適用できなかった製鉄プロセスロールを長寿命化して、省力化とコスト節減に寄与していきたい。

参考文献

- 1) 加藤 治, 尾崎健一, 洲崎真二, 吉村武憲: フジコー技報, No.3(1995), p.5
- 2) ibid. No.4(1996), p.15

ステンレス鋼板CGライン・ビリーロール

1 はじめに

ステンレス鋼板CGライン（コイルグラインダーライン）は図-1に示すようにステンレス鋼板に回転するベルトグラインダーを押しつけステンレス鋼板表面の疵を除去する設備であり、鋼板のバックアップに使用されるビリーロールにもベルトグラインダーが接触し激しい研削摩耗を受ける。

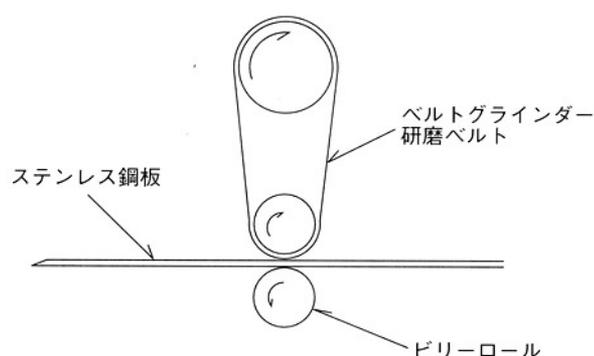


図-1 CGライン概略図

発生した研削摩耗疵はステンレス鋼板に転写するため、ビリーロール表面には耐摩耗対策が必要となる。

従来、このビリーロール表面には摩耗対策として硬質クロムメッキまたは、炭化タングステン系の溶射が施されていたが満足する耐用には至っていない。

そこで当社では同じ炭化タングステン系ではあるが溶射粒子が基材に衝突する時の温度と速度を制御することにより、今までに無い特性を有した溶射皮膜を開発し¹⁾ビリーロールに適用した。

2 開発溶射皮膜の特徴

当社開発の溶射皮膜のSEM像を図-2に、また従来の溶射皮膜のSEM像を図-3に示す。開発溶射皮膜の主な特徴を挙げると次の通りである。

- (1) 圧延ロールにも適用可能な高い密着力¹⁾
- (2) 焼結超硬に類似した緻密な組織構造¹⁾
- (3) 従来溶射皮膜に比べ脆弱な複合炭化物が少ない²⁾
- (4) Hv1400にもおよぶ高い硬度

3 従来ロールと開発溶射ロールの比較

表-1は従来ロールと開発溶射ロールの比較を示したもので、図-4および図-5に2ヶ月使用後の従来ロールと開発

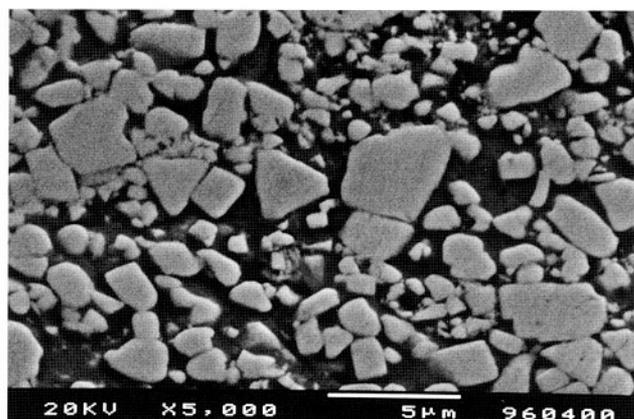


図-2 開発溶射皮膜SEM像

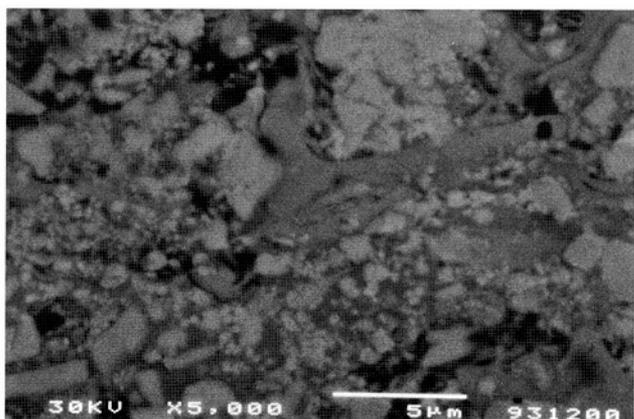


図-3 従来溶射皮膜SEM像

表-1 従来ロールと開発溶射ロールの比較

	Crメッキ	従来溶射	開発溶射
摩耗量	300以上	50~90	10~20
摩耗肌	6~23	18~80	2~4

摩耗量：-ロール径 μm / 60日

摩耗肌：表面粗さ R_{max} / 60日

溶射ロールの外観を示す。

従来使用されているクロムメッキロールは2ヶ月間使用し摩耗が大きく取り外される。また、従来溶射ロールは軽微な摩耗であるが摩耗面の表面粗さが粗く2ヶ月間の使用にて再研磨が必要となる。

当社開発溶射ロールは2ヶ月間使用しても従来溶射ロールより、さらに軽微な摩耗であり摩耗面の粗さも滑らかに

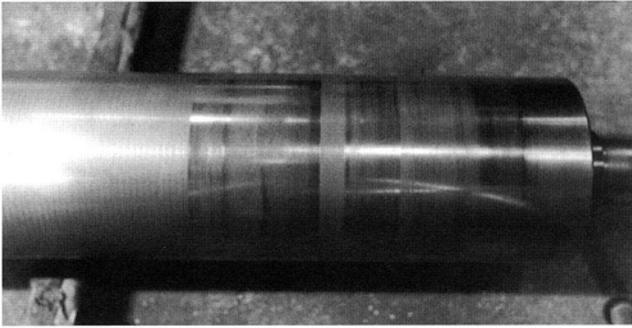


図-4 2ヶ月使用後の従来溶射ロール

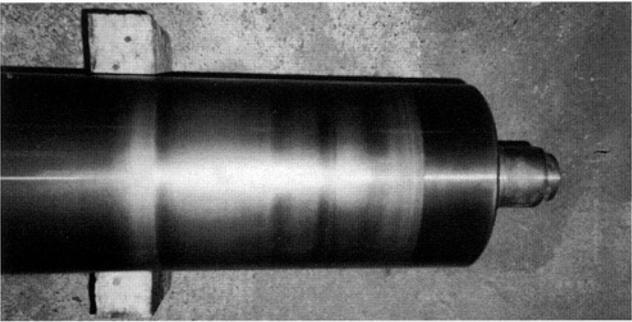


図-5 2ヶ月使用後の開発溶射ロール

摩耗している。開発溶射ロールにより4ヶ月～6ヶ月の連続使用が検討されている。また、摩耗面の粗さが問題となる仕上げ前ビリーロールへの適用も考えられる。

4 まとめ

当社開発の溶射皮膜をステンレス鋼板CGラインに使用されているビリーロールに適用し、以下の実績が得られた。

- (1) クロムメッキロールの数10倍の耐摩耗性
- (2) 従来溶射ロールの2～9倍の耐摩耗性
- (3) 2ヶ月使用後の摩耗肌が他ロールに比べ滑らか

この開発溶射皮膜は溶射粒子が基材に衝突する時の温度と速度を制御することにより成膜されたもので、圧延ロールにも適用可能と考えられる高い密着力と焼結超硬に類似した緻密な組織を有し、ビリーロール以外の従来の溶射皮膜では剥離、摩耗に問題がある製鉄プロセスロールにも適用可能である。

参考文献

- 1) 加藤 治, 尾崎健一, 洲崎真二, 吉村武憲：フジコー技報, No.4(1996), p.15
- 2) 加藤 治, 尾崎健一, 洲崎真二, 吉村武憲：フジコー技報, No.3(1995), p.5

[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 林 慶治
 尾崎 健一



熱延精整ライン・形状計ロール

1 はじめに

製鉄プロセスロールに用いられる表面改質法を、その成膜厚さにより区分すると、C.P.C、溶接、表面焼入れ、溶射、クロムメッキなどが挙げられる。なかでも、溶射による表面改質が近年拡大しつつあるが、当社では、高速フレーム溶射法を基に開発した新溶射技術により、形状計ロールを製品化してすぐれた成績を挙げているので、ここに紹介する。

2 使用結果

2.1 形状計ロールについて

形状計ロールとは、熱延精整スキンプスラインの最終工程に位置し、製品板の形状を監視する測定器に製品を案内するためのロールであり、測定誤差に影響するクリアランスを一定に保ち、また製品に疵をつけないことが必要特性となる。つまり、搬送ロールではあるが、すぐれた耐摩耗性と耐肌荒れ性が求められる。そこで、これらの必要特性を満たすために、高速フレーム法によるWCサーメット溶射が用いられている。

2.2 施工条件

表-1に当社での形状計ロールの溶射仕様を、また図-1にその施工状況を示す。

表-1 溶射仕様

	仕 様
溶 射 法	高速フレーム溶射法
溶 射 材	WC-C o
膜 厚	75~100 μ m
面 粗 度	Ra 1.5 μ m

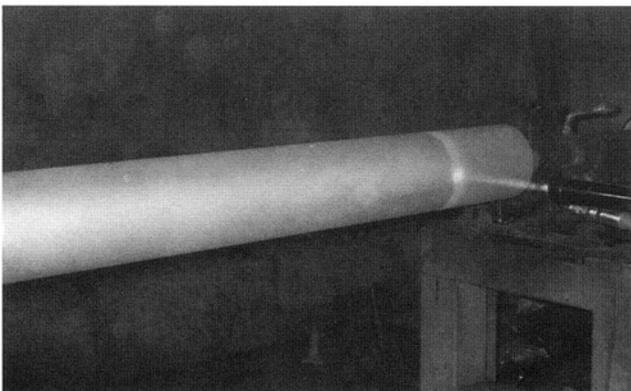


図-1 形状計ロールの施工状況

2.3 使用成績

当社製品の使用成績を他社のそれと比較して表-2に示す。他社製の溶射ロールはいずれも1年以内に摩耗、クラック、または剥離により取り替えられているが、当社製ロールは1年3ヶ月使用後も異常が見られない。使用後の当社製ロールを図-2に、また他社製ロールを図-3に示す。

表-2 使用結果一覧

施工メーカー	使用期間	状 況
フジコー	約1年3カ月使用	摩耗およびクラック発生なし
A 社	約1年	摩耗および端部クラック発生
B 社	約1年	端部クラック発生
C 社	約3カ月	剥離発生

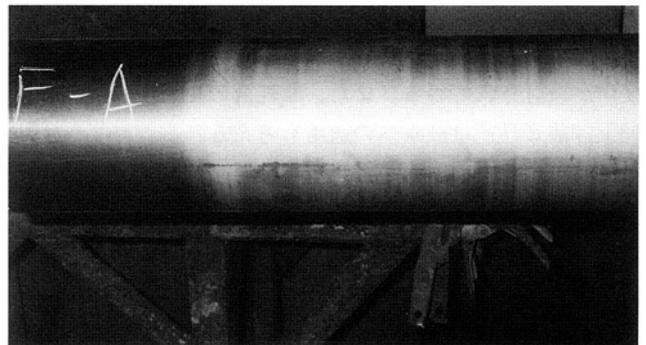


図-2 当社施工形状計ロールの使用後の外観

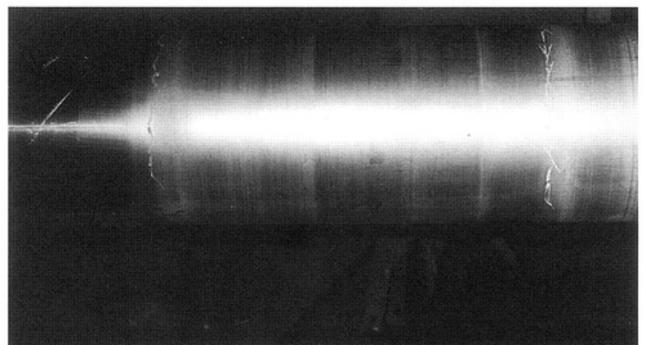


図-3 A社施工形状計ロールの使用後の外観

次に、摩耗量をロール径の基準値との差として測定した結果を図-4に示す。この図から、他社製のロールは通板エッジ（板端）付近の摩耗があるのに対し、当社製のロールにはまったくそれが認められないことがわかる。

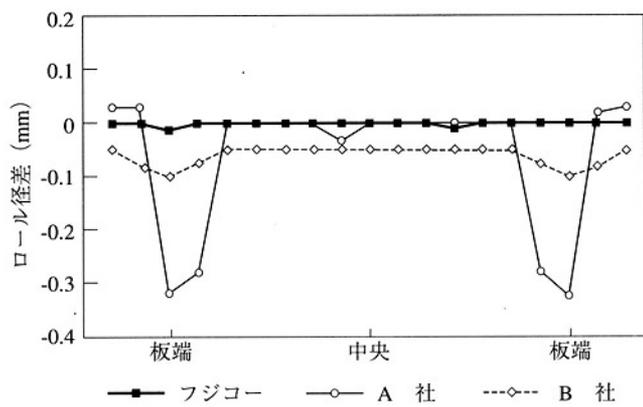


図-4 使用後ロールの径差測定結果

3 まとめ

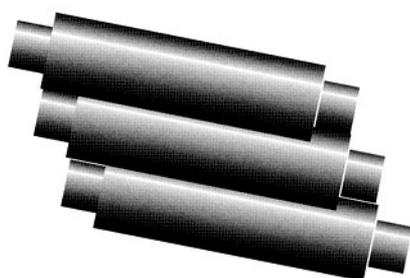
新しい高速フレーム溶射法によるWC-Co系皮膜を形状計ロールに適用したところ、密着性および耐摩耗性にすぐれ、著しく耐久性が向上したことを紹介した。本ロールは比較的軽負荷を受けるものであるが、今後はさらに高負荷を受ける製鉄プロセスロールにまで適用範囲が拡大することが期待される。

[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 林 慶治

尾崎 健一



ロッドミル・ロッドバー自動交換装置

1 緒言

ロッドミルは、ミル内の「ロッド」と「被処理材料」の衝突を利用した粉砕設備である。そのためロッドバーは損耗が激しく、消耗品として定期的な交換が必要となっている。

そこで、ロッドバーの交換作業では狭隘場所のためミル内の人力作業を余儀なくされ、ミルの操業上最も過酷な作業（「粉塵」・「重筋」・「狭隘」）として認知され、長年の間、この作業をどのようにして合理化するかが各職場の主要課題であった。

しかしながら、この作業における自動化設備としては従来から種々発案、試作されてはきたが、廃品ロッドの「不均一さ」や「積層状態の不整さ」のため、なかなか実用化には至っていなかった。

そこで、本装置は「NKK/京浜製鉄所」殿との共同開発テーマとして取り組んだものであり、センサー技術とデジタル技術とを利用し、ロッドの吊上げ状態を常に判定、認識させることによって「確実」かつ「安全」な自動化設備として実用化に成功したものである。なお本装置に関して当社とNKKの共同特許として出願中である。

2 特徴

図-1は本装置の外観写真を示したもので、次のような特徴を有している。

(1) 廃品ロッドの排出時、ロッドの山積状態に影響されないように電磁マグネット方式を採用している。

(2) マグネットによる確実かつ安全な吊上げを実現するため、着磁効果を確認するセンサーと片吊りを認識するセンサーを内蔵している。

(3) マグネットの着磁最適高さはセンサーによって常に補正認識されるので、ロッドの山積高さの変化に的確に対応する。

(4) ロッド吊上げ時の安全確保のため「落下防止爪（機械的保持機能）」を装備し、停電等のアクシデントの発生時でもロッドの落下を防止している。

3 設備動作

図-2は本装置の搬入から搬出までの一連の動作を示したもので、ロッドの山積状態に影響されずに、確実かつ安全に搬入、搬出することができる。

4 設備仕様（一例）

（ロッドバー材）

(a) 材質：磁性体の丸鋼

(b) 搬入用ロッドバー：φ90×約4,000mm（約200kg/本）

(c) 搬出用ロッドバー：φ60×約4,000mm（約90kg/本）

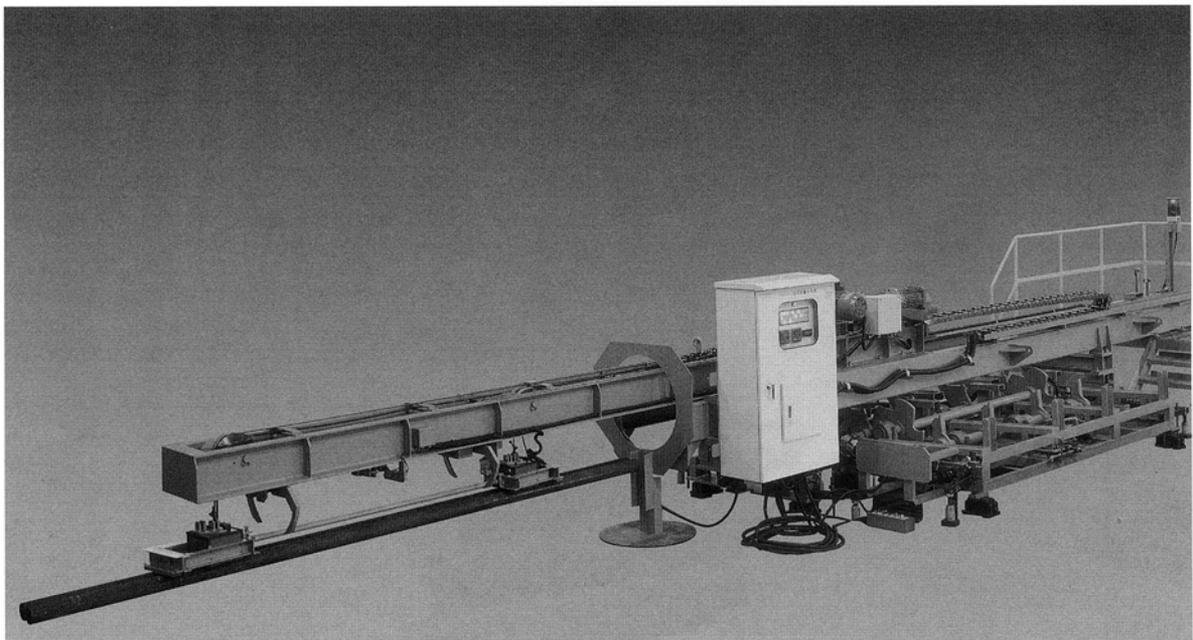
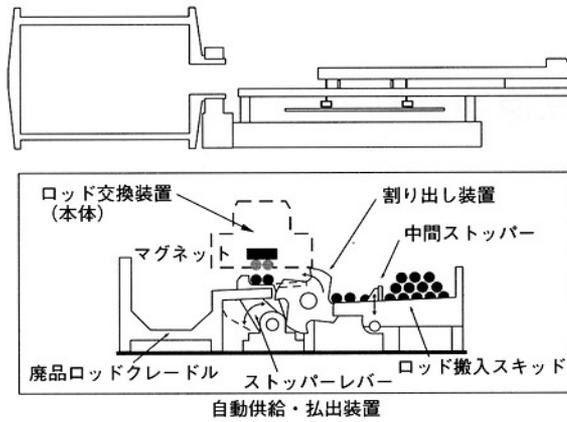


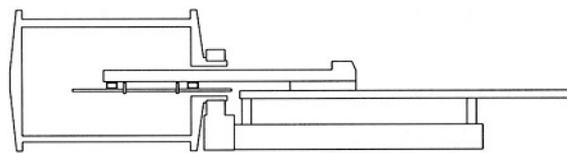
図-1 ロッドバー自動交換装置の外観

搬入・搬出時



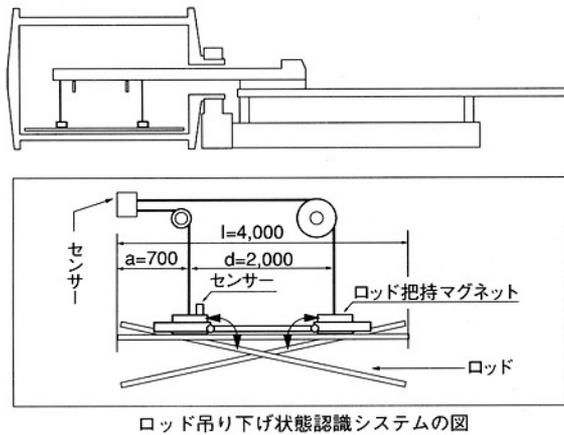
本体待機位置で、電磁マグネットが降下し、ロッドバーを着磁上昇又は脱磁解放する。この時、内蔵センサーの連動によって、着磁及び解放状態を確実に実現する。

ミル内へ移動



予備動作として、「落下防止爪」を閉じ、移動時の安全性を確保した上でロッドミル開孔部を通り、規定位置へ正確に移動させる。

ミル内ロッド設置および引き上げ



内蔵センサーの自動判定機能によってミル内ロッドの山積高さの変化に関わらず、ロッドの自動引き上げ又は、自動投入を行う。この時、もし、着磁エラーによって、昇降不能の場合は、3回まで再試行のうえ停止し、エラー表示を行う。

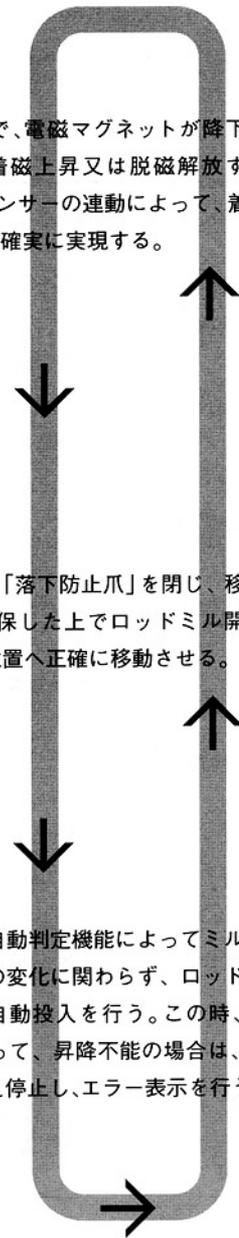


図-2 ロッドバー自動交換装置による搬入から搬出までの動作

(交換装置本体)

- (a) 台車移動距離：6,750mm
- (b) マグネット昇降距離：max 1,200mm
- (c) 落下防止爪の開閉時間：約3秒
- (d) ロッドバー搬送本数：1~3本/回
- (e) サイクルタイム：約75秒
- (f) 重量：約3,000kg

(ロッドバー供給・払出装置)

- (a) 供給割出本数：2本/回
- (b) 供給材料ストック量：約2,000kg/ロット (10本)
- (c) 払出材料ストック量：約2,700kg/ロット (30本)
- (d) 重量：約1,000kg

5 結言

以上ロッドバー自動交換装置の概要を紹介した。本装置の採用によりロッドバーの交換作業の効率化はもとより、過酷な作業から解放されるなど大きな効果を上げている。また本装置はそれぞれのニーズに応じた設計製作が可能である。

[問い合わせ先]

仙台工場
Tel. 0223(24)2450 植田 勝裕
産機技術室
Tel. 093(871)3724 宮戸 紘

ノンスリップ高速連続型伸線機

1 緒言

金属線を減面し細線にするには冷間引抜加工が行われ、その加工機械を伸線機と称している。伸線機には、単頭伸線機、貯線式ノンスリップ型連続伸線機、ストレート式ノンスリップ型連続伸線機、タンデム式スリップ型連続伸線機、コーン式スリップ型連続伸線機等がある。

当社の北九州工場では溶接用ワイヤーを製造しており、溶接用ワイヤーの需要増に対応すべく、伸線機の更新が計画され、これを機会に高能率、高品位な伸線機を自社開発し、商品化した。機種としては、必要とされる機能および工場内設置条件によりストレート式ノンスリップ型連続伸線機を選定した。以下にその装置の概要を紹介する。

2 装置概要とその性能

装置はサプライヤー、本体、スプーラーより構成され、ポビンによる巻出し、巻取方式としており、任意の設定スピードによる自動運転方式とした。また、運転中のトラブルに対しては、異常ランプ点灯、警報ブザー作動と同時に自動停止機能を組み入れた。

図-1 に本装置の概要図、表-1 に各機械の性能を示す。

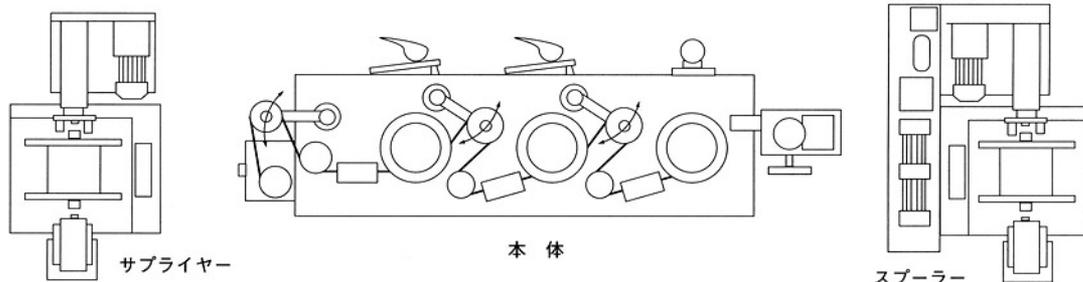


図-1 連続伸線機全体概略図

表-1 機械の諸性能

サプライヤー (供給装置)		本 体		スプーラー (巻取装置)	
スプール回転数	20rpm～340rpm	形 式	ノンスリップ型、連続伸線機 ストレート式、3段伸線タイプ	スプール回転数	20rpm～340rpm
減速機	無段変速ギヤードモーター (5.5kw)	伸線サイズ	投入径 ϕ 3.2 最終径 ϕ 0.8	減速機	無段変速ギヤードモーター (7.5kw)
スプール許容重量	max 700kg	伸線スピード	30～600m/min	スプール重量	max 700kg
ユーティリティ	電源 200V(3 ϕ) 圧空 7kg/cm ²	ダイス	回転ダイス	トラバサ	移動範囲 max 650mm 移動スピード0.9～5.3mm/rev (可変)
その他	スプール昇降機構 スプール芯押し機構	減速機	無段変速ギヤードモーター (7.5kw×3)	ユーティリティ	電源 200V(3 ϕ) 圧空 7kg/cm ²
重 量	約800kg	ユーティリティ	電 源 200V(3 ϕ) 水 水道水 圧空 7kg/cm ²	その他	スプール昇降機構 スプール芯押し機構
		重 量	約3500kg	重 量	約1200kg

3 本伸線機の特徴

本伸線機的主要な特徴として

(1) 逆張力伸線機構により、安定かつ高速な伸線スピードを確保できる

(2) 回転ダイス機構の採用でダイス寿命が延長し、製品品質も大幅に向上する

(3) ϕ 3.2から ϕ 0.8まで切換操作不要で、広い速度範囲にも連続的に対応できる

(4) 1ロット毎のポビン巻き方式の採用で、多品種少量生産にも対応可能である

などが挙げられるが、個別には次のような特徴を有している。

3.1 サプライヤー

満巻ポビンをポビン置台上に転動させ、ポビンセット穴に駆動スピンドルボスを位置合わせ後ポビンセット押ボタンを押すだけで、図-2に示すシリンダー(1)が横移動し、次にシリンダー(2)が下降して自動的に満巻ポビンがセット状態となる。伸線終了後ポビン取り出し時は、ポビン取り出しボタンを押すだけで各シリンダーは逆動作を行い、セットが解除される。

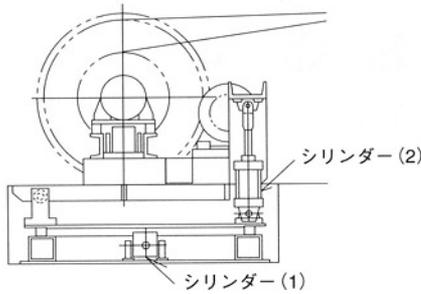


図-2 サプライヤー

3.2 本体

伸線作業の効率は(1)伸線速度(2)パス回数が大きく起因するが、これらは線がダイスを通過する時に生じる塑性変形力、摩擦力および剪断変形力に関係する。摩擦力、変形力を軽減させる方法として、逆張力の付加、ダイスの適正アプローチ角選定、適正潤滑剤選定がある。また、ダイスを回転させて引き抜く方法は、引抜機の真円度向上とダイス寿命の延長に効果をもたらす。

本装置は上記効果を有する機構を全て盛り込む事とした。

3.2.1 ダンサー

キャプスタンプブロックと次ダイスとの間にエアシリンダーにて可動できるダンサープーリーが設けてある(図-3)。

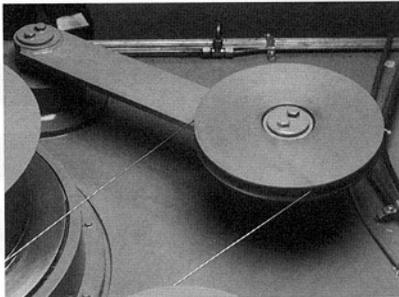


図-3 ダンサー

エアシリンダーはマグネスケールが設けてあり、中立位置に来る様ブロックの回転数を制御すると同時に、エア圧力により任意の逆張力を働かせる機能を有した機構となっている。

3.2.2 回転ダイス

ダイス装置はダイス回転駆動部と潤滑箱から構成されている。内部に装着されたダイスは伸線時回転されると同時に、ダイス外周に設けられた水路により冷却される構造となっている。また、回転機構はダイスの回転のみでなく潤滑箱内の潤滑剤の攪拌も行う機構を有している(図-4)。

3.3 スプーラー

サプライヤーと同様に、ポビンセット穴を位置合わせ後ポビンセット押しボタンを押すだけで、図-5に示すシリンダー(1)、(2)が横移動、下降動作を行い自動的に空ポビンがセット状態となる。伸線終了後の満巻ポビン取り出しは、ポビン取出ボタンを押すだけで各シリンダーは逆動作を行い、セットが解除される。

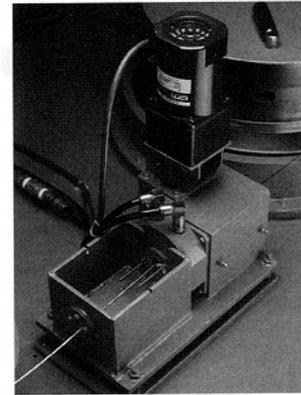


図-4 回転ダイス

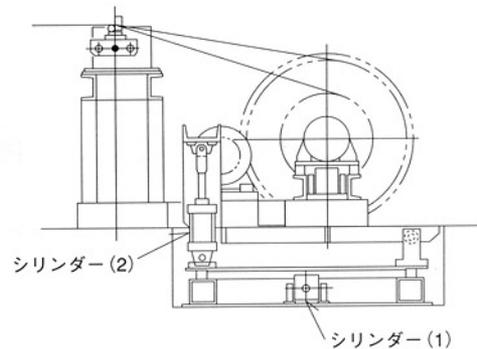


図-5 スプーラー

4 結言

以上、当社で開発し、商品化したノンスリップ型連続伸線機の機能について記したが、ここで紹介した伸線機は社内工場で使用するという事情もあり作業性の上でも

- (1) 機械本体前面は邪魔者が無いシンプルでフラットな構造とした
- (2) 回転ダイス機構を有した機械であるため、先端の口付作業に治具を考案使用している
- (3) 今後のパススケジュールを鑑みて、数ブロックの増設が可能な機械的・電気的設備としている等が盛り込まれている。

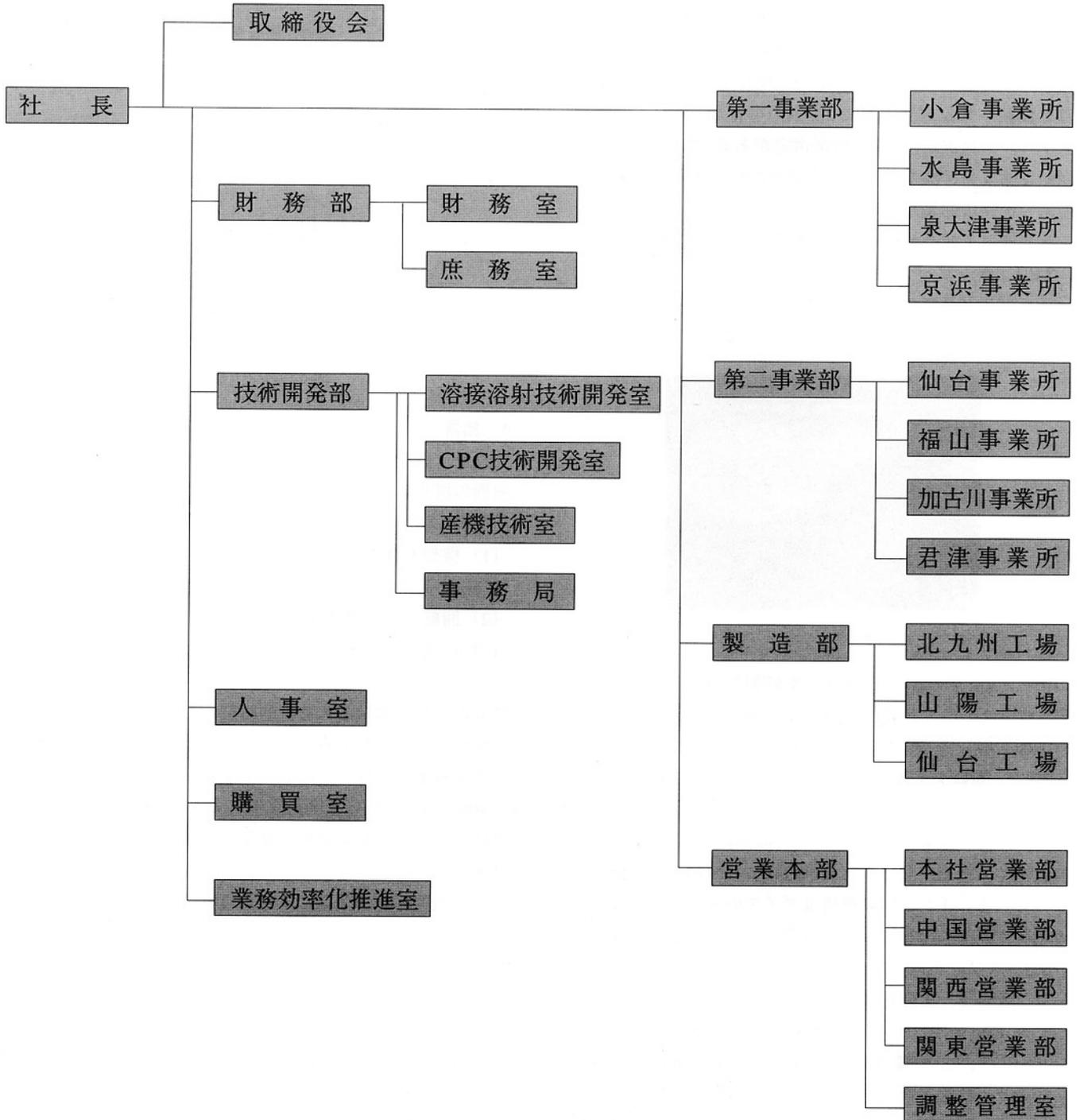
本伸線機設置後の試運転結果では、フラックスワイヤーで400m/minの伸線速度を記録している。現在、引抜材の性状に対応した最適条件で使用しており、当初目標とした性能を十分発揮している。また本伸線機はお客様の設備サイズ、機能等のご要望に応じた設計製作が可能である。

[問い合わせ先]

仙台工場
Tel. 0223(24)2450 植田 勝裕
産機技術室
Tel. 093(871)3724 宮戸 紘

FUJICO 運 營 組 織 図

平成 8 年 8 月 現在



■本社

〒804 福岡県北九州市戸畑区中原西2丁目18-12
TEL 093-871-3724・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
TEL 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
TEL 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
TEL 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
TEL 022-258-4182・FAX 022-258-4183

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
TEL 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京浜製鐵所構内
TEL 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
TEL 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
TEL 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
TEL 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
TEL 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
TEL 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
TEL 093-871-3724・FAX 093-884-0009

関東営業部

〒105 東京都港区西新橋3丁目23-7 司ビル2F
TEL 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2F
TEL 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
TEL 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號5樓之2（白雲天厦）
TEL 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
TEL 0975-58-1257・FAX 0975-56-0794

鹿島出張所

〒314 茨城県鹿嶋市鉢形台2-1-12 SKビル
TEL 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
TEL 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
TEL 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）
TEL 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）
TEL 001-82-667-792-0933・FAX 001-82-667-792-2417