

技術論文

CPC 法による熱間圧延用ワークロールの製造と改善取り組み

Manufacturing and Improvement of Work Roll for Hot Strip Mill by Using CPC Process



技術開発センター
商品・生産技術開発室 室長
博士(工学) 園田 晃大
Akio Sonoda

技術開発センター
商品・生産技術開発室
係長 花田 喜嗣
Yoshitsugu Hanada

技術開発センター
メカトロニクス開発室 室長
博士(工学) 牟 用煥
Yong-Hwan Mo

技術開発センター
副センター長
博士(工学) 姜 孝京
Hyo-Gyoung Kang

技術開発センター
センター長
博士(工学) 永吉 英昭
Hideaki Nagayoshi

要 旨

当社では CPC プロセスによって熱間圧延用ワークロールの製造を行っている。製鉄所で製造される製品の品質や生産性にワークロールは大きく関わってくる。そのため、製鉄所からワークロールに要求される様々な品質やコストに応えることが重要である。本稿では、当社で行ってきたワークロール製造についての改善取り組みについて紹介する。独自のワークロール再生技術や重切削加工技術、摩擦圧接技術、熱処理技術、新材質設計技術を適用した結果、ワークロールの生産性向上や特性改善が大きく見込まれた。

Synopsis:

FUJICO has been producing work roll for hot strip mill by using CPC process. The work rolls are greatly related to quality and productivity of the product produced in steel works. Therefore, it is important to respond at various quality and cost necessary for the work roll from steel works. In this paper, the challenge of the improvement on the work roll manufacturing in our company is described. Productivity improvement and characteristic improvement of the work roll are expected, by applying various new techniques as follows: original regeneration technique, heavy-duty machining technique, friction-welding technique, heat treatment technique and new materials design technique.

1. 緒言

製鉄所で製造される鉄鋼製品は、熱間圧延の工程を経て様々な寸法や形状に形成されている。この熱間圧延では、鋼材は熱間圧延用ロール（以下ワークロールと記す）を介して大きな圧力が加えられて塑性変形する。そのため、ワークロール表面の性情が直接鉄鋼製品の品質に結びつくため、鉄鋼メーカーからワークロールに対して要求される諸特性も様々である。また、生産性の観点からも、摩耗が少なく長期間使用できるワークロールが望まれている。

ワークロールに要求される代表的な特性は、耐摩耗

性であり、近年では、従来の高クロム鑄鉄ロールや、グレン鑄鉄ロールに代わって、耐摩耗性に優れたハイスロールが広く適用されている¹⁾ (Fig.1)。当社においても、特許第 552637 号 (特公昭 44-4903) で代表される独自の CPC (Continuous Pouring process for Cladding) 法を用いて、ハイス材を肉盛り層としたワークロールをこれまで多く製造してきた²⁾。

上述のように、各製鉄所からワークロールに要求される内容も多くあるため、その要求に応えるべく、当社でも様々な改善の取り組みを行っている。本稿では、ワークロール製造に関わるコスト低減、生産性向上や

機能性改善など、当社で行っている取組みについていくつか紹介する。

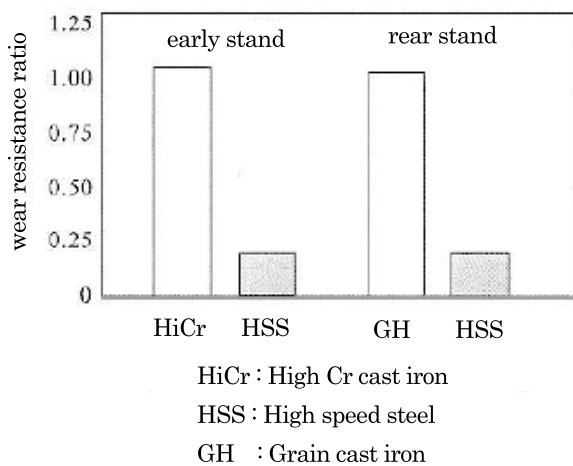


Fig.1 Wear resistance of work roll for hot strip mill at finishing stand¹⁾

2. CPC プロセスによるワークロールの製造

ここでは、CPC 法を用いたハイスを肉盛り材としたワークロールの製造方法の概要を説明する。Fig.2 に示すように、CPC 法では中実の芯材をモールドの中心にセットし、モールドと芯材の間にクラッドしようとする熔融金属を鑄込み、高周波誘導加熱により芯材に溶着攪拌をさせながら、断続的に引き抜くことで複合素材を製造する。そのため、遠心鑄造法のように、元素の偏析がなく均一な一層肉盛りが可能となる。ハイス系のように Cr、Mo、V、W 等の炭化物生成元素を多く含む成分系においては、肉盛り層の中で元素の偏析があると、生成した硬質の炭化物も偏析してしまい、欠陥発生の要因となることから、ロールとしての機能性を損なう場合もある。このような点からも、CPC 法は多合金の材料を肉盛りする手法として優れているといえる。

さらに、芯材には強靱な SCM 鍛鋼を使用することができるため、CPC 法で製造したワークロールの軸部は、圧延時の高い機械的負荷にも十分耐えうる強度を合わせ持つことになる。このように、CPC 法はワークロールの製造法として最も適している手法といえる。

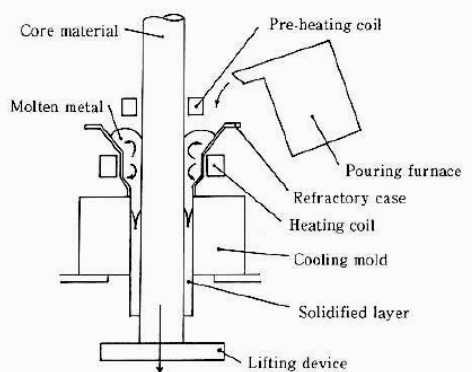


Fig.2 Schematic diagram of CPC process²⁾

3. ワークロールにおける改善の取組み

本章では、当社がこれまで取り組んできたワークロールの様々な改善の取組みについて紹介する。

3.1 再生ワークロール

通常、ワークロールは廃却径まで使用されると廃棄処理されていたが、当社ではこの廃棄ロールに着目し、新たに廃棄ロールから使用可能なロールに再生する技術確立を試みた³⁾。なお、再生ワークロールについては、フジコー技報 No.18 (2010) P.62 に紹介されているが、ここでも概要について以下に抜粋する。

この再生ワークロールの製品イメージを Fig. 3 に示すが、廃棄ロールを芯材として、Fig.1 で示す CPC 法により、圧延製品と接触する胴体部に硬質なハイス層を再成形する。さらに、軸部は特殊溶接法を駆使することで形状を復元する。このようにして、胴体部と軸部を新品ロールと同様の形状に復元することで、廃棄ロールを新たなロールとして再生することができる。

この新技術で製造されたロールは、耐摩耗性、耐肌荒れ性、強靱性およびロール形状のすべてにおいて新品ロールと同等以上の性能を有することになる。

なお、再生 CPC ワークロールの期待効果は大きく、以下のような点が挙げられる。

- ① 廃棄ロールを芯材として再利用し、新品ロール対比約 20% 以上のコストダウン可能
- ② 芯材の製造に関わる納期(従来 6 ヶ月~1 年)の短縮可能(最終製品納期が 1/2 に短縮)
- ③ CPC ハイスロールのコストパフォーマンス確保による適用拡大可能 (Table 1)
- ④ 鉄鋼メーカーの積極的導入により、鋼板品質の向上可能及び製造コスト削減可能
- ⑤ 芯材を再利用することで、芯材製造に関する CO₂ 排出量を大幅に削減可能 (Fig.4)。

また、本技術は特許第 5268431 号など 3 件特許取得済みである。

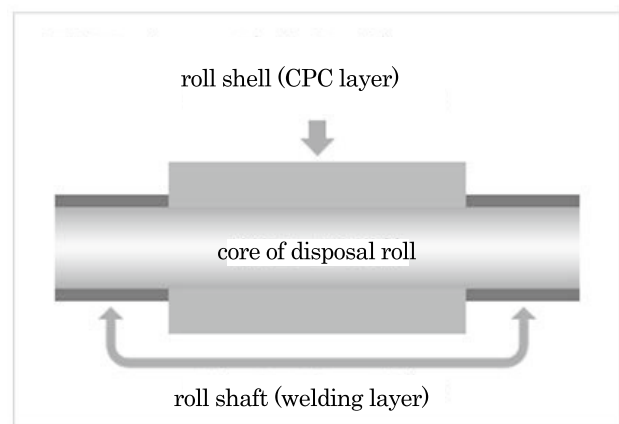


Fig.3 Schematic diagram of regeneration work roll³⁾

Table 1 Roll performance effect for regeneration work roll³⁾

	Roll performance	Cost	Cost performance
Centrifugal cast HSS	1	1	1
CPC HSS	1.5	1.2	1.25
Re-CPC HSS	1.5	1	1.5

Roll performance : Rolling amount of production per 1 mm roll consumption in diameter on the average

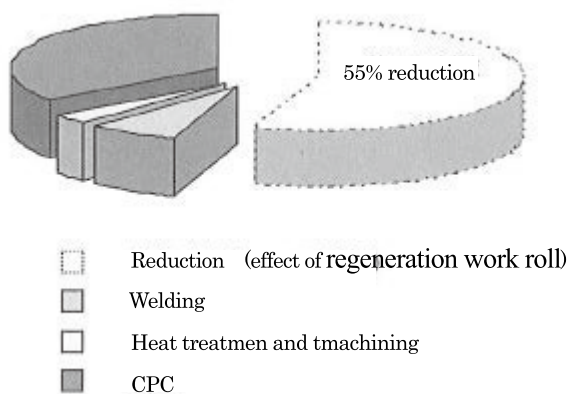


Fig.4 CO₂ reduction effect for regeneration work roll³⁾

3.2 重切削加工技術

当社では、ワークロールのような大型ロールの製造を行っていく上で、独自設計による高性能で低コストな重切削加工旋盤の開発を行ってきた⁴⁾。

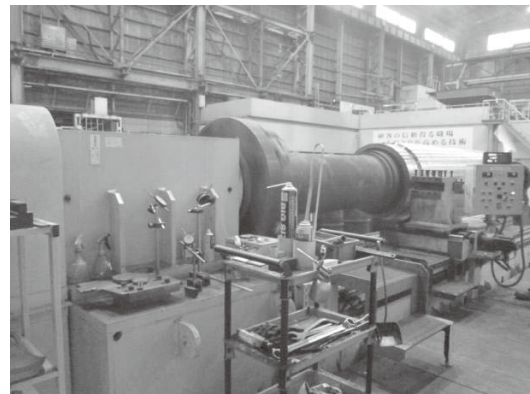
3.1 章で記載した再生ワークロール製造の場合、引き取った廃棄ロールには、胴部に HS80 以上の非常に硬いハイス材が約 30mm 程厚く残存しており、最初この層を機械加工で除去する必要がある。その際、既存旋盤を用いて加工する場合は、旋盤の剛性やチップ損耗、加工時間などの問題で軟化焼鈍熱処理によりハイス材の硬さを下げる必要があった。

また、再生ワークロールや新品ワークロール製造に限らず、CPC 法で製造したワークロールは、CPC 直後の肉盛り層の硬さが HS60~90 とバラツキが大きく、軟化焼鈍熱処理により肉盛り材の硬さを HS40 程度までに平均化しないと切削加工することが困難であった。

このような難切削材の加工に関して、まず加工長 1,900mm までの重切削加工技術を開発し、短時間での硬質なハイス層の切削が可能となった。そこで、さらに重切削加工技術を加工長 8,000mm の長尺製品に応用し、安価な溶接構造体で、短納期で切削が可能な重切削加工機を開発を行った。Fig.5 は、新たに開発した重切削加工機の外観と加工状況である。

また、Table 2 は、本重切削加工機による加工条件と従来までの加工条件を示した一例である。長尺対応

の重切削加工技術によって、軟化焼鈍熱処理を省略し、低コスト、短納期でのワークロールの量産化が可能となった。



(a) Machine appearance



(b) Machining for regeneration work roll

Fig.5 Heavy-duty machining lathe for regeneration work roll

Table 2 Comparison of machining condition

	Conventional	Developed
Speed (mm/min)	20	20
Feed (mm/rev)	0.8	0.5
Cutting depth (mm)	3	15
Cutting quantity (cc/min)	48	150

3.3 摩擦圧接技術

再生ワークロール製造技術に、当社独自の摩擦圧接技術を応用することで、再生ワークロールの製造コスト削減と、さらにエネルギー効率の良い廃材等の再利用が可能となる⁵⁾。当社では、更なる大型ワークロールの省力製造のため独自設計による摩擦圧接機を開発を行ってきた。Fig.6 は、導入した大型ワークロール対応の摩擦圧接機である。

3.1 章で記載した通り、再生ワークロールの軸部の形状復元には溶接法を用いている。現状、復元溶接には大量の溶接材料の使用と長期の施工時間、施工に関わる工賃など、製造コストの面では不利な点が多い。そこで、Fig.7 のように、製鉄所で使用されたワークロール等の廃棄材から軸部を切断・回収し、CPC 法によって表面処理した胴部と摩擦接合することによって、大幅な材料費削減と施工時間の短縮 (20%以上 down)、コスト改善 (70%以上 down) が可能となった。

なお、本技術も特許第 5756889 号を取得済みである。



Fig.6 Friction-welding machine

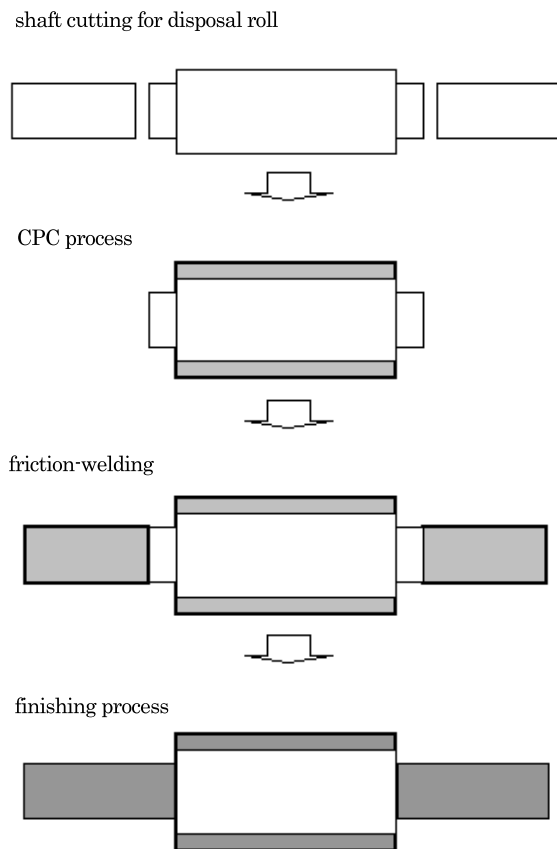


Fig.7 Workroll manufacturing by friction-welding

3.4 熱処理の改善

ワークロールの製造には、焼鈍し・焼入れ・焼戻しなどの複数回の熱処理工程が入る。この熱処理には数日~2週間ほどの期間を要し、生産を律速している主な工程と言え、ワークロール生産能力に大きく関係してくる。

そこで、当社では、新たな高性能熱処理炉の導入による生産性の向上や、熱処理方法の短縮・改善によるハイス肉盛り層の機能改善の取組みを行ってきた。

Fig.8は、新たに導入した熱処理炉である。本装置を導入する事によって、単純な生産能力は1.3倍に向上し、熱処理工程の整流化が可能となった。さらに、既存の設備は処理可能容量が20tonであったものに対し、本装置は30tonの容量があるため、一度に熱処理可能なワークロールの本数についても、従来の1本から2本に増えることとなる。加えて、本装置はファン方式による炉内雰囲気温度の均一化を行うことができるため、再生CPCワークロールの品質安定化についてもより向上するものとなっている。

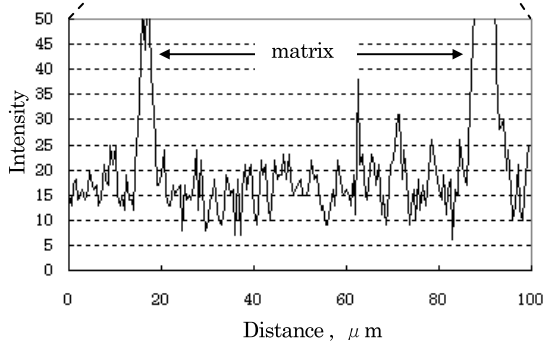
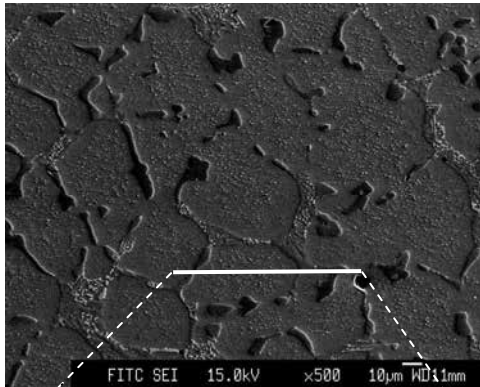


Fig.8 Heat treating furnace

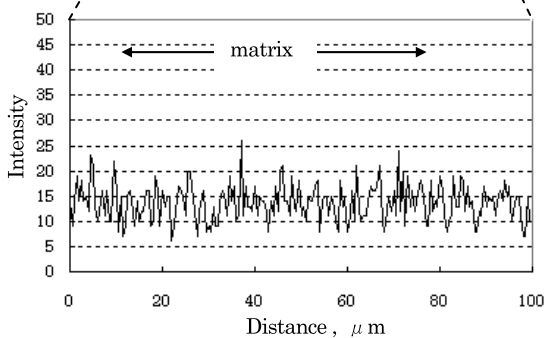
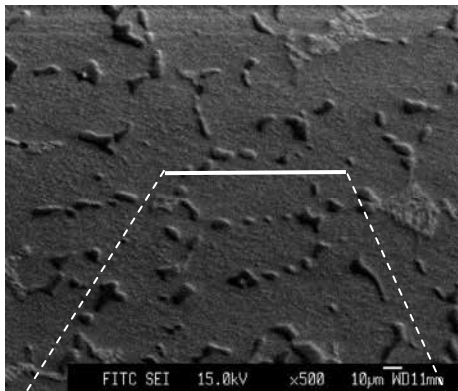
次に、Fig.9 では、改善した特殊熱処理方法と従来の熱処理方法による同一成分のハイス材を成分分析した結果を示す。分析は、EPMA によりある元素 X の線分析を行った結果である。従来の熱処理方法では、基地部の元素のバラツキが大きいのに対し、改善熱処理方法では、そのバラツキが少なくなっている傾向が確認された。

ワークロールは高圧下で高温の鋼材と接触する使用環境であるため、ロール表面が損傷し、肌荒れを起こす場合がある。このような肌荒れが早期に発生すると、鋼材の品質確保の観点からもワークロールの連続使用回数が制限され、ロールパフォーマンスが低下する等の問題となってしまう。

ロール表面損傷の原因には、様々な要因が考えられるが、一つの要因としては、金属組織中の局所的な摩耗やクラック発生・進展が考えられる。そのため、改善した熱処理方法によって均一な基地組織が得られれば、局所的な損傷が抑制され、耐肌荒れ性への改善効果が期待できる。



(a) Conventional



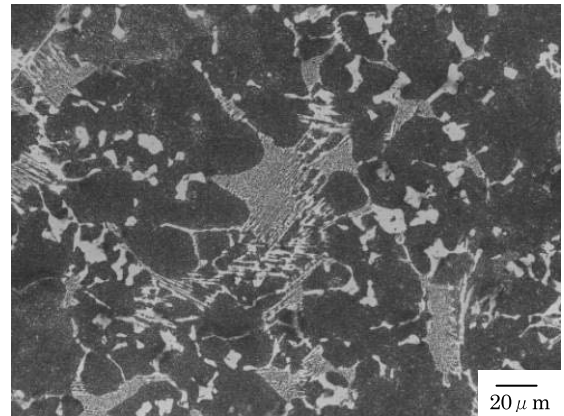
(b) Developed

Fig.9 Result of line analysis

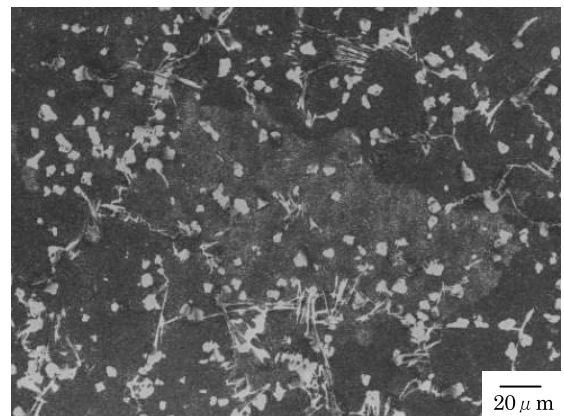
3.5 ハイス材質の改善

ハイス材のように硬質の炭化物を多く含む組織では、結晶粒径が小さいほど、すなわち、炭化物と炭化物間の距離が小さい方が基地部の優先摩耗を抑制でき、耐摩耗性に効果があると考えられる。当社においても、最適な合金設計や特殊元素の添加と CPC 時の冷却制御および特殊熱処理法を組み合わせることによって、ハイス材の組織改善を行っている。

Fig.10 はその一例であり、改善材は従来材よりも MC 炭化物や M_2C 共晶炭化物が分散しており、結晶粒も小さくなっている。Table 3 示す条件で熱間摩耗試験を行い耐摩耗性を比較すると、Fig.11 に示すように改善材は従来材よりも 1.74 倍の良好な耐摩耗性を示した。



(a) Conventional



(b) Developed

Fig.10 Microstructure of high-speed steel

Table 3 Experimental conditions of wet rolling-sliding wear test at high temperature

Counterpart material	S45C
Size of counterpart piece	φ 100 × 15mmt
Size of test piece	φ 80 × 10mmt
Load	10kg
Rolling velocity	600rpm
Sliding ratio	5%
Temperature of counterpart material	600°C
Cooling conditions	Water cooling, 600ml/min
Test time	50min&15min

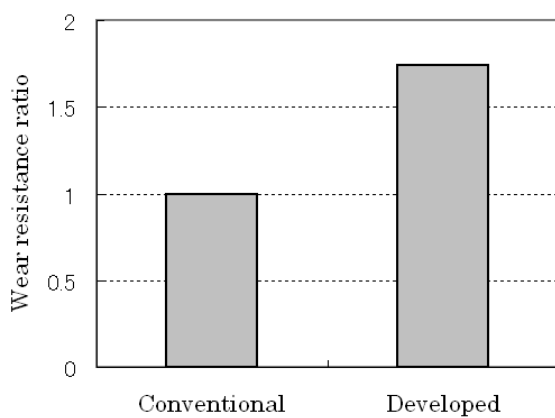


Fig.11 Result of wet rolling-sliding wear test

4. CPCワークロールの実機適用

以上のように、当社においてはワークロール製造に関する様々な改善取組みを行っている。そして、各製鉄所において、当社ワークロールの使用実績が認められ、多くの製鉄所に採用されている。その結果、Fig.12に示すように、当社のワークロールの出荷高はここ数年で大きく増加していることがわかる。

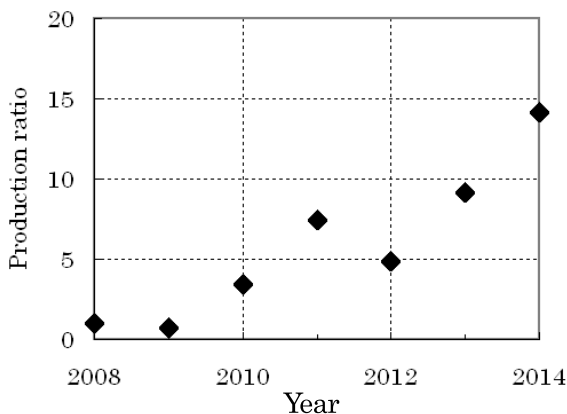


Fig.12 Production transition of work roll

最後に、当社ではお客様である各製鉄所の要望に応えるべく、ワークロールの長寿命化のための機能性向上や製造能力向上と製造コスト低減など、さらなる改善活動を推進していく。

5. まとめ

CPC 法におけるワークロールの製造に関わる様々な改善の取組みを行った結果を以下に示す。

- 1) CPC 法は均一組織の肉盛り層を形成するためワークロールに用いられるハイス材を肉盛りする手法として適している。
- 2) 使用済みのワークロールに再度 CPC を行い、再生ワークロールとして製造する再生技術を開発した。これにより、ワークロールのコストパフォーマンスが大幅に改善された。
- 3) ワークロールに対応する大型の重切削加工機を導入し、加工効率が大幅に向上した。
- 4) 独自の摩擦圧接技術を用いて、ワークロールの軸接合を行い、生産能力向上・製造コスト低減が可能となった。
- 5) 熱処理設備増強や手法改善によって、さらなる生産能力向上や機能性改善を図っている。
- 6) ハイス材の最適な合金設計や特殊元素添加による材質改善を行い、従来材よりも良い耐摩耗特性を得た。

参考文献

- 1) 橋本：フジコー技報 No.12(2004) 23
- 2) 坂本、玉川、斉藤、津田、山本：フジコー技報 No.3(1995) 10
- 3) 芳谷：フジコー技報 No.18(2010) 62
- 4) 牟、寺村、友清、永吉、高巢：フジコー技報 No.20(2012)35
- 5) 木村、園田：フジコー技報 No.21(2013) 53