

(技術資料)

バナジウム添加高耐摩耗ロール材の特性

Properties of Vanadium-added High Wear Resistance Steel for Cold-rolling Mill Rolls



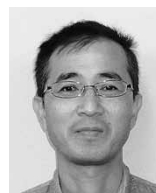
緒方啓丞*1
Keisuke OGATA



保元康彦*1
Yasuhiko YASUMOTO



太田恭平*1
Kyohei OTA



野村正裕*2 (博士(工学))
Dr. Masahiro NOMURA



中田好洋*3
Takahiro NAKADA



土田武広*4
Takehiro TSUCHIDA

Recent cold-rolling mills are increasingly being operated under high load and high speed, increasing the load imposed on the work rolls. Therefore, there is an increasing need for rolls that exhibit excellent resistance against wear, seizure and decreased roughness. This paper reports the results of a study conducted to improve these properties of rolls by adding vanadium to 5% chromium steel, which is widely used for cold-milling work rolls and intermediate rolls, to increase the amount of carbide. A laboratory test confirmed that adding a proper amount of V improves the properties of rolls, while maintaining the same level of hardness as that of the conventional 5% Cr steel. It has also been verified that the selected alloy composition allows the actual rolls to be made without any problems, and the rolls are compatible with broad hardness specifications.

まえがき = 近年の冷間圧延ミルにおいては、鋼板の高強度化や生産性向上の要求を背景に、高荷重・高速度での操業が行われるようになってきている。このような厳しい条件での圧延はロールへの負荷が大きく、偏摩耗、表面粗度低下、および焼付きといった問題が発生しやすくなる。このような問題が発生すると圧延製品の品質が保持できなくなるだけでなく、ロールの交換を余儀なくされ場合もあるため、ロール原単位や生産性が悪化する。そのため、耐摩耗性、粗度維持性、および耐焼付き性に優れたロールが求められている。

一般的に、これらの特性を向上させるためには、ロール硬さを高くすることや、炭化物量を増やすことが効果的である^{1)~3)}。主要な炭化物生成元素としてCr, Mo, V, Ti, Wなどが挙げられ、これらの元素は図1に示すように、 M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_6C , M_2C , MC といった高硬度の炭化物を形成する⁴⁾。ここでMは炭化物構成元素を示す。その中でもVは高硬度のMC炭化物を形成し、かつ炭化物の固溶温度が比較的low、熱処理によって炭化

物形態を制御できる可能性がある。さらに、製造コストの上昇も小さく済み、原単位が向上することによりランニングコスト改善につながると考えられる。

本稿では、冷間圧延ワークロールおよび中間ロール向けに広く適用されている5%Cr鋼にVを添加し、耐摩耗性をはじめとする諸特性の向上を検討した結果について報告する。

1. 試験方法

ラボで作製した材料（小型材）を試験材とし、耐摩耗性、粗度維持性および耐焼付き性を評価した。本章では、それらの評価方法を概説する。

1.1 試験材の作製

試験材（ロール材）は、当社で製造しており、幅広いユーザーに使用されている5%Cr鋼、およびこれをベースに適量のVを添加した5%Cr+V鋼である（以下、それぞれベース鋼、およびV添加鋼という）。V添加鋼では、炭化物形成によって基地中のC量が減少しないよう、V増量に応じたCを添加することで、炭化物量の増加によるロール特性の改善を狙っている。試験材は真空誘導溶解炉で溶製（150 kg鋼塊）し、鍛錬比が実製品ロールと同様になるように鍛錬を施した。つづいて、実製品ロールの胴部表面を模擬した熱処理を行い、硬さ、組織を調査した後に各種評価試験に供した。

1.2 耐摩耗性試験

耐摩耗性は、大越式摩耗試験により評価した。図2に試験の模式図を示す。本試験では、リング状の相手材を回転させながら平板状の試験材に押し付け、試験材の摩耗量を評価した。表1に試験条件を示す。試験材の硬さ

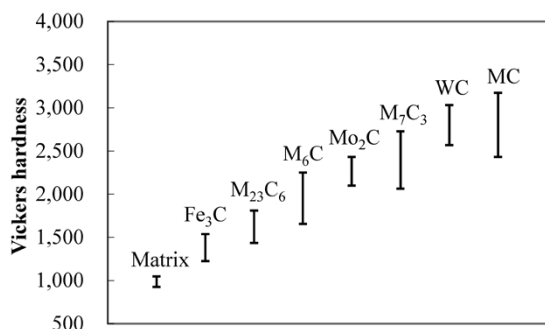


図1 鉄鋼材料中の炭化物の硬さ⁴⁾
Fig.1 Hardness of carbides in steel⁴⁾

*1 鉄鋼事業部門 鋳鍛鋼事業部 技術開発部 *2 鉄鋼事業部門 鋳鍛鋼事業部 鍛圧部 *3 鉄鋼事業部門 鋳鍛鋼事業部 鋳鍛鋼営業部 *4 技術開発本部 材料研究所

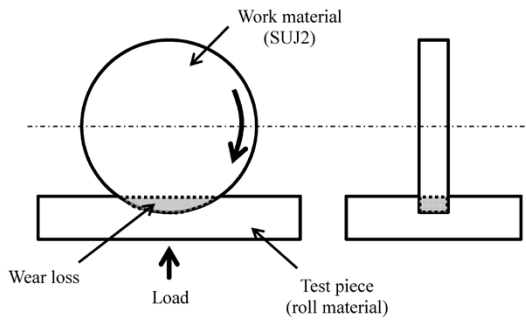


図2 大越式摩耗試験の模式図
Fig. 2 Schematic diagram of Ohgoshi-type abrasion test

表1 大越式摩耗試験の試験条件
Table 1 Condition of Ohgoshi-type abrasion test

Test piece (roll material)	Hardness	HS88
	Shape	25×40×5 mm
Work material (SUJ2)	Hardness	HS84
	Shape	φ30×11 mm
Test velocity		1.58 m/s
Test distance		200 m
Test load		12.6 kgf
Test temperature		R.T.
Lubricant		Dry

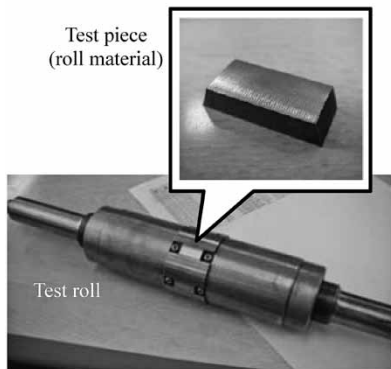


図3 試験材チップと小型圧延用ロールの外観
Fig. 3 Appearance of test piece and test roll

は、ロール廃却径での硬さを想定してHS88とした。

1.3 粗度維持性試験

粗度維持性の評価方法を以下に示す。まず、図3に示すように、試験材から作製したチップを小型圧延用ロールにセットし、小型圧延機で圧延を行う。ついで、図4に示すように、一定の圧延距離ごとに試験材チップの表面粗さ R_y を測定し、式(1)で近似して a を粗度維持性パラメータとした。

$$R_y = -a \cdot \ln(L) + b \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 L ：圧延距離 (m)

a , b ：式(1)から求まる定数

R_y は圧延距離の増加に伴って低下するため、 a は正の値となる。本稿では、 a の値が小さいほど圧延距離増加に伴う R_y の低下が小さく、粗度維持性が優れているとして評価した。試験条件を表2に示す。

1.4 耐焼付き性試験

耐焼付き性は、ピンオンディスク試験により評価した。図5に試験の模式図を示す。本試験では、試験荷重を段階的に上げていき、焼付きが発生して停止したとき

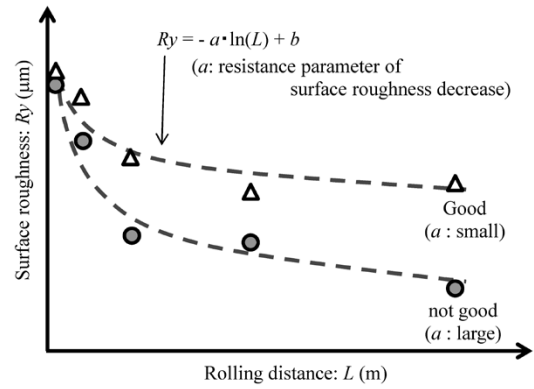


図4 粗度維持性の評価方法
Fig. 4 Evaluation method of resistance of surface roughness decrease

表2 粗度維持性試験の試験条件
Table 2 Test conditions of resistance of surface roughness decrease test

Test piece (roll material)	Hardness	HS95
	Shape	15×8×4 mm
Work material (SPCC)	Hardness	HV100
	Shape	60×0.5 mm (coil)
Test roll diameter		φ50mm
Rolling speed		5 m/min
Contact pressure		108 kgf/mm ²
Rolling distance		100~3,000 m
Test temperature		R.T.
Lubricant		Wet (1 L/min)

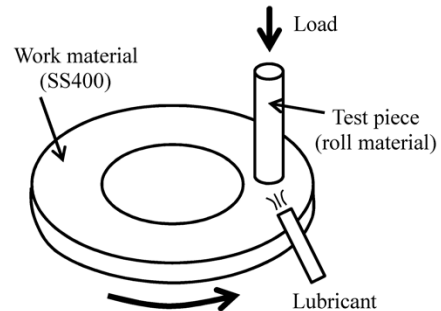


図5 ピンオンディスク試験の模式図
Fig. 5 Schematic diagram of pin-on-disk test

表3 ピンオンディスク試験の試験条件
Table 3 Test conditions of pin-on-disk test

Test piece (roll material)	Hardness	HS95
	Shape	φ5×15 mm
Work material (SS400)	Hardness	HS21
	Shape	φ139×6 mm (internal diameter: φ105)
Test velocity		2 m/s
Test load		Increase stepwise (10 kgf every 3 min)
Test temperature		R.T.
Lubricant		Turbin oil (4 mL/min)

の試験荷重を焼付き限界荷重として耐焼付き性を評価した。表3に試験条件を示す。

2. 試験結果

2.1 胴部表面模擬熱処理材の硬さ

ベース鋼およびV添加鋼に対して実製品ロールの胴部

表面を模擬した熱処理を行った後に、ビッカース硬さを測定した結果を図6に示す。圧延ロールに対しては、耐摩耗性や耐事故性に加え、廃却径に至るまで十分な硬さを保つことが求められるが、V添加鋼でベース鋼と同等の硬さが得られることが確認された。

2.2 炭化物組織観察

図7に、ベース鋼とV添加鋼の炭化物組織を光学顕微鏡で観察した結果を示す。両鋼種とも、微細炭化物が均一に分散した組織となっている。著しく粗大な一次炭化物が存在すると、ロール製造時やユーザでの圧延使用時に破壊起点となる可能性があるが、そのような炭化物は見られなかった。

2.3 耐摩耗試験結果

図8に大越式摩耗試験の結果を示す。縦軸は、ベース鋼の摩耗減量を1としたときのV添加鋼の摩耗減量を示している。V添加によって摩耗減量が少なくなっており、V添加鋼の方が耐摩耗性に優れている。

2.4 粗度維持性試験結果

図9に粗度維持性試験の結果を示す。縦軸には、ベース鋼の粗度維持性パラメータ a を1としたときのV添加鋼の a の値を示している。V添加により、粗度維持性パラメータが小さく、すなわち初期からの粗さ低下が小さくなっており、粗度維持性が向上している。

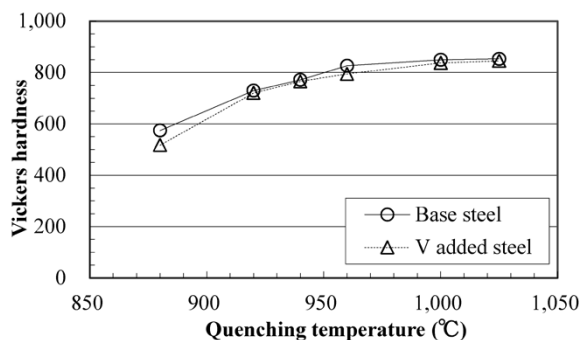


図6 ベース鋼とV添加鋼の硬さ
Fig. 6 Hardness of base steel and V added steel

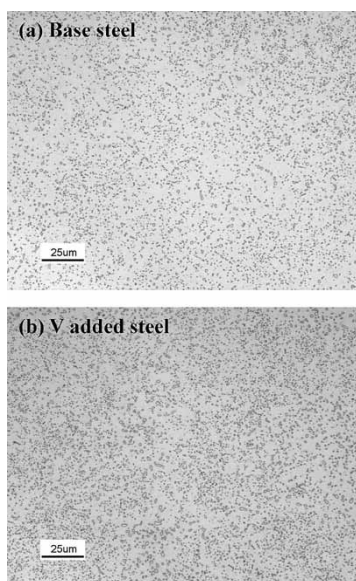


図7 ベース鋼とV添加鋼の炭化物組織 (光学顕微鏡)
Fig. 7 Microstructure of base steel and V added steel observed by optical microscope

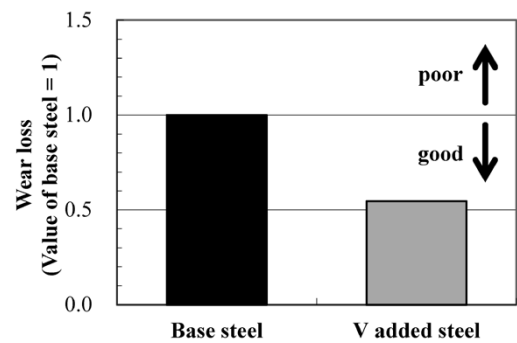


図8 大越式摩耗試験の結果
Fig. 8 Results of Ohgoshi-type abrasion test

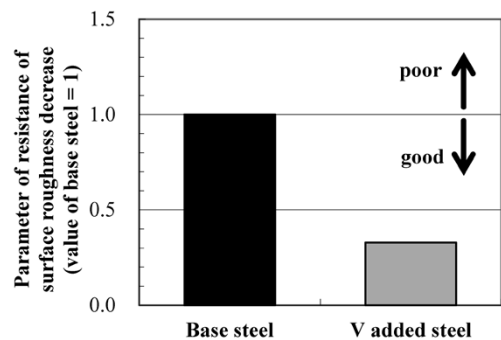


図9 粗度維持性試験の結果
Fig. 9 Results of resistance of surface roughness decrease test

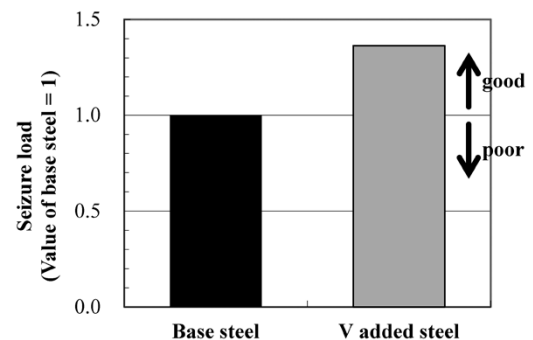


図10 ピンオンディスク試験の結果
Fig.10 Results of pin-on-disk test

2.5 ピンオンディスク試験結果 (耐焼付き性評価)

図10にピンオンディスク試験の結果を示す。縦軸は、ベース鋼の焼付き限界荷重を1としたときのV添加鋼の焼付き限界荷重を示している。V添加により、焼付き限界荷重が向上している。

3. 考察

2章で述べた試験結果から、V添加によって耐摩耗性や粗度維持性、耐焼付き性が向上することがわかった。この理由を明確にするため、詳細な組織観察を実施した。

ベース鋼とV添加鋼の炭化物組織を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した結果を図11に示す。高倍率での観察においても、両者には著しい炭化物の凝集粗大化や分布の偏りは見られないが、V添加鋼では炭化物数が増加している。画像解析を用いて炭化物の分散距離を定量化した結果を図12に示す。炭化物数の増加から予想されるように、V添加鋼の方が炭化物分散距離が短くなっている。

つぎに、X線回折法(XRD)により炭化物量を測定し

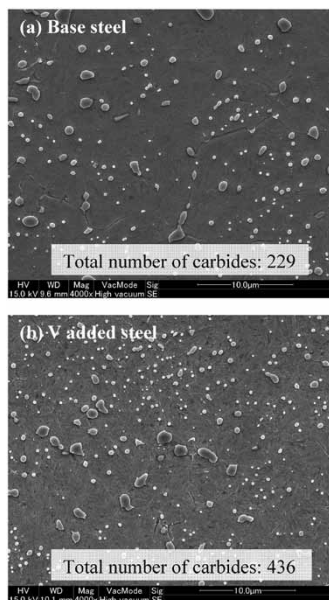


図11 ベース鋼とV添加鋼の炭化物組織 (SEM)

Fig.11 Microstructure of base steel and V added steel observed by SEM

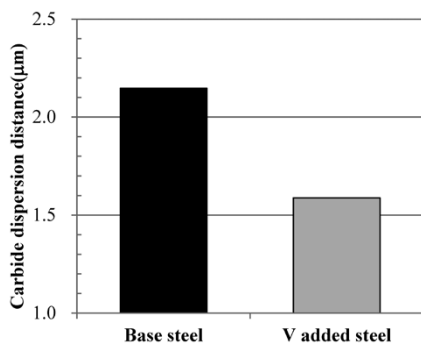


図12 ベース鋼とV添加鋼の炭化物分散距離

Fig.12 Carbide dispersion distance of base steel and V added steel

た結果を図13に示す。V添加により炭化物量が増加していることが確認された。また、存在する炭化物は、V添加の有無によらず M_7C_3 炭化物のみであり、V添加によって析出すると予想されるMC炭化物は確認されなかった。そこで、エネルギー分散型X線分光法 (EDX) により炭化物組成を半定量した結果、添加したVは M_7C_3 炭化物へ固溶し、複合炭化物を形成していることがわかった (表4)。

添加したVが M_7C_3 炭化物に固溶して複合炭化物となっていたことから、炭化物の特性が変化している可能性がある。そこで、ナノインデント (超微小硬度計) により炭化物硬さを測定した。その結果を図14に示す。炭化物硬さはV添加鋼の方がHV40程度高い。本試験材と材質は異なるが、 M_7C_3 炭化物へのV固溶が炭化物を強化する可能性があるとの報告⁵⁾が過去にあることから、本鋼種でも同様の効果があったことが推察される。

以上の結果から、V添加鋼はベース鋼より硬い炭化物が多量かつ緻密に分散した組織を有しているといえる。このような組織を有している場合、図15に示すように、圧延される鋼板やバックアップロールなどと接触する際に硬い炭化物がより多く接触することになるため、炭化物と比べて軟らかい基地の摩耗が抑制され、耐摩耗性、

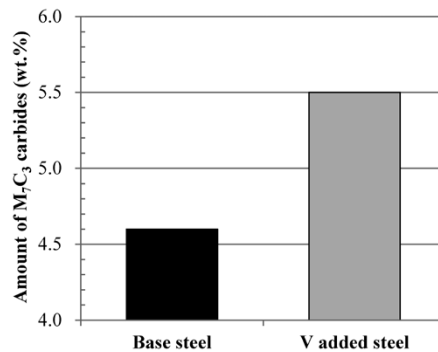


図13 M_7C_3 炭化物の定量結果

Fig.13 Amount of M_7C_3 carbides in test steels

表4 M_7C_3 炭化物の組成
Table 4 Chemical composition of M_7C_3 carbides

	Chemical composition of M_7C_3 carbides (wt.%)						Total
	C	Si	Cr	Fe	Mo	V	
Base steel	11.0	0.0	39.4	48.5	1.1	0.0	100
V added steel	7.5	0.1	35.1	49.4	1.8	6.0	100

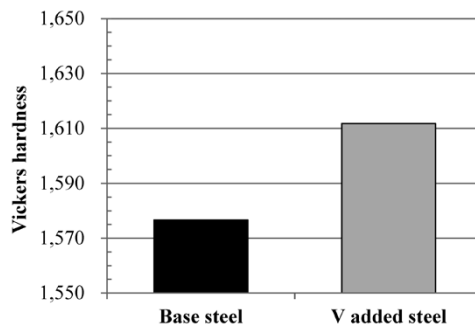


図14 M_7C_3 炭化物の硬さ

Fig.14 Hardness of M_7C_3 carbides in test steels

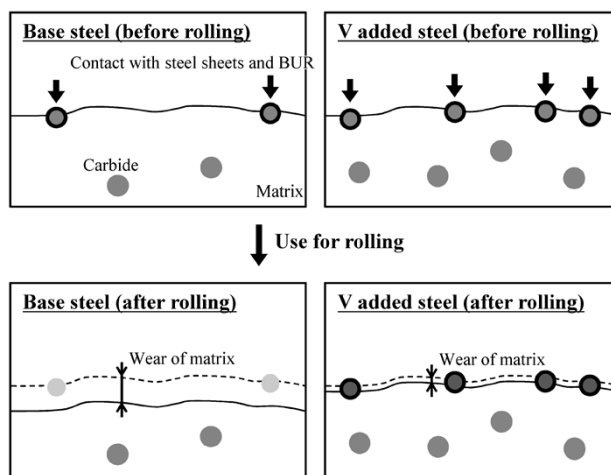


図15 炭化物による摩耗抑制の模式図 (推定)

Fig.15 Schematic diagram of reduction of abrasion by carbides

粗度維持性が向上したと推定される。また、焼付きは接触する材料の基地同士の凝着によって進行し、炭化物は焼付きを停止させるとの報告⁶⁾がある。炭化物量の増加により、分散距離が短くなったことが焼付き防止に有効に作用したものと推定される。

4. V添加ロールの実機製造

上述した小型材による試験結果に基づき、V添加鋼に

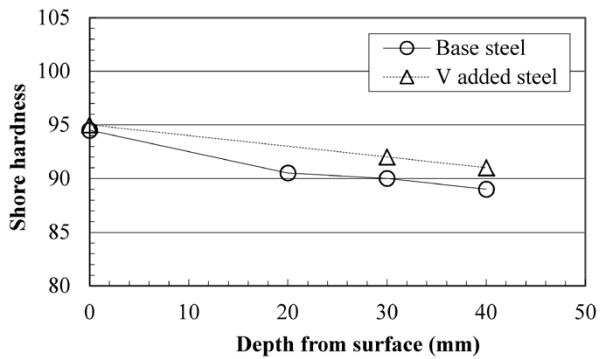


図16 実機ロールの硬さ
Fig.16 Hardness of actual work roll

て実機ロールの試作を行った。製造条件は従来の5%Cr鋼ロールと同等としたが、焼割れなどの問題が生じることなく製造することができた。製造した実機ロールの硬さ測定結果を図16に示す。ロール表面から廃却径まで従来鋼と同等の硬さが得られている。製造したロールは実機ミルに投入され、現在耐摩耗性の評価試験を行っている。

むすび = 現行の5%Cr鋼をベースとし、V添加による耐

摩耗性、粗度維持性および耐焼付き性の向上を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- ・V添加鋼は、ベース鋼と比較して耐摩耗性、粗度維持性および耐焼付き性が向上した。V添加鋼は、より硬い複合炭化物が多量かつ緻密に分散した組織を有しており、これが特性向上に寄与したと推定される。
- ・鍛錬や熱処理といった各工程で問題が生じることなく、V添加鋼で実機ロールを製造することができた。製造したロールの硬さはベース鋼で製造したものと同等であり、幅広い硬度仕様に対応できることを確認した。

今後は、実機ミルでの評価結果を基に、顧客の皆様のご要望を満足できるように改善に取り組んでゆく。

参考文献

- 1) 高島孝弘ほか. 鉄と鋼. 1980, Vol.66, No.11, p.S1145.
- 2) 小豆島明ほか. 鉄と鋼. 1995, Vol.81, No.12, p.42-47.
- 3) 太田恭平ほか. IFM2011講演概要 2011-9-12/15. IFM2011, 2011, p.401-405.
- 4) 日本鉄鋼協会. 鉄鋼便覧. 第VI巻. 第3版. 丸善, 1982, p.102.
- 5) 市野健司ほか. 鉄と鋼. 2003, Vol.89, No. 6, p.58-63.
- 6) 小豆島明ほか. 鉄と鋼. 1995, Vol.81, No. 1, p.64-69.