

技 術 論 文

CPC 法による熱間圧延用ワークロールの材質改善

Material Improvement of Roll for Hot Rolling by Using CPC Process



技術開発センター
第一開発室 リーダー
博士(工学) 園田 晃大
Akio Sonoda

技術開発センター
第一開発室 主任
近藤 加寿心
Kazusi Kondou

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 (Continuous Pouring process for Cladding) 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。圧延用ワークロールには耐摩耗性などの多くの特性が要求され、硬質の高速度鋼 (ハイス) 系ロールが使用されている。当社では圧延用ロールのコストパフォーマンス向上のため、ロール材質の改善を行ってきた。本稿では、特殊元素の添加によって、ハイス材のマイクロ組織の組織制御を行い、特性の評価を行った結果を報告する。特殊元素の添加によって、組織の微細化の効果が得られ、耐摩耗性などの特性改善がみられた。また、実機ロールへの改善材の適用を行った結果、従来ロールよりも優れた特性がみられた。

Synopsis:

FUJICO has been producing the rolls for hot rolling by using CPC(Continuous Pouring process for Cladding) process. The rolls for rolling require many characteristics such as abrasion resistance, therefore the rolls for rolling is clad by high-speed steel. FUJICO has improved the materials for rolling rolls to improve cost performance. In this paper, the evaluation and results of refining microstructure are reported by addition of a special element in high-speed steel. Addition of special element refines the microstructure, and improves the abrasion resistance. Developed roll with improvement material obtained good rolling results compared with the conventional roll.

1. 緒言

当社では、独自の CPC (Continuous Pouring process for Cladding) 法を用いて、製鉄所にて使用される熱間圧延用ロールの製造を行っている。この圧延用ロールとは、鋼板や棒鋼、線材などを熱間圧延するためのロールであり、使用条件によって要求される仕様が異なる。圧延用ロールに要求される代表的な特性は、耐摩耗性や耐肌荒れ性であり、近年では、従来の高クロム鋳鉄ロールや、グレン鋳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⁾。当

社においても、ハイス材を肉盛り層とした圧延用ロールを最適なロール材質などを選定して、これまで多く製造してきた²⁾。

圧延用ロールのコストパフォーマンス向上のためには、ロール性能の向上と製造コストの低減を追求しなくてはならない。当社でもこれまで多くの改善取り組みを行ってきた³⁾。本稿では、ロール性能の向上のために行ったハイスロール材質の改善取り組みについて報告する。ハイス材は、C と V、Cr、Mo、W 等の元素を含み、金属組織中に硬質の炭化物を生成

する代表的な耐摩耗材^{4),5)}である。耐摩耗性や耐肌荒れ性向上のためには、炭化物を均一に分散させる組織制御やマトリックスの組織微細化^{6),7)}が重要であるとの考えに立って、上記の効果が得られると見込まれる特殊元素を添加したハイス材を制作し、各種の特性調査を行った。

2. 試験方法

2.1 供試材

供試材は、C、V、Cr、Mo、W等の添加元素の調整を行い、Arガス雰囲気の高周波誘導炉で溶解した。溶湯温度1680℃で溶解した後、金型モールド（外径φ194mm、内径φ90mm、長さ400mm）に鋳造した。供試材の成分をTable 1に示す。C、V、Crはハイス材での含有量レベルにて一定とし、Mo+W量が多い系統（I系）と少ない系統（II系）に大別した。さらに、炭化物の均一分散や組織微細化効果が期待される特殊元素XおよびYの添加の有無で分類した。A材とE材は特殊元素の添加が無く、B材とF材は特殊元素Xのみの添加となる。C材とG材は特殊元素Yのみの添加で、D材とH材は特殊元素XとYの複合添加となっている。なお、A材が従来材に相当し、B~H材が改善材との位置づけになる。

Table 1 Chemical composition of sample materials

○: Addition

Type	No.	Composition					
		C	Cr	V	Mo+W	X	Y
I	A	Const	Const	Const	Low	-	-
	B					○	○
	C					-	○
	D					○	○
II	E	Const	Const	Const	High	-	-
	F					○	-
	G					-	○
	H					○	○

2.2 組織観察

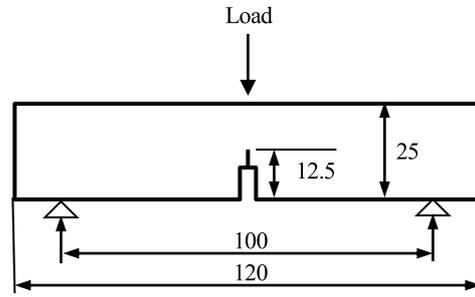
金型モールドから取り出した鋳塊の底部から30~50mmの範囲で、表層から15mmの位置にて採取した試験片を鏡面まで研磨してレーザー顕微鏡によってミクロ組織の観察を行った。試験片の腐食は、M₂CおよびM₇C₃炭化物を着色する村上試薬と、基底を着色するナイトール液を複合的に用いた。これは、初晶オーステナイト(γ)粒界に生成する共晶M₂C炭化物を腐食することによって、結晶粒の測定を容易にすることと、最終的に着色されない共晶MC炭化物の判別を容易にするためである。結晶粒径の測定は、画像解析によって初晶γの大きさを観測して行った。

2.3 強度特性評価

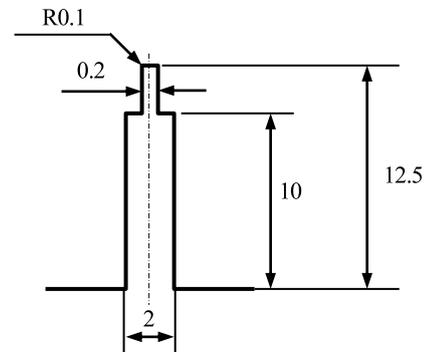
引張試験はJIS-4号試験片を用いて万能試験機を用いて測定を行った。また、破壊靱性値(K_{IC})の測定は、

Fig.1に示すような切欠きを導入した試験片を用いて、3点曲げ試験によって行った。

また、高温硬さの測定は5×5×10mmの試験片を採取して所定の温度（常温~700℃）まで加熱しながら、ビッカース硬度計で荷重1.0kgfにて行った。



(a) 3-point bending test piece



(b) Details of notched department

Fig.1 Dimensions of specimen for measurement of the fracture toughness value.

2.4 高温摩耗試験

熱間摩耗試験は当社が開発した熱間摩耗試験機⁸⁾を用いてTable 2の試験条件で行った。

Table 2 Experimental conditions of wet rolling-sliding wear test at high temperature

Counterpart material	S45C
Size of counterpart piece	φ100×15mmt
Size of test piece	φ80×10mmt
Load	10kgf
Rolling velocity	600rpm
Sliding ratio	5%
Temperature of counterpart material	600℃ & 800℃
Cooling conditions	Water cooling, 600ml/min
Test time	50min & 15min

2.5 耐熱クラック特性

12.5×25×45mm の試験片を制作し、予め所定の温度 (550~650°C) に保持された電気炉に投入し、10 分間保持した後、直ちに 25°C の水中 (15L) へ浸漬し、浸透探傷試験法によって試験片表面に発生するクラックの有無を確認した。

3. 試験結果及び考察

3.1 組織観察結果

I 系の A~D 材のマイクロ組織を Fig.2 に、II 系の E~H 材のマイクロ組織を Fig.3 に示す。それぞれ上段の組織が低倍率、下段の組織が高倍率で観察した像となっている。黒く着色されている箇所が共晶 M_2C 炭化物であり、その中に囲まれた粒が初晶 γ 二次デンドライトアームスペーシング (以下 2-DAS と記す) となっている。この 2-DAS の測定結果については Fig.4 に示している。また、着色されていない白い粒が共晶 MC 炭化物となる。

I 系、II 系ともに、特殊元素 X、Y を添加した材料の 2-DAS が比較的小さい傾向があり、結晶粒微細化効果が確認された。ただし、特殊元素 X のみを添加した B 材や F 材よりも、特殊元素 Y が添加されている C 材、D 材、G 材、H 材の方が、結晶粒が小さい傾向があった。すなわち、特殊元素 Y の結晶粒微細化の効果が大きいと言える。

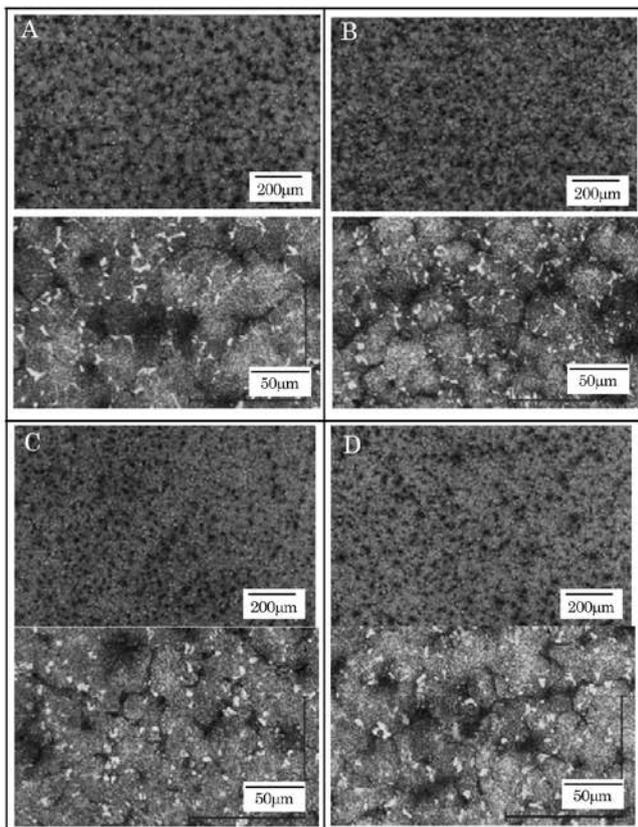


Fig.2 Microstructures of test specimens. (Type I material)

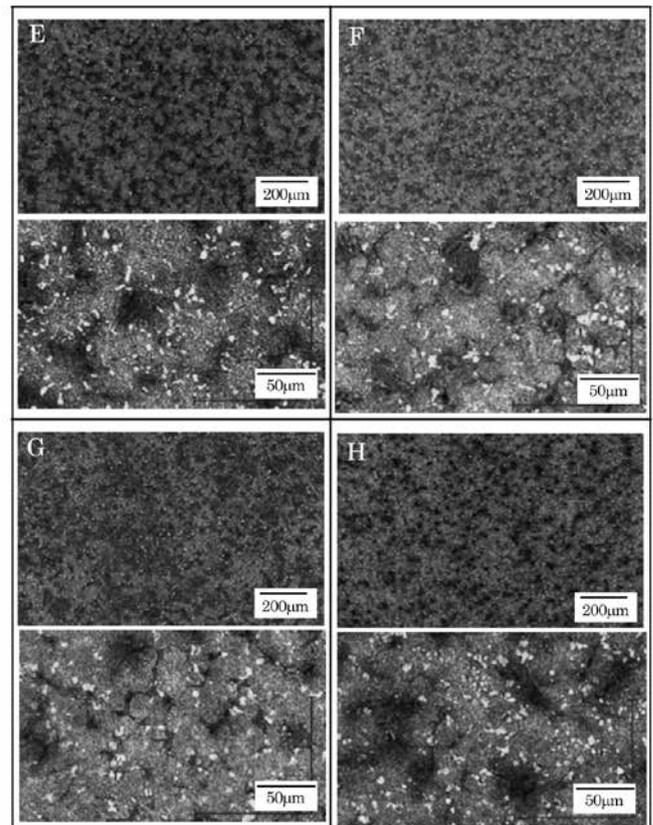


Fig.3 Microstructures of test specimens. (Type II material)

また共晶 MC 炭化物については、特殊元素の添加が無い A 材や E 材では、きれいな粒状ではなく、一部ひも状の形状がみられるなど、形状がやや不均一であったのに対し、他の特殊元素添加材では、きれいな粒状となっていた。さらに、分散化効果も同様に特殊元素 X、Y を添加した材料にみられ、特に特殊元素 Y の影響が大きい傾向があった。

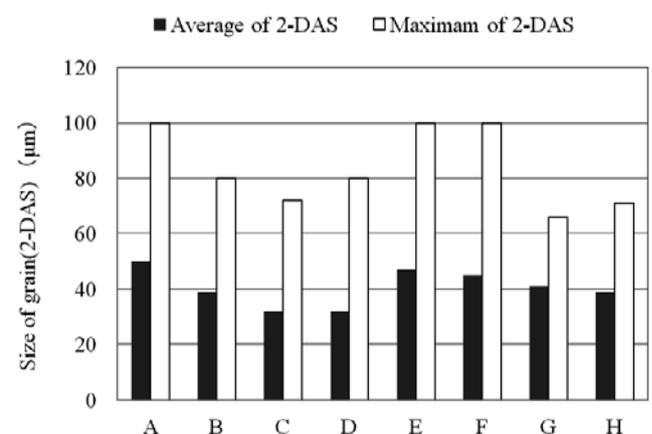


Fig.4 Grain size of 2-DAS.

3.2 強度特性

引張強度の測定結果を Fig.5 に、破壊靱性値の測定結果を Fig.6 に示す。全体的には、引張強度、破壊靱性値ともに I 系に比べて II 系の方が低い傾向がみられた。引張強度については、I 系、II 系ともに特殊元素

Xのみの添加がB材、F材のように強度を低下させる方へ作用する傾向がみられた。ただし、特殊元素Y添加の強度低下への影響は、さほど認められず、C材、G材については、B材、F材よりも強度は向上しており、D材、H材（特殊元素X、Y複合添加）ではさらに強度の改善が確認された。

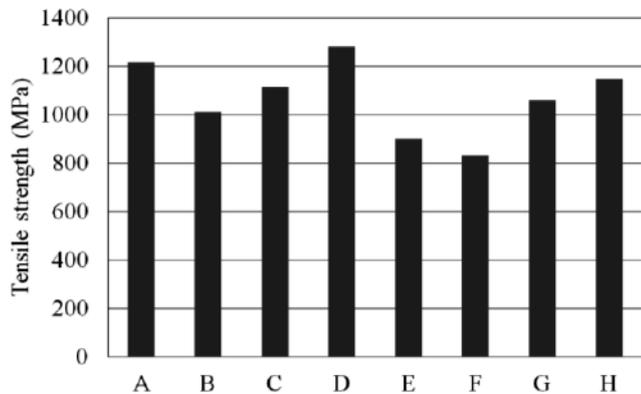


Fig.5 Results of tensile strength tests.

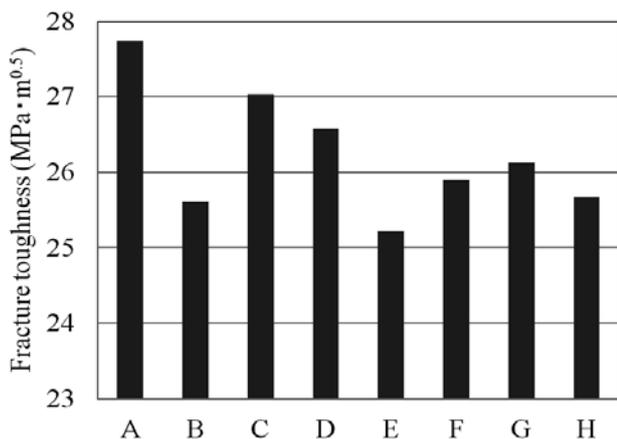


Fig.6 Results of fracture toughness tests.

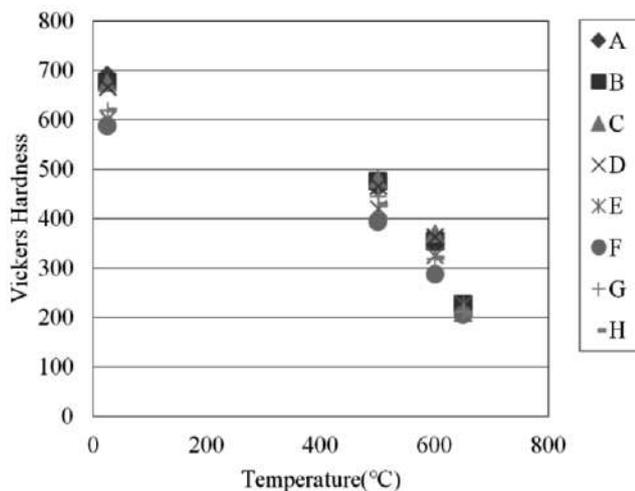


Fig.7 Effect of measurement temperature on Vickers hardness.

破壊靱性値については、I系では特殊元素Xの添加が著しく低下させてしまうが、特殊元素Y添加の影響は少なかった。II系では、特殊元素X、Yともに添加による破壊靱性値の改善が認められた。

Fig7に示す高温硬度については、初期（常温）硬さの影響で、測定結果に範囲はあるものの、いずれの材質も600°Cより高温では急激に硬度低下する傾向を示しており、特筆するほどの大きな差は無いといえる。

3.3 高温摩耗試験

高温摩耗試験結果を Fig.8 に示す。なお、A材の摩耗量を基準（1.0）として、他の材料との耐摩耗性を比較している。I系に比べてII系の方が、比較的耐摩耗性が良好である傾向がみられた。また、B材やF材のように、特殊元素Xのみの添加による耐摩耗性への効果はほとんどなかったが、C材やG材のような特殊元素Yの添加、およびD材やH材のような特殊元素XとYの複合添加材は耐摩耗性を向上させ、特に複合添加材が最も良い結果となった。

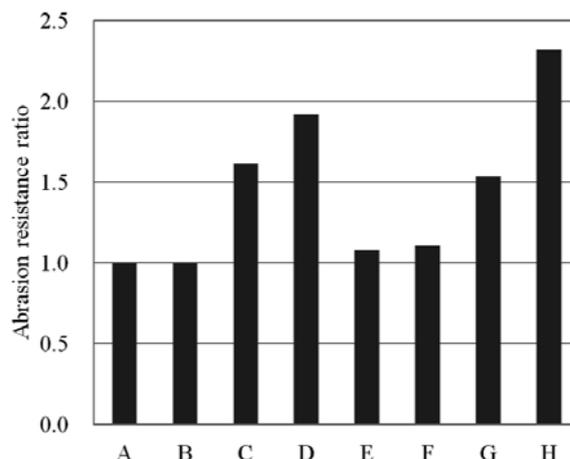


Fig.8 Results of hot wear tests.

3.4 耐熱クラック特性

耐熱クラック試験の結果を Table 3 に整理する。I系の方がII系と比べて、より高温度までクラックが発生しない傾向があり、耐熱クラック性は優位であった。また、I系、II系ともに特殊元素Xの添加材は耐熱クラック性を低下させ、特殊元素Yの添加材は耐熱クラック性を改善する傾向があった。

3.5 添加元素の影響

特殊元素X、Yともに、添加による初晶γの微細化効果が認められ、特に特殊元素Yの影響が強かった。ただし、特殊元素Xのみの添加では、強靱性や耐摩耗性を劣化させる結果となった。Table 4 に統合型熱力学ソフトウェアのサーモカルク⁹⁾によって予想した凝

Table 3 Results of thermal shock test

No.	Temperature (°C)		
	550	575	600
A	○	○	×
B	○	×	
C	○	○	×
D	○	×	
E	○	×	
F	×		
G	○	○	×
H	×		

○:No crack, ×:Crack

固直後の固相割合を示すが、特殊元素 X 添加材では、初晶 γ の割合が少なく、微細効果が少ないことにより、靱性を低下させ、耐摩耗性にも影響するものと考えられる。

一方で、特殊元素 Y の添加材では、靱性の低下は無く、耐摩耗性を付与する結果となった。さらに特殊元素 X、Y の複合添加では、特殊元素 X 添加のマイナス効果をカバーし耐摩耗性をより向上させる。これらの現象は、特殊元素 Y 添加による優れた結晶粒の微細化効果の影響であると考えられる。

Mo+W の添加量が異なる I 系と II 系の材質を比較すると、耐熱クラックの評価からもわかるように、Mo+W 量の少ない I 系の材質の方がクラック発生に対する抵抗が大きく、実際のロール使用における耐事故性が高いといえる。これは、クラックの伝ば経路となりやすい Mo や W を主とする共晶 M_2C 炭化物の生成量が、I 系の方が少ないことが影響したものと考えられる。

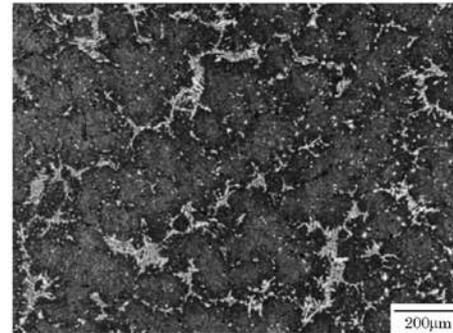
そこで、当社では実機への改善材の候補として、「耐事故耐摩耗型」として C 材、D 材、また、「超耐摩耗型」として H 材を抽出することとした。

Table 4 Solid phase percentage of materials

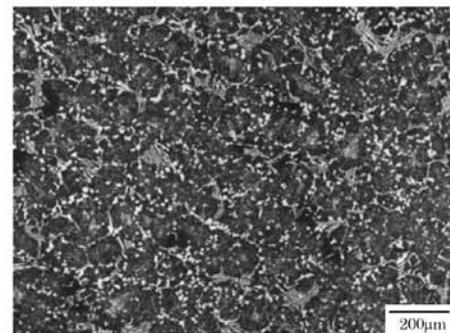
No.	Solid phase percentage (%)			
	Primary γ	Eutectic MC	Eutectic M_2C	Eutectic γ
A	32.0	12.0	0.0	56.0
B	11.0	12.5	0.0	76.5
C	31.5	12.0	0.0	56.5
D	8.7	12.2	0.0	79.1
E	28.0	12.2	1.0	58.8
F	7.0	12.6	1.0	79.4
G	27.0	13.2	1.0	58.8
H	6.8	13.2	1.0	79.0

3.6 実機への適用結果

今回評価を行った材質から「超耐摩耗型」の H 材を選定して CPC 法による圧延用ワークロールの製造を行った。製造したロールの金属組織を比較のため従来ロールの金属組織と合わせて Fig.9 に示す。



(a) Conventional

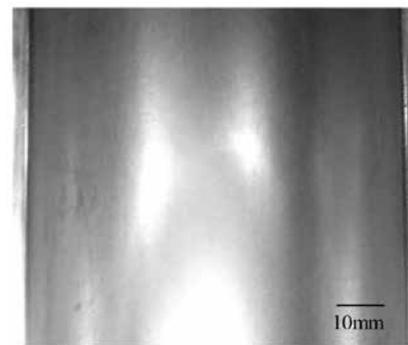


(b) Developed

Fig.9 Microstructures of CPC roll.



(a) Conventional



(b) Developed

Fig.10 Comparison of CPC roll surface texture.

実際のロール製造においても、従来ロールよりも結晶粒が微細化していると共に、炭化物がより均一分散している様子が確認された。また、Fig.10 に使用中のロール表面状態を示す。従来のロールには肌荒れ模様がかったが、H材を適用した圧延用ロールは表面の状態が滑らかであり、肌荒れの発生が起きていなかった。また、耐摩耗性も良好であり、従来ロールと比べて1.3倍の耐久性の向上が期待できる。

4. まとめ

特殊元素を添加したハイス材の特性評価を行い、以下の結果が得られた。

- 1) 特殊元素の添加によって、結晶粒が微細化する効果が確認された。今回の調査では、特に特殊元素 Y の効果が大きかった。
- 2) 特殊元素 X のみの添加では、強度や靱性が低下する傾向があったが、特殊元素 Y のみの添加では、低下への影響が少なく、一部では改善効果も見られた。特殊元素 X と Y の複合的な添加では、単独での添加と比べて強度の改善がみられた。
- 3) 高温摩耗特性では、特殊元素 Y 添加の効果が大きく、特殊元素 X と Y の複合的な添加ではさらに改善する結果となった。
- 4) 耐熱クラック特性では、特殊元素 Y の添加で改善効果がみられた。
- 5) 特殊元素 X と Y を複合的に添加した実際の圧延用ロールにおいても、組織微細化や耐肌荒れ性の向上、耐摩耗性の向上など優れた効果が得られた。

参考文献

- 1) 橋本光生：フジコー技報12(2004) 23
- 2) 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3(1995) 10
- 3) 園田晃大、花田喜嗣、牟用煥、姜孝京、永吉英昭：フジコー技報23(2015) 25
- 4) 市野健司、小関智也、豊岡高明、平岡久、片岡義弘：まてりあ、39-2 (2000) 181
- 5) 大城桂作、小野幸徳、周宏、宮原宏郁：鉄と鋼 81-9 (1995) 44
- 6) 若生昌光：まてりあ、35-12 (1996) 1311
- 7) 高田啓督、越智達朗、石川房男、安田茂、前田千芳利：日本金属学会報、6 (1993) 429
- 8) 坂本眞一：フジコー技報5(1997) 39
- 9) B.Sundman, B.Jansson and J.O.Andersson: Calphad, 9(1985), 153.