

技術論文

多成分系合金における炭化物形態の抗折力への影響

Influence of Carbide Forms on Bending Strength in Multi-component Alloys



技術開発センター
尾崎 健一
Kenichi Ozaki

技術開発センター
芳谷 和政
Kazumasa Yoshitani

要旨

多成分系合金である高速度鋼（ハイス材）は、極めて硬質なMC, M_2C , M_7C_3 炭化物にて耐摩耗性を得ているが、これら炭化物のうち M_2C , M_7C_3 は連鎖状形態を示し、使用環境によっては亀裂の進展ルートとなり、破壊に至る場合がある。合金成分や熱間鍛造による炭化物の形態への影響については、盛んに研究が行われているが、機械的性質に及ぼす影響については報告例が少ない。そこで本研究では、炭化物の形態がハイス材の抗折力へどう影響するかを検討した。

その結果、ハイス材の硬度と抗折力の関係は、一般鋼材と同様であり、連鎖状の炭化物を抑制すれば、抗折力が向上できることを明らかにした。また抗折力試験における亀裂の伝播は、実装ロールに類似しており、本研究はロール材質の特性評価に有効な手段になることを提言した。

Synopsis:

High-speed tool steels of multi-component alloys keep wear resistance with extremely hard carbides. There are cases where they are led to break, in order that M_2C and M_7C_3 may show forms like chains and become propagation routes of cracks in some environment. Influences of alloy components and hot forgings on their carbide forms are studied prosperously, but reports about those on their mechanical properties are few.

Then in the paper, investigation was made with regard to influence of carbide forms on bending strength in high-speed tool steels.

As a result it was made clear that the relation between hardness and bending strength in high-speed tool steels was the same with general steels, and bending strength could be improved with controlling of carbide forms like chains. We also suggested propagation of cracks in bending tests was similar to that in practical rolls, and these investigations became effective means on estimation of roll materials.

1 緒言

多成分系合金である高速度鋼（以下ハイス材と称する）は、Cr, Mo, V, W等の添加により、極めて硬質なMC, M_2C , M_7C_3 炭化物を、晶出または析出することを特徴とし、優れた耐摩耗性を有することから、圧延用ロール材として開発が進められている。その実装評価の高まりと共に、より荷重の高い圧延への適

用が期待されている。

しかしながら高い圧延負荷の下では、耐摩耗性に寄与する M_2C , M_7C_3 等の共晶炭化物が連鎖状の組織形態をもつことから、亀裂の進展ルート（クラックパス）となり、破壊事故の起因となることが広く知られている。

これまでC-Cr-V含有量の調整によって、MC炭化物

が晶出し、炭化物の組織を分散し得ることは、多くの文献*1で紹介されているが、機械的物性に及ぼす影響については、報告例が少ない。

そこで本研究では、一般に用いられる圧延用ロール材のCr,Vの含有量を調整した場合、また熱間鍛造によって炭化物の形態を変化させた場合の炭化物の組織形態と機械的物性の関係について検討した。

検討した機械的特性は、耐摩耗性に関わる要項として、ピッカース硬度計を用いた常温硬度、および破壊に関わる要項として、3点曲げ試験による抗折力の二点である。

2 クラックパスについて

従来、高い圧延荷重の下で多く用いられる一般的なアダマイトでは、主に遊離セメントライトによる炭化物の面積率が約5%で、基地はパーライトからなっている。一方、ハイス材ではMC, M₂C, M₆Cなど炭化物の面積率が、3倍の約15%で、基地は焼き戻しマルテンサイトである。

Fig.1は、実際の圧延に供されたハイス材のロールに発生したクラックの状態であり、クラックは連鎖状の形態をもつM₂C共晶炭化物を、縫うように進展していることが分かる。

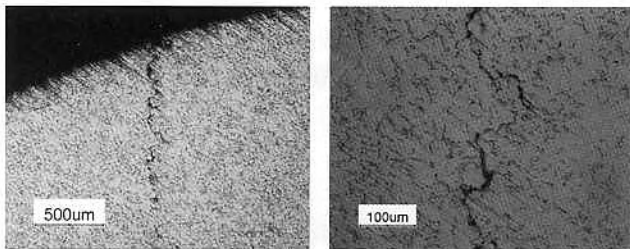


Fig.1 Micro-structure of crack broken out with carbides

Fig.2は連鎖状の炭化物を形成するM₂C型炭化物を、SEMにより観察した写真であり、Fig.3は炭化物周辺のCr, VおよびMoの分布状態を、EDSにより解析した結果を示したものである。Fig.3から、炭化物にはこれらの成分濃度が高くなっていることが分かる。

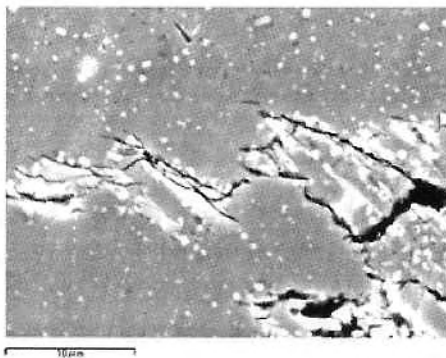
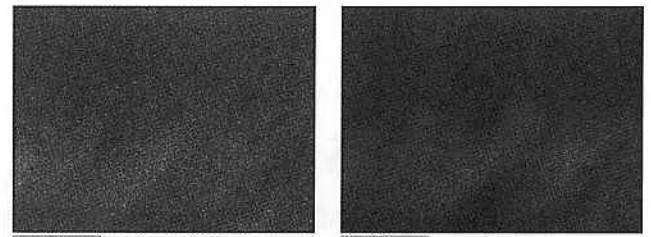
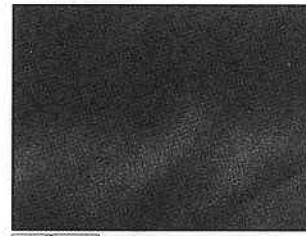


Fig.2 Micro-structure of cracks by SEM



(a) Cr - k α

(b) V - k α



(c) Mo - k α

Fig.3 Analysis results of Cr-k α , V-k α and Mo-k α by EDS

3. 実験方法

供試材は、一般のハイス材を基本に、Fig.4およびFig.5を参考にし、Fig.3の結果から、CrとVの含有量を調整して製作した。供試材1はオーステナイトが初晶となるように7mass % Cr - 3mass % Vとし、供試材2は3 mass % Cr - 7mass % Vとすることで、過共晶域に位置し、初晶はVを核としたMC炭化物が晶出する組成とした。

準備した供試材の合金組成をTable 1に示す。

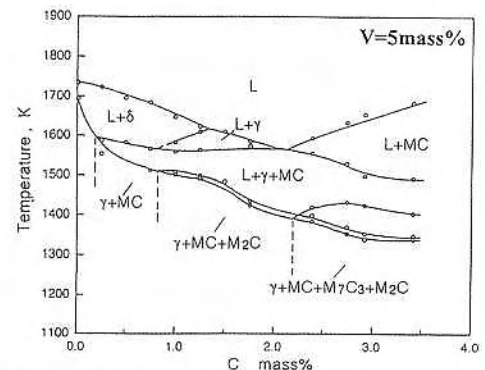


Fig.4 Quasi-binary section phase diagram of M-C system (M=Fe-5Cr-5V-5Mo-5W-5Co)

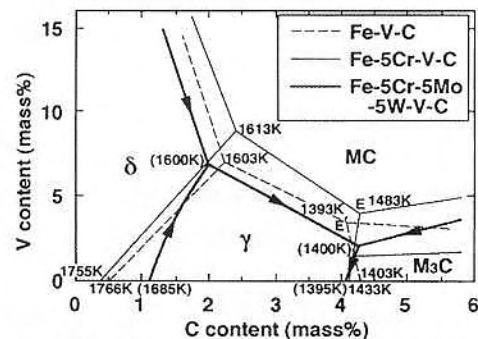


Fig.5 Influence of Cr, Mo and W on the diagram for liquidus surface of Fe-X-V-C alloys (X=Cr, Mo, W)

Table 1 Chemical compositions of specimens (mass%)

Specimen No.	C	Cr	V	Mo	W	Co
1	2	7	3	4	2	2
2	2	4	7	4	2	2

供試材の製作は、一般に市販される銑鉄、フェロクロム、フェロモリブデン、フェロバナジウム、フェロタンゲステンおよび金属コバルト等を合金原料とし、カーボンの成分調整には黒鉛電極を用いた。これら原料の成分を調整した後、アルゴン雰囲気の高周波炉にて溶解して、約1823Kから鑄型に流しこみ鑄造した。

鑄造した供試材のうち試料 (Specimen) 1 を1153Kで10時間保持した後常温まで焼きなまし、1323Kで10時間保持した後衝風焼き入れを行った。引き続き813Kで焼き戻しを1回施し、2回目以降の焼き戻し温度は、793Kから20K毎に853Kまで変更し、最高焼き戻し温度を確認した。これらの試験片 (T.P)は、最高焼き戻し温度に応じて、1_793, 1_813, 1_833, および1_853と符号した。

次に炭化物の組織形態に変化を与える目的で、焼きなましまで施した試料1に熱間鍛造した。鍛造条件は終始温度を950℃とし、鍛錬成形比3.0Sまで鍛伸鍛造を行った。鍛造後の試料は200℃以下まで徐冷した後、他の試料と同様に1323Kで衝風焼き入れを行い、813Kで焼き戻しを1回施して、試料1で最高の焼き戻し硬度を得た条件にて、2回目の焼き戻しを行った。このT.Pを、1_Fと符号した。

また試料2については、鑄造後、焼きなましに続いて、1323Kで衝風焼き入れを行い、813Kで焼き戻しを1回施した後に、1_Fと同様の813Kにて、2回目の焼き戻しを行った。このT.Pは、2_813と符号した。

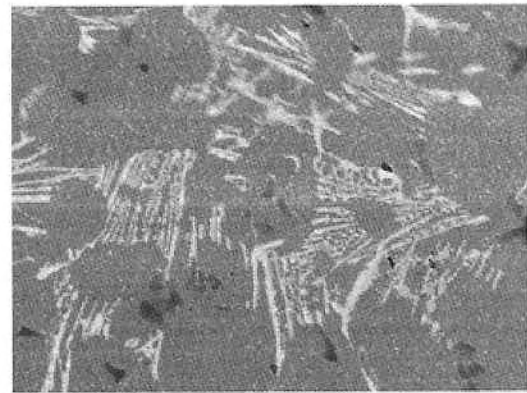
こうして得られた試料から、硬度測定と金属組織の観察用の試験片 (T.Pサイズ30×30×30mm) および抗折力試験材 (T.Pサイズ8W×4H×24L) を製作した。

4. 結果および考察

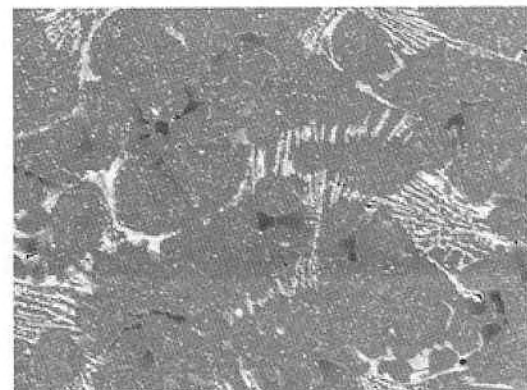
4-1 金属組織の比較

熱間鍛造および配合組成を変更した試験片の金属組織の例をFig.6に示す。熱間鍛造を施したT.P - 1_Fでは、連鎖状の炭化物が分断されており、焼き戻しにより粒内に炭化物の析出量が増す傾向が観察された。これらの結果から、鍛造過程で炭化物の再固溶があったものと推察される。

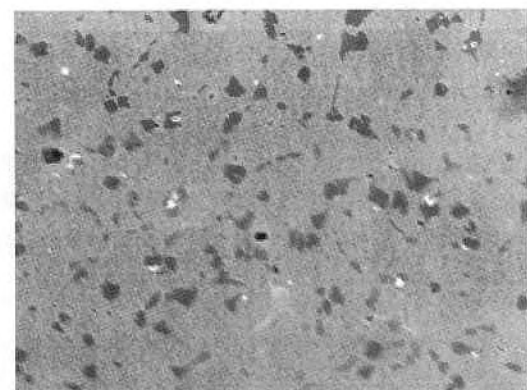
また、粒状のMC炭化物が晶出するように組成を調整したT.P - 2_813では、連鎖状の炭化物が、ほぼ消滅し、図中に黒く観察されるMC炭化物の面積率が増加しているのが確認された。



(a) T.P- 1_813



(b) T.P- 1_F



(c) T.P- 2_813

Fig.6 Micro-structure in each T.P

4-2 熱処理条件が硬度に及ぼす影響

Table2に各熱処理条件の試験片における硬度の測定結果を示す。2回目の焼き戻しを813Kで処理したT.P- 1_813が最高の焼き戻し硬度を示し、比較のた

め、熱間鍛造を施したT.P-1_Fにおいても、この値に近似する硬度を示している。また成分組成を調整したT.P-2_813材は、ピッカース硬度で20~30程度の硬度低下は認められたが、この原因はFig.6で示したように、炭化物の析出量が、他の条件に比して少ないことによるものと考えられる。

Table 2 Data of hardness on each T.P No.

T.P No.	Specimen No.	Forging	Quench	Tempering 1	Tempering 2	Hardness Hv
1_q	1		1327K	Non	Non	904
1_l				Non	707	
1_793				793 K	685	
1_813				1.0S	813K	713
1_833					833K	648
1_853					853K	568
1_F				3.0S	813K	705
2_813				2	1.0S	

4-3 抗折力

3点曲げ試験には、材料の曲げに対する抵抗力を調べる抗曲試験と、極端に曲げた場合に裂け目などが発生するかどうかを調べる屈曲試験がある。本研究では、破断するまで変形させ、破断に要する力を求める抗曲試験を行った。3点曲げ試験における応力は、次の式によって、試験片の破断応力 σ が求められる。

$$\sigma = FL/4Z$$

$$Z = bt^2/6$$

- F: 荷重[N]
- b: 試験片の幅[m]
- L: 支点間の距離[m]
- t: 試験片の厚さ[m]
- Z: 断面係数[m³]

その結果、Fig. 7で示すように、T.P-2_813が最も優れた値を示し、次に鍛造を加えたT.P-1_F、3番目が最高の焼き戻し硬度を示したT.P-1_813の順となり、以降、T.Pの硬度の低下に従い、抗折力も同様に低下する傾向が確認された。

Table 3にT.Pの硬度と抗折力試験の結果との関係を整理した。試料 (Specimen) - 1群では、抗折力への硬度の影響は認められるが、T.P-2_813はT.P-1_813より硬度が低いにも関わらず、抗折力試験では高い結果を示している。Fig.8に抗折力試験で破壊した形態の一例を示す。

この(a)では実機ロールと同様、連鎖状の炭化物を伝播するクラックが観察され、この結果から T.P-1_813は、実装時の破壊状態を再現したものと捉えられる。

一方、Fig.7の(b)に示したT.P-2_813では、連鎖状の炭化物が消滅しており、クラックパスが分断されたものと推察される。

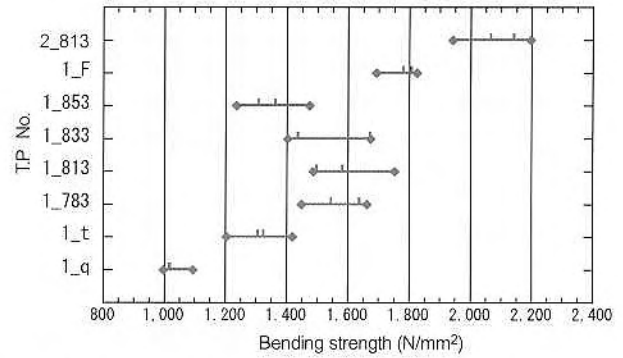
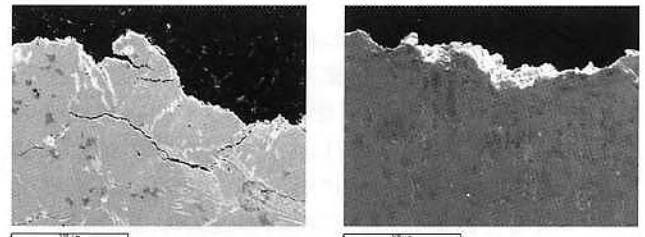


Fig.7 Test results of bending strength on each T.P



(a) T.P-1_813 (b) T.P-2_813

Fig.8 Micro-graph near destruction in bending tests of T.P-1_813 and T.P-2_813

Table 3 Relation between hardness (Hv) and bending strength.

T.P No.	Hardness	Bending strength
	Hv	N/mm2
1_q	904	1019
1_t	707	1316
1_793	685	1615
1_813	713	1522
1_833	648	1553
1_853	568	1336
1_F	705	1590
2_813	685	2132

5 結言

本研究では、多成分系合金の高速鋼（ハイス材）における炭化物の形態が抗折力（曲げ）強度に及ぼす影響について検討を行った。得られた研究成果を要約すると、次の通りである。

- (1) ハイス材においても、硬度と抗折力の関係は、一般の鋼材と同様である。
- (2) ハイス材に熱間鍛造を施すことによって、硬度を損なうことなく、抗折力の向上が可能である。

(3) 破壊の経路となる連鎖状の炭化物を抑制することで、抗折力の向上が可能である。

(4) 抗折力試験における破壊クラックの伝播特性は、実装ロールに類似しており、本試験はロール材質の特性評価に有効な手段となる。

今後、ロールの材質に関する特性評価の項目として、耐熱亀裂性および耐肌荒れ性を加え、さらに耐摩耗性にも考慮した材料の開発を推進することが課題である。

〔参考文献〕

- 0) *1 大城桂作 フジコー技報 No.4 P9
- 1) 坂本真一, 斉藤弘道, 武 広強, 松原安宏 フジコー技報 No.2 P14
- 1) 橋本光生, 久保修, 笹栗信也, 松原安宏 鑄造工学 第75巻 第5号
- 2) 廣瀬政憲, 山本郁, 岡本誠之, 大城桂作 鑄造工学 第75巻 第7号
- 3) 橋本光生, 久保修, 笹栗信也, 松原安宏 鑄造工学 第75巻 第7号
- 4) 橋本光生, 久保修, 笹栗信也, 松原安宏 鑄造工学 第76巻 第3号
- 5) 横溝雄三, 笹栗信也, 南條潔, 松原安宏 鑄造工学 第74巻 第1号
- 6) 西内滋典, 山本悟, 田辺晃生 鑄造工学 第74巻 第5号
- 7) 横溝雄三, 笹栗信也, 南條潔, 松原安宏 鑄造工学 第74巻 第11号
- 8) 日本塑性工学会編 棒線・形・管圧延, 1991