

高C-高V高速度鋼の炭化物と切削耐久力について

Study on the Carbides and Cutting Durability of High C-High V High Speed Steel

小 柴 定 雄* 木 村 伸** 原 田 英 樹**
Sadao Koshiba Shin Kimura Hideki Harada

内 容 梗 概

日立金属工業株式会社の製品である高C-高V高速度鋼(XVC1)における、焼鈍ならびに焼入、焼戻組織の炭化物を電解分離法によって分離定量し、化学分析、X線回折および電子顕微鏡などにより炭化物量およびその化学組成、炭化物の種類とその組成比などを究明し、またその形態を観察するとともに炭化物量と切削耐久力との関係を明らかにした。

高C-高V高速度鋼(XVC1)の焼鈍組織における炭化物は、ほかの各種高速度鋼と同様に M_6C 、 $M_{23}C_6$ およびMCの3種の炭化物が存在し、 M_6C が主体をなしているが、MCの含有量が多く、焼入によって M_6C の一部および $M_{23}C_6$ は基質に固溶し、 $MC+M_6C$ となり、MCが主体である。これは本鋼種の特色である。

焼戻によって、微細な炭化物が析出し、とくに575°C付近から炭化物の析出量が急増し、750°C以上では $M_{23}C_6$ も析出する。

なお、高C-高V高速度鋼は、基質に分散しているMC炭化物の析出量が多いために切削耐久力がすぐれている。

1. 緒 言

著者らは、さきに各種高速度鋼における熱処理と炭化物の挙動について種々報告し^{(1)~(4)}、さらに炭化物と切削耐久力との関係についても報告した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。今回は、切削耐久力にすぐれた性能を示す高C-高V高速度鋼について、焼鈍、焼入および焼戻などの各熱処理状態における炭化物の量、化学組成、結晶構造および形態などを究明し、さらに炭化物と切削耐久力との関係について各種高速度鋼と比較検討した。

2. 試料および実験方法

今回の実験に用いた試料は、高C-高V高速度鋼(XVC1)で、第1表にその化学成分を示す。

第1表には、既報⁽⁶⁾の各種高速度鋼の化学成分をも列記して炭化物量、切削性能などの比較検討の参考とした。

2.1 試料の熱処理および電解条件

高C-高V高速度鋼試料の熱処理条件を示すと次のとおりである。

焼 鈍	880°C×2 h
焼 入	900°C×5 min (塩浴中) 予備加熱 1,260°C×2 min (塩浴中) 油冷
焼 戻	300, 500, 575, 650°Cおよび750°C×1 h

上記のように各熱処理せる試料を表面研磨して、10mmφ×80mm $\bar{l}$ に仕上げ、ベンゾールで洗浄して表面積、重量を測定し、これを炭化物電解分離の試料とした。

炭化物の電解分離法としては、電解液として中性のクエン酸ソーダ溶液を使用する、いわゆるP.Klinger, W.Koch⁽⁷⁾の装置があるが、分離後の炭化物の收拾がやっかいであり、本研究では佐藤教授らの使用された装置⁽⁸⁾とほぼ同様な装置を用い、塩酸法によった。次にその電解条件を示す。

電流密度	10 mA/cm ²
電 解 液	0.2 NHCl+5% クエン酸溶液
電解時間	20~50 h

分離した炭化物は、アルカリ処理を行い、ゲル状となって炭化物

第1表 試 料 の 化 学 成 分

鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V
XVC1	1.38	0.32	0.35	0.009	0.013	0.12	3.90	8.07	0.97	4.03
YX 1	0.80	0.21	0.29	0.017	0.003	0.06	4.18	10.91	0.16	1.79
YHX2	0.79	0.16	0.29	0.018	0.005	0.08	4.06	17.88	0.51	0.80
YXM1	0.86	0.13	0.29	0.022	0.006	0.03	3.85	7.19	4.91	1.77

に混入するおそれのある珪酸塩などを除去し、アルコールで洗浄したのち、真空乾燥して以後の実験の試料とした。

2.2 炭化物の化学分析

上記の電解条件によって分離抽出した粉末状の炭化物の化学組成を検討するため化学分析した。(各元素の分析方法省略)

2.3 炭化物のX線回折

粉末状炭化物の結晶構造を究明するために、Norelco X線回折装置を使用し、FeおよびCuを対陰極として炭化物のX線回折を行い、自記記録装置により記録された回折線のチャートを解析して炭化物の種類およびその組成比の変化を追求した。

2.4 炭化物の電子顕微鏡による観察

粉末状炭化物をコロジオン上に分散させ、電子線によるコロジオン膜のき裂を防ぐために炭素を蒸着させて補強し、日立製作所製HU-8透過形電子顕微鏡により数視野撮影して炭化物の形状を観察した。

3. 実験結果および考察

前述の実験方法に従い、各熱処理試料を電解して得た炭化物について、化学分析、X線回折および電子顕微鏡により、その化学組成、結晶構造および形状などを究明した。

3.1 炭化物の化学分析結果

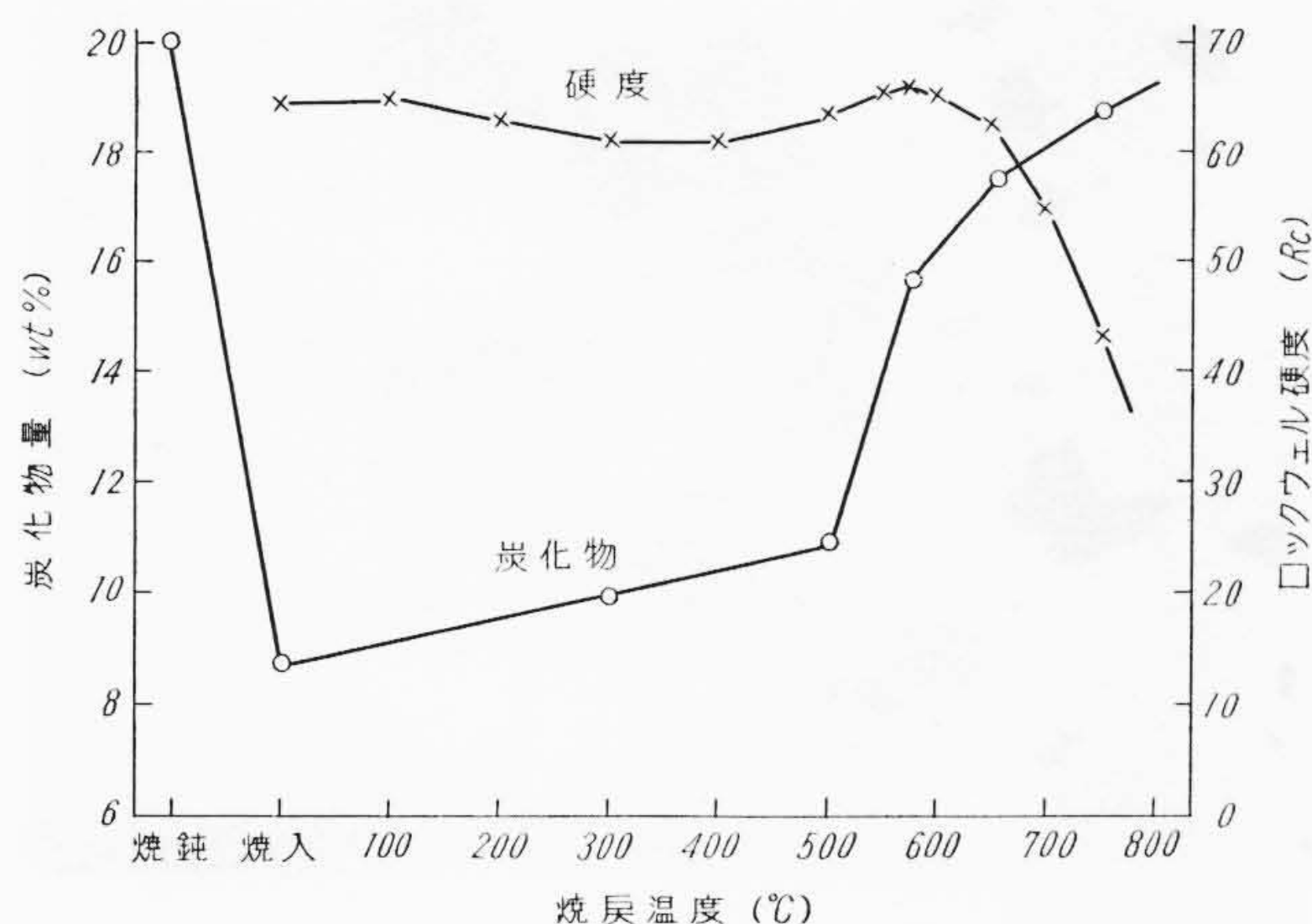
電解分離して得た炭化物の化学分析結果およびこの化学組成から算出した基質の化学組成を第2表に示す。

また第2表の結果から、各熱処理における炭化物量と試料の硬度の変化を第1図に示した。

さらに、第2表の炭化物量および化学組成から、試料の各熱処理における組織別の化学成分を表わすと第3表に示すとおりであり、試料中に含有する各種元素の炭化物に濃縮される度合(試料中の含有量に対する炭化物中の元素含有量を百分率で表わしたもので、濃

* 日立金属工業株式会社安来工場 工博

** 日立金属工業株式会社安来工場



第1図 焼戻温度と炭化物量および硬度との関係

第2表 炭化物および基質の化学組成 (XVC 1)

熱処理	炭化物量 (wt %)	炭化物の組成 (%)					基質の組成 (%)				
		C	Cr	W	Mo	V	C	Cr	W	Mo	V
焼鈍 (880°C)	20.03	6.88	10.75	37.50	4.15	19.78	—	2.19	0.70	0.18	0.09
焼入 (1,260°C)	8.34	4.80	3.74	24.35	3.60	19.19	1.07	3.92	6.59	0.73	2.65
焼 300°C	9.95	6.93	3.53	25.24	3.52	18.50	0.77	3.94	6.17	0.69	2.43
焼 500°C	10.93	8.87	4.28	31.13	3.84	18.30	0.46	3.85	5.24	0.62	2.28
焼 575°C	15.72	7.44	7.44	31.95	3.82	18.58	0.25	3.24	3.62	0.44	1.32
焼 650°C	17.58	7.05	8.65	34.10	4.10	19.12	0.17	2.89	2.51	0.30	0.81
焼 750°C	18.82	6.96	9.95	37.30	4.25	19.56	0.09	2.50	1.29	0.21	0.43

第3表 試料の組織別化学成分 (XVC 1)

	炭化物の含有量 (%)					基質の含有量 (%)				
	C	Cr	W	Mo	V	C	Cr	W	Mo	V
焼鈍	1.38	2.15	7.51	0.83	3.96	0	1.75	0.56	0.14	0.07
焼入	0.40	0.31	2.03	0.30	1.60	0.98	3.59	6.04	0.67	2.43
焼 300°C	0.69	0.35	2.51	0.35	1.84	0.69	3.55	5.56	0.62	2.19
焼 500°C	0.97	0.47	3.40	0.42	2.00	0.41	3.43	4.67	0.55	2.03
焼 575°C	1.17	1.17	5.02	0.60	2.92	0.21	2.73	3.05	0.37	1.11
焼 650°C	1.24	1.52	6.00	0.72	3.36	0.14	2.38	2.07	0.25	0.67
焼 750°C	1.31	1.87	7.02	0.80	3.68	0.07	2.03	1.05	0.17	0.35

第4表 各種元素の炭化物への濃縮率

熱処理	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
焼鈍	100.00	9.38	22.86	55.13	93.06	85.57	98.26
焼入	28.99	3.13	10.00	7.95	25.15	30.93	39.70
焼 300°C	50.00	3.13	11.14	8.97	31.10	36.08	45.66
焼 500°C	70.29	3.13	12.00	12.05	42.13	43.30	49.63
焼 575°C	84.78	6.57	16.29	30.00	62.21	61.86	72.46
焼 650°C	89.86	9.38	18.00	38.97	74.35	74.23	83.37
焼 750°C	94.93	9.38	21.50	48.02	86.74	82.47	91.32

縮率で示す) を第4表に示す。

なお二次硬化現象により最高硬度を示す 575°C 焼戻試料について炭化物および基質の化学組成を、すでに報告した⁽⁶⁾各種高速度鋼の場合と比較して第5表に示す。

これらの結果から、高C-高V高速度鋼の炭化物は、ほかの高速度鋼に比較して鋼中のC、V含有量が高いことから当然これらC、Vの含有量も増加している。しかし炭化物量はCが多いにもかかわらずYX 1高速度鋼と同程度である。これは、YX 1そのほかの高速度鋼の炭化物はM₆Cが主体であったのに対し、本鋼種ではCのしめる割合が大きいMC形の炭化物が多く存在するためと推察され、VCが主体であると考えられる。

しかし焼入、焼戻などの熱処理による炭化物の化学組成の変化は

第5表 各種高速度鋼の炭化物および基質の化学組成 (575°C焼戻)

鋼種	炭化物量 (wt %)	炭化物の組成 (%)					基質の組成 (%)				
		C	Cr	W	Mo	V	C	Cr	W	Mo	V
XVC 1	15.72	7.44	7.44	31.95	3.82	18.58	0.25	3.24	3.62	0.44	1.32
YX 1	14.46	4.64	8.79	46.05	0.58	6.38	0.15	3.40	4.97	0.09	1.02
YHX 2	23.54	3.03	6.60	54.93	1.38	1.97	0.10	3.28	6.47	0.25	0.44
YXM 1	17.67	4.19	7.19	28.52	20.52	3.91	0.15	3.13	2.61	1.55	0.95

第6表 炭化物のX線分析結果 (XVC 1)

炭化物	熱処理 (1,260°C)	焼戻					焼鈍 (880°C)
		300°C	500°C	575°C	650°C	750°C	
M ₆ C	12	12	14	12	11	54.5	63.5
M ₂₃ C ₆	0	0	0	0	0	Tr	7.5
MC	88	88	86	88	89	45.5	29.0

ほかの高速度鋼の場合とほぼ同一の傾向を示し、

(1) 焼入によって焼鈍状態における炭化物量の約60%がオーステナイトに固溶し、約40%が未溶解炭化物として残存し、Cは約70%が基質に固溶している。

(2) 焼戻によって炭化物量は漸次増加し、炭化物中のC、Cr、Wなどの含有量は増加し、Feは逆に減少の傾向にあり、Feとこれら合金元素の置換、析出反応が進行しているものと思われる。

(3) 575°C焼戻において、炭化物量が急増し、炭化物中の各合金元素の含有量も急増してこれら元素の拡散が盛んとなる。これは本鋼種の二次硬化の最高値を示す温度と一致しており、二次硬化の原因が炭化物の析出に関係あることがうかがわれる。

(4) さらに高温焼戻によって炭化物の析出量は増加して炭化物量、化学組成ともに焼鈍状態に近づく。焼鈍状態における炭化物量は約20%で、前述のようにYX 1高速度鋼と同程度である。W、Mo、Vはほとんど全部炭化物を形成しているが、Crは約55%が炭化物中に存在し、Mnは逆に基質に多く固溶している。これらはより炭化物を形成しやすいW、Vなどの影響によって炭化物を形成しにくいと考えられる。

3.2 炭化物のX線分析結果

前述の実験方法に従って、炭化物のX線回折を行い、回折線を解析して各熱処理における炭化物の種類およびその組成比を定量した。その結果を第6表に示す。

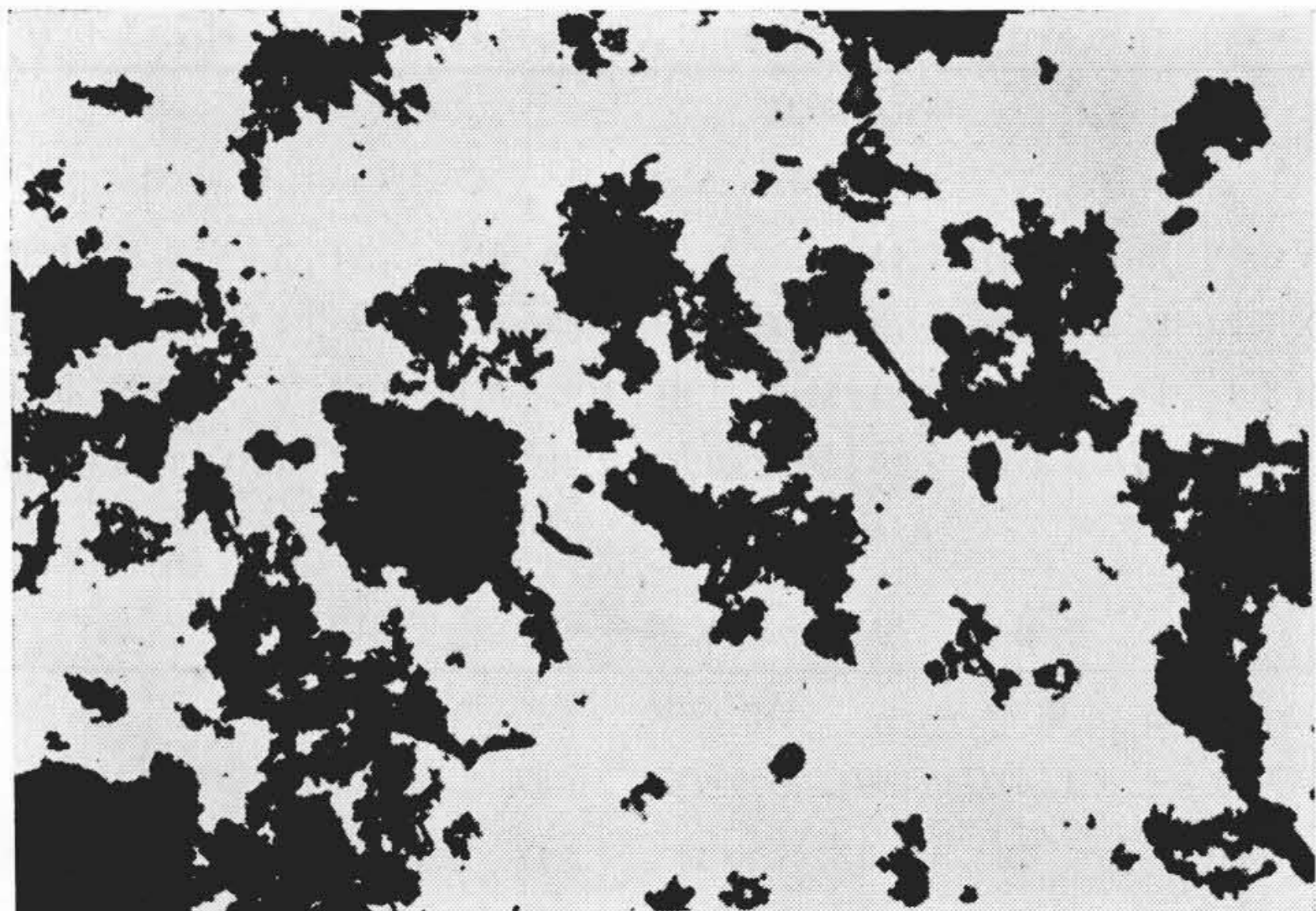
第6表の結果から、焼入組織における炭化物はVを多く含有するM₆C炭化物が大部分で、残部はFeとWを主体とする複炭化物M₂₃C₆である。

焼戻においても、650°Cまでは炭化物の種類、組成比ともにほとんど焼入組織と同様で変化しないが、750°C焼戻においてはM₆Cの析出が急増し、MCとの組成比は逆の傾向を示し、M₆Cが主体となるほかCr、Feを主体とする炭化物であるM₂₃C₆もこの温度付近より析出しはじめるようである。

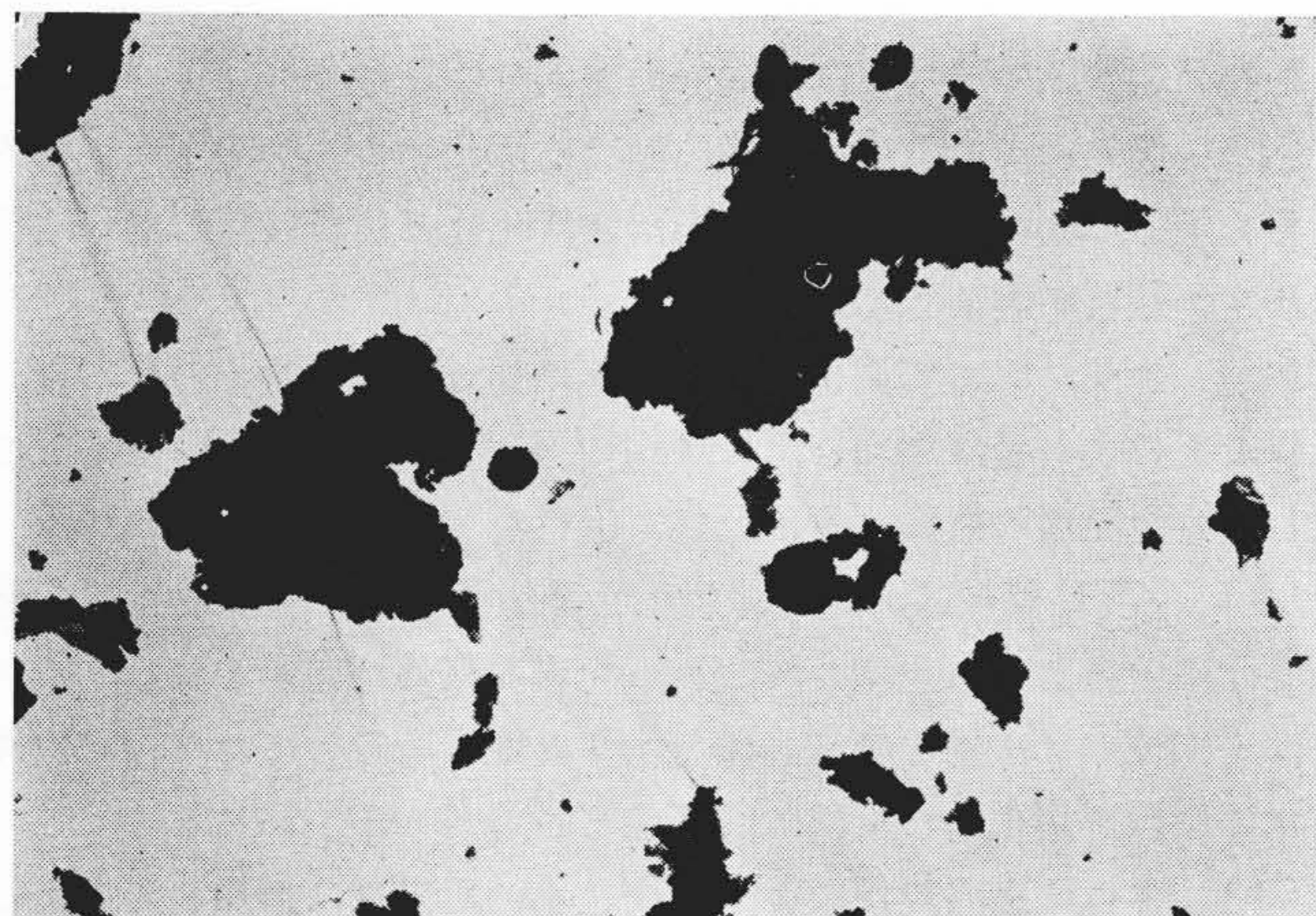
焼鈍組織では、さらにM₆Cの析出量が増加して約64%を占め、M₂₃C₆炭化物も析出を確認し、ほかの高速度鋼と同様に、焼鈍組織の炭化物は、M₆C、MC、M₂₃C₆の3種の炭化物が存在することを確かめた。

しかしV含有量の高い本鋼種の特色は、前述のように炭化物中のV含有量が高いこととともに焼入組織における炭化物の組成が大部分MCであり、焼戻あるいは焼鈍組織におけるMCの析出量がほかの高速度鋼よりはるかに多いことである。

一般に高W系統またはMo系統の高速度鋼に析出する炭化物は、FeとWまたはMoを主体とする複炭化物M₆Cであり、鋼のV含有量が増加するにしたがいMC炭化物の析出量が増加し、V鋼では



第 2 図 XVC 1 鋼(880°C×2h 焼鈍)の炭化物 (×3,300)



第 3 図 XVC 1 鋼(1,260°C油焼入)の炭化物 (×3,300)

第 7 表 炭化物の X 線分析結果 (575°C 焼戻)				
炭化物 \ 鋼 種	XVC 1	YX 1	YHX 2	YXM 1
M ₆ C	12	94	100	90
M ₂₃ C ₆	0	0	0	3
MC	88	6	0	7

V を多く含有する MC 形炭化物が主体をなすようである。

第 7 表に 575°C 焼戻状態における各種高速度鋼の炭化物の種類とその組成比を比較表示した。

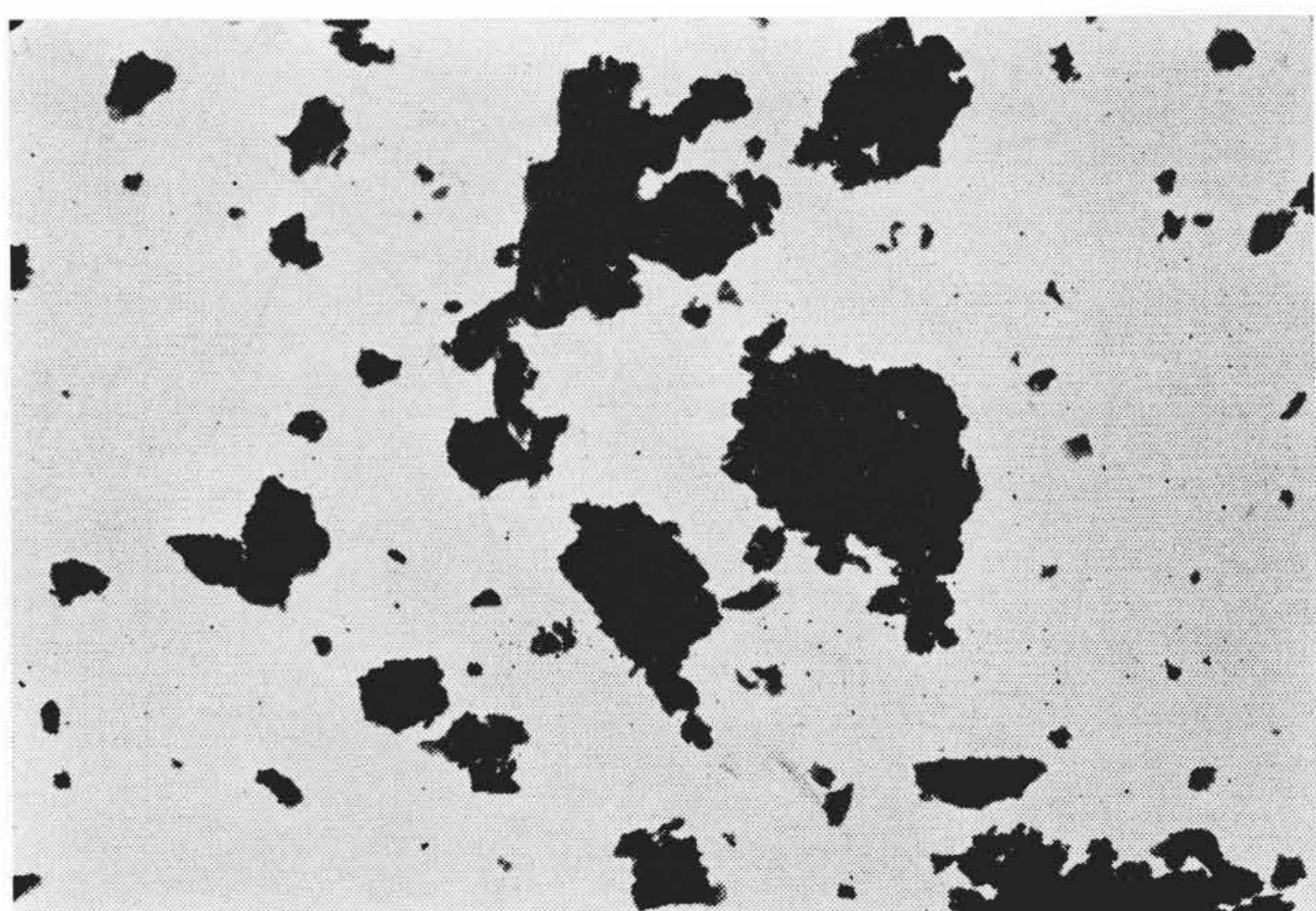
3.3 電子顕微鏡による炭化物の観察

各熱処理試料を電解して得た粉末状炭化物を電子顕微鏡で観察してその形状を確かめた。第 2～5 図に焼鈍、焼入および焼戻試料から分離した炭化物の電子顕微鏡写真の一部を示す。

これらの写真から、焼入組織および 650°C 以下の焼戻組織における炭化物は、いずれも同様な形状を示している。このことは前述の化学分析あるいは X 線分析結果から推定でき、化学分析結果より析出量が増加するのみで化学組成には大きな変化がなく、X 線分析結果より各炭化物の組成比にもほとんど変化がみられないことから当然であろう。

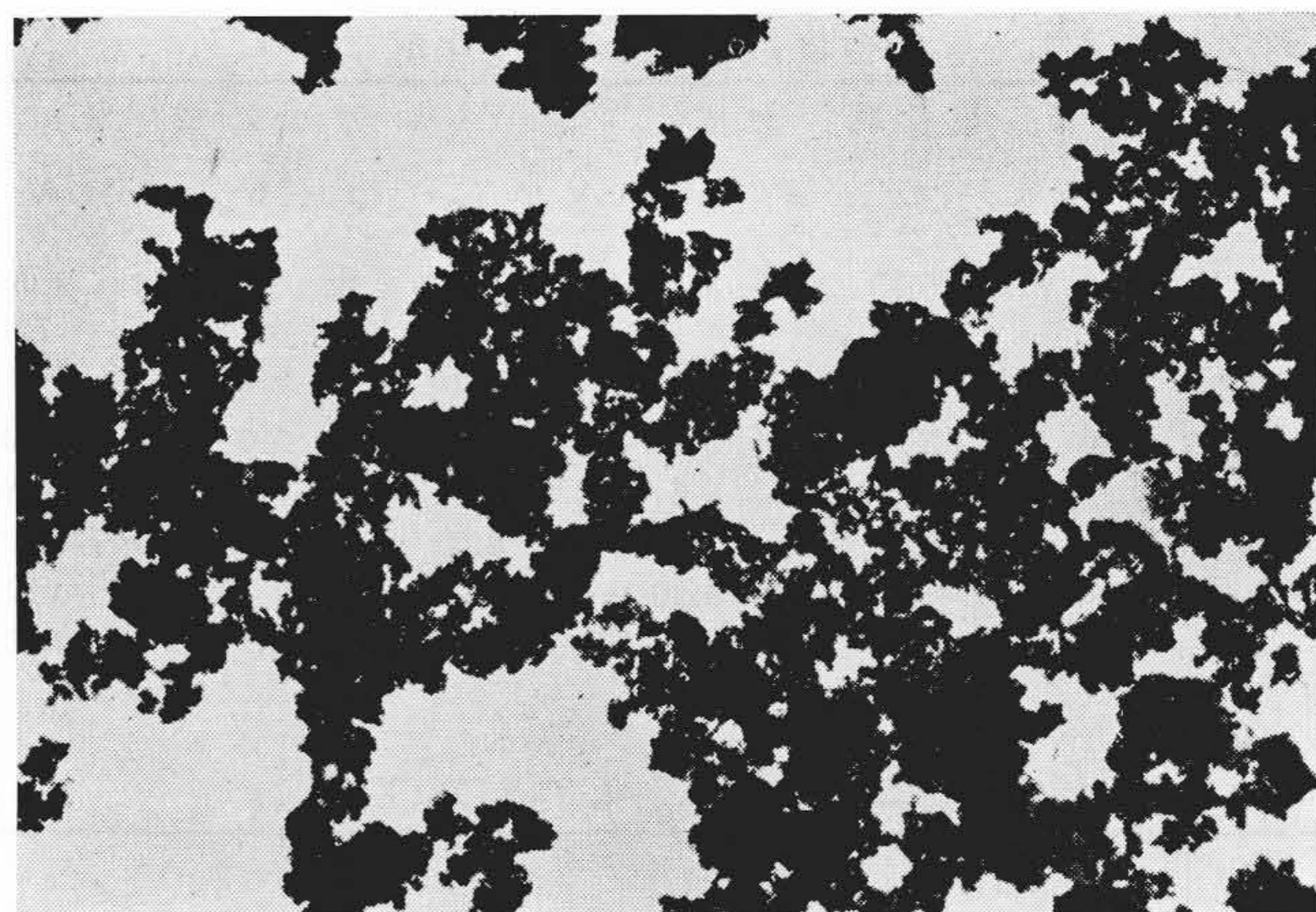
しかし 750°C 焼戻における炭化物は、第 5 図に示すように、新しく微細な薄片状炭化物が多く析出しており、この新しく析出する炭化物は X 線分析結果より M₆C あるいは M₂₃C₆ 炭化物と推察される。さらに焼鈍組織における炭化物は、これらが一様に球状化しつつある。

なお写真の結果からは、一部の炭化物が凝集によって巨大な形状を示すものがあって鋼中に実在するままの形状あるいは粒度を表わ



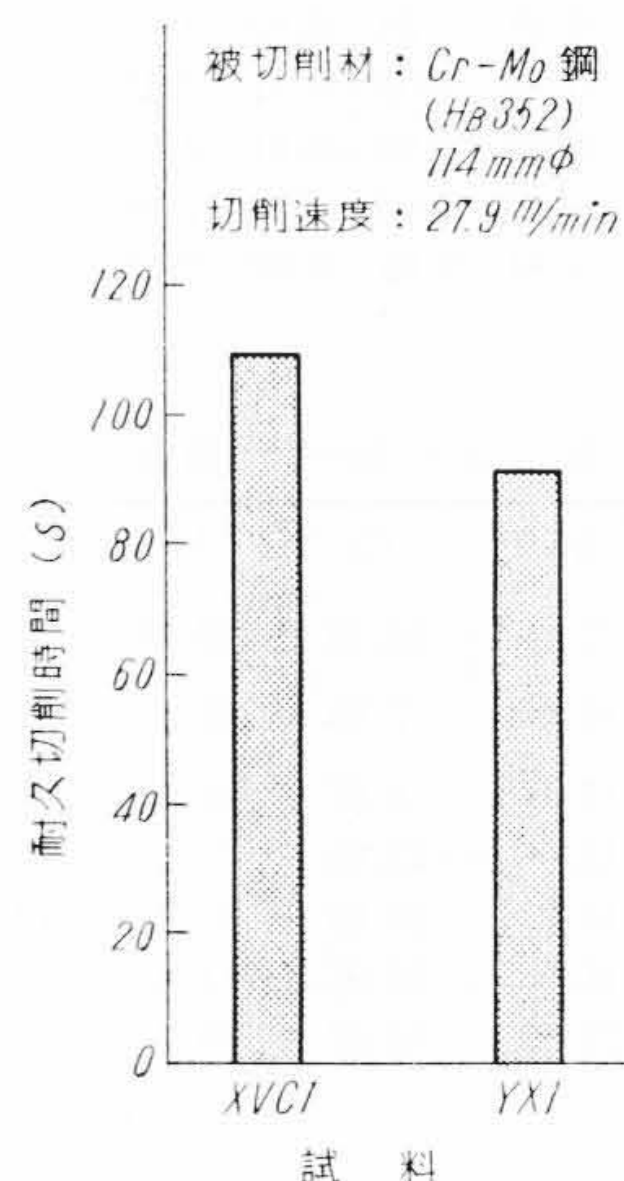
(×3,300)

第 4 図 XVC 1 鋼(1,260°C油焼入, 575°C×1h 焼戻)の炭化物



(×3,300)

第 5 図 XVC 1 鋼(1,260°C油焼入, 750°C×1h 焼戻)の炭化物

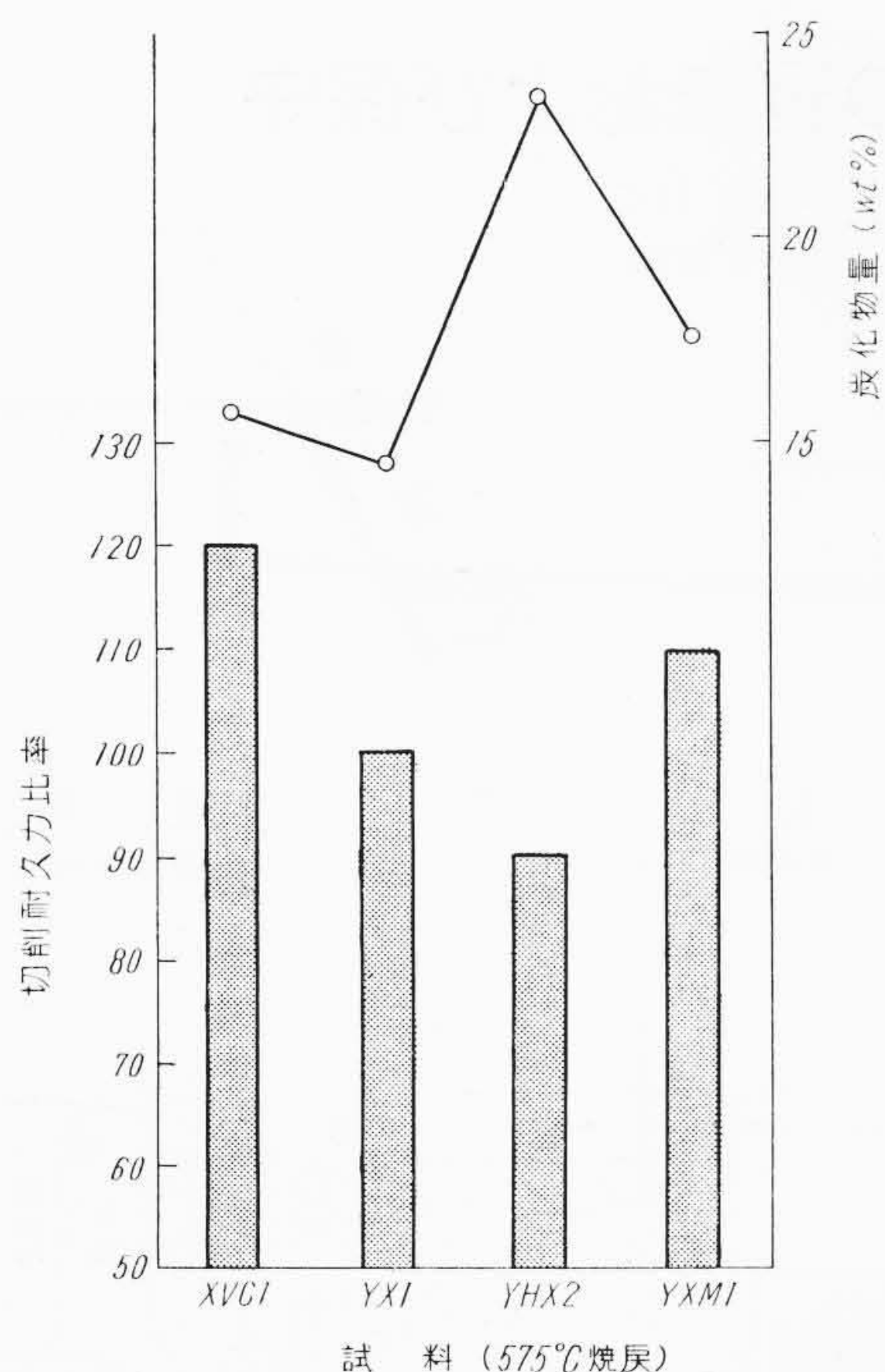


第 6 図 切削耐久力の比較

さないものがあり、また分離抽出した炭化物であり、その分布状態は鋼中におけるものとは一致しない点、さらに写真で観察した炭化物の個々について、それらの炭化物の化学組成、種類などを確認することができない。これらの点を究明するためには、抽出レプリカ法、制限視野電子回折あるいは電子線微少分析計などにより、いっそう詳細な実験を必要とする。

3.4 切削耐久力と炭化物との関係

XVC 1 鋼は、W、Co などを節減し、かつ切削性能の向上を期した製品であり、前述のように V の存在による MC 炭化物の析出が、切削性能に及ぼす影響を検討した。第 6 図に炭化物量が XVC 1 と同程度である YX 1 との切削耐久力の比較結果を示し、さらに既報



第7図 切削耐久力の比較

の各種高速度鋼の炭化物量と化学組成および炭化物の種類などについて検討した結果^{(1)~(4)}と、著者の一人が数年来続行している各種高速度鋼の切削耐久力に関する研究^{(9)~(14)}とによって、前述各種高速度鋼の575°C焼戻試料における炭化物量および切削試験結果を取りまとめ第7図に示す。第7図における切削耐久比率は、低W高速度鋼(YX1)の切削耐久力を基準とし、これを100とした場合の各種高速度鋼の切削耐久力の比較である。

第6図および第7図の結果から、XVC1は炭化物の量が同程度存在するにもかかわらず、YX1よりすぐれた切削性能を示し、さらにYHX2は炭化物量が最も多いが切削耐久力は最低値を示す。これらの結果から炭化物の量、あるいは炭化物量に大きな影響を及ぼす鋼中のW含有量および炭化物の形成にWと同様な性質を示すMo含有量は切削耐久力に直接的な関連がなく、むしろ結晶粒を微細化し、かつ高温硬度を高めるVおよびVの存在によって析出するVCの切削耐久力に及ぼす影響が大きいと推察される。

第5表および第7表の結果によっても、YHX2は炭化物が多いにもかかわらずVを多量に含有するMC炭化物が全然認められずほかの各種高速度鋼においては炭化物量は少ないが、いずれもMCが存在し、このMCの組成比が切削耐久力に比例していることから基質に広く分散しやすい、炭化物中でも比較的硬度の高いMCが、大きな結晶として成長しやすい M_6C の間に存在して、硬度および切削性能を高めるためであろう。

すなわち、炭化物の量は切削耐久力に直接影響しないが、高速度鋼に存在する各種炭化物のうちMC形炭化物の切削耐久力に及ぼす影響は大きく、MCの多いほど切削耐久力が大きいと考えられる。

しかし、これらの結果は各元素の含有量あるいは炭化物の量、化学組成、種類および組成比など相互間の影響が加味されたものであることは当然であり、切削試験においても被切削材、バイト形状、切削速度あるいは切削方法などの切削諸条件を同一にした場合の比較結果であるが、鋼種によって熱処理履歴を異にし、焼戻温度は一定であっても焼鈍あるいは焼入温度が若干異なり、それに伴う結晶粒度の大小、また同一鋼種内における化学成分の若干の変動などの影響によって各鋼種間の切削耐久力比率も多少の変動はまぬがれないと考えられるが、大体の傾向としては納得できよう。

4. 結 言

以上高C-高V高速度鋼(XVC1)の各熱処理試料から炭化物を電解分離し、化学分析、X線回折によってその化学組成、炭化物の種類および組成比などを究明し、さらに各種高速度鋼と比較し、炭化物と切削耐久力との関係についても検討した結果、

(1) 焼入によって焼鈍組織の炭化物量の約40%が未溶解炭化物として存在し、W系統あるいはMo系統の各種高速度鋼では焼入時に存在する炭化物が M_6C を主体とし、MCが少量存在するのに反し、この鋼種ではまったく逆の組成で、焼入時の未溶解炭化物は大部分がMCで約88%存在し、 M_6C が少量存在する。

(2) 500°C以下の焼戻においても炭化物の析出量が若干増加し、炭化物中のC、Wなどの含有量が増加するが、Feは逆に減少する傾向を示し、低温の焼戻においても炭化物内においてFeと炭化物形成元素との置換、析出がわずかながら進行していると推察される。

(3) 575°C焼戻において炭化物の析出量が急増し、炭化物形成元素の炭化物中の含有量が増加し、炭化物への濃縮率も急増する。なおこの焼戻温度は高速度鋼の二次硬化の最高値を示す温度と一致し、炭化物の析出が二次硬化現象の一因であることが推察される。

(4) 焼入から650°C以下の焼戻においては、炭化物内のMC、 M_6C の組成比はほとんど変化なく、炭化物の形状も変化ないが、750°C焼戻において M_6C の析出量が急増し、MCより多くなる。また新しく $M_{23}C_6$ の析出を認め、さらに電子顕微鏡によっても新しい微細な薄片状炭化物が析出しているのが観察された。

(5) 焼鈍組織では M_6C 、MC、 $M_{23}C_6$ (組成比6:3:1)の3種の炭化物が存在するが、ほかの高速度鋼に比較してMCを多量に含有する。試料中のW、Vは90%以上が、またMoも約86%が炭化物を形成しているが、Cr、MnなどはW、Vなどのより炭化物を形成しやすい元素の影響をうけて、Crは約55%が炭化物を形成するのみで、Mnは逆に基質に多く固溶されている。なお焼鈍時の炭化物の形状は、いずれも球状化しつつある。

(6) XVC1の炭化物量は、YX1に匹敵するが、切削性能はよりすぐれている。また炭化物中にMCの存在しないYHX2が炭化物量が最も多いにもかかわらず切削耐久力が低いことから、切削耐久力は炭化物の量に直接影響なく、かたく、粒度が小さく基質に広く分散しているMCの存在が切削耐久力に大きな影響を及ぼすと考えられる。

終りに、本研究に終始ご協力いただいた日立金属工業株式会社安来工場冶金研究所菊田主任、田中主任に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 小柴, 木村, 原田: 鉄と鋼 **44**, 1186 (1958)
- (2) 小柴, 木村, 原田: 鉄と鋼 **45**, 608 (1959)
- (3) 小柴, 木村, 原田: 鉄と鋼 **46**, 1446 (1960)
- (4) 小柴, 木村, 原田: 鉄と鋼 **46**, 1554 (1960)
- (5) 小柴, 木村, 原田: 日本金属学会誌 **24**, 437 (1960)
- (6) 小柴, 木村, 原田: 日立評論 **41**, 1381 (1959)
- (7) P. Klinger u. W. Koch: Beiträge zur Metall-Kund-Lichen Analyse, Dusserdorf (1949)
- (8) 佐藤, 金子, 西沢: 日本金属学会誌 **19**, 336, 385 (1955)
- (9) 小柴, 永島: 日立評論 **36**, 813 (1954), **37**, 1683 (1955)
- (10) 小柴, 田中: 日立評論 **39**, 735, 1197 (1957)
- (11) 小柴, 田中: 日本金属学会誌 **21**, 225 (1957)
- (12) 小柴: 高速度鋼 誠文堂新光社 176 (1950)
- (13) 小柴: 特殊鋼 日立評論社 153 (1952)
- (14) 小柴: 工具材料 下巻 丸善 432 (1956)