

高炭素～高バナジウム高速度鋼の切削耐久力 に及ぼす W と Mo の 影 響

Effect of W and Mo on Cutting Durability of
High C~High V High Speed Steel

小 柴 定 雄* 田 中 和 夫** 鷲 見 暁 夫**
Sadao Koshiba Kazuo Tanaka Akeo Sumi

内 容 梗 概

著者らは高C～高V高速度鋼の各種性能に及ぼすWとMoの割合を検討するため、まずA系試料について調べた結果W10～8%、Mo2～3%にしたものが比較的すぐれた性能を示した。この結果によりさらにW10%にした場合のMo1～4.5%添加の影響をB系試料について実験した。その結果Mo1%程度では効果少なく、2～3%で切削耐久力を増大し、それ以上に増しても大差ないことを確認した。したがってこの種高C～高V高速度鋼におけるMoの添加量は2～3%が適当と思われる。

1. 緒 言

高速度鋼の新鋼種として最近高C～高V系のものが用いられている。この種の高速度鋼は従来の18-4-1系に比してCとVが高く、かつWの一部をMoで置換えたものが多く、その割合は種々である。一般には1% Moは2% Wの作用をなすと考えられ、W%の約1/2のMo添加で同等の性能が得られるといわれている。この報告はC1.3%、Cr4.2%、V3.8%においてW+Moを14%目標にそれぞれW12～6%、Mo1～4%に変化した場合のWとMoの配合比の各種性能に及ぼす影響を調べ、さらにこの結果から適当なW量におけるMo1～4.5%の影響について実験し、この種高C～高V高速度鋼として最も適当なWとMoの割合を検討したものである。

2. 試料および実験方法

試料は50kg高周波電気炉を用いて吹製し、30kgインゴットに鋳造した。第1表および第2表は化学成分を示す。まずA系試料A1～A4はWを12、10、8および6%にし、Moそれぞれ1、2、3および4%にしたものである。ただしWは目標より多少低目である。またB系試料B1～B5はC1.25%、Cr4.2%、W10%およびV4%にしてMoを1、2、3、4および4.5%添加し、これらを15mmφに鍛伸後850°Cで焼鈍した。各試料は熱膨脹試験片(7φ×70mm)、硬度試験片(15φ×12mm)、抗折試験片(5φ×70mm)および切削試験用バイト材(12φ×70mm)に機械仕上しそれぞれ実験を行った。また試料B1については10φ×5mmおよび5φ×70mm試験片を用い、硬度、組織および熱膨脹試験結果から恒温変態図を作成した。

3. 実 験 結 果

3.1 A系試料の実験結果

3.1.1 変態点の測定

本多式熱膨脹計により最高加熱温度950°Cとして各試料の変態点を測定した。第3表はその結果を示す。試料A1～A4において大差はないが、傾向としてはMo量の多いほうが冷却変態点がいくぶん低目である。

3.1.2 焼入温度と硬度の関係

15φ×12mm試験片を用い、エレバス炉により900°Cに10分予熱、1,200～1,280°Cに2分間浸漬後油焼入して硬度の変化を調べた。第1図はその結果を示す。ただし硬度は1目盛ずつずらして示し

* 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表 A系試料の化学成分(%)

試料	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
A1	1.29	0.41	0.32	3.97	11.70	1.22	3.85
A2	1.28	0.35	0.35	4.13	9.08	2.15	3.90
A3	1.28	0.43	0.34	3.93	7.28	3.20	3.85
A4	1.25	0.42	0.33	3.90	5.59	4.25	3.80

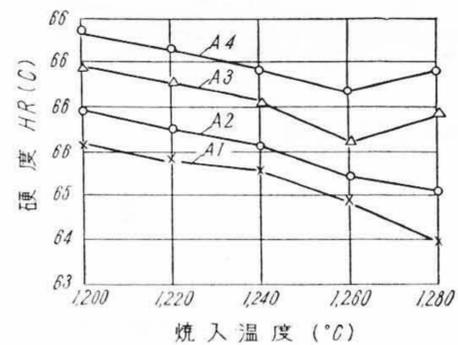
第2表 B系試料の化学成分(%)

試料	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
B1	1.26	0.32	0.31	4.15	10.35	1.36	4.00
B2	1.23	0.30	0.30	4.11	10.47	2.16	3.97
B3	1.26	0.36	0.31	4.05	10.41	2.88	3.84
B4	1.26	0.34	0.32	4.11	10.05	3.88	3.99
B5	1.25	0.36	0.30	4.11	10.43	4.45	3.94

第3表 A系試料の変態点(°C)

試料	加熱変態点	冷却変態点
A1	849～867	770～747
A2	855～875	779～738
A3	844～866	765～734
A4	846～876	768～736

加熱および冷却速度2°C/min

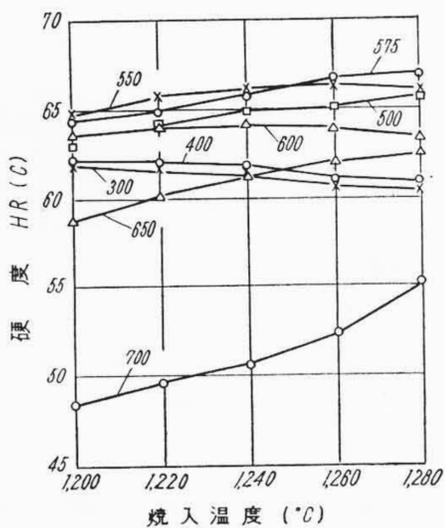


第1図 試料A1～A4の焼入温度と硬度の関係

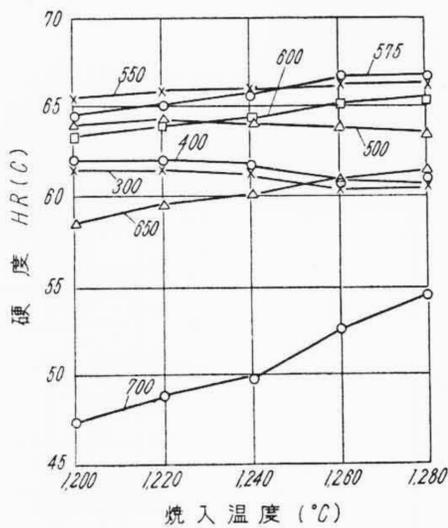
た。すなわちいずれの試料も1,200°C焼入により硬度HR(c)約66を示し、これより焼入温度を上昇するほど硬度を低下するが試料A3およびA4は1,260°Cで最低となり、1,280°Cでは多少高くなる。これはMo量を増加すると溶融点を低下し、レデブライト共晶がより多く現われるため基地のC濃度を減じ、そのため残留オーステナイトがかえって少なくなると考えられる。したがって試料A1～A4における適当な焼入温度はMoを増すほど低目にする必要がある。

3.1.3 焼戻温度と硬度の関係

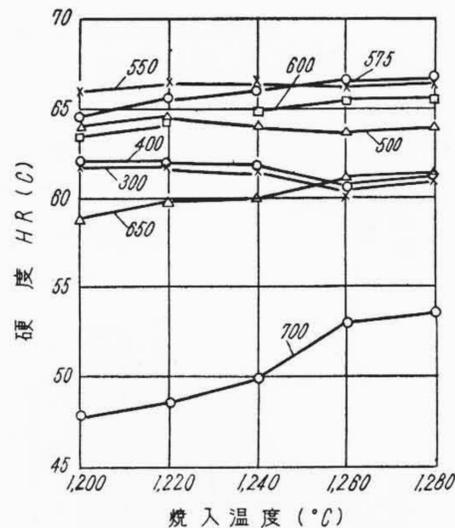
第2～5図は上記焼入した試料を300～700°Cに段階的に焼戻した場合の変化を示す。一般に1,200～1,240°C焼入のものは550°C、



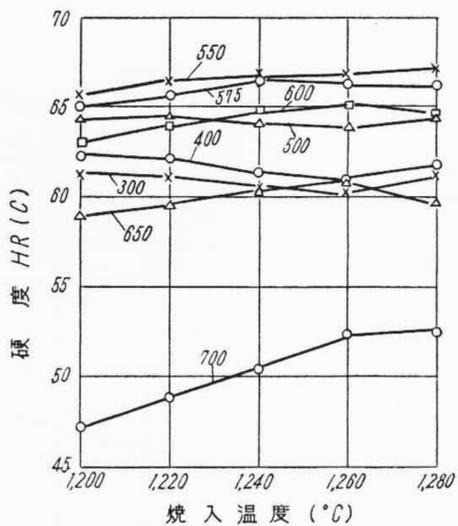
第2図 試料 A1 の焼戻硬度



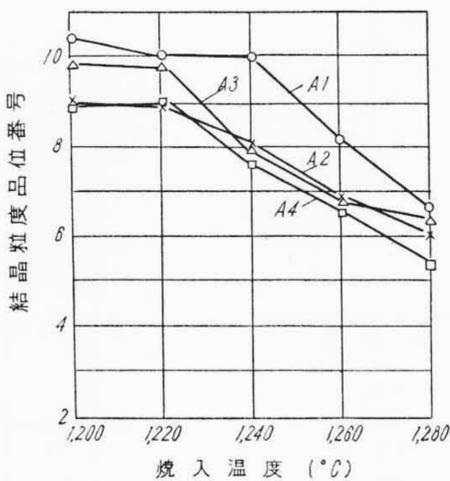
第3図 試料 A2 の焼戻硬度



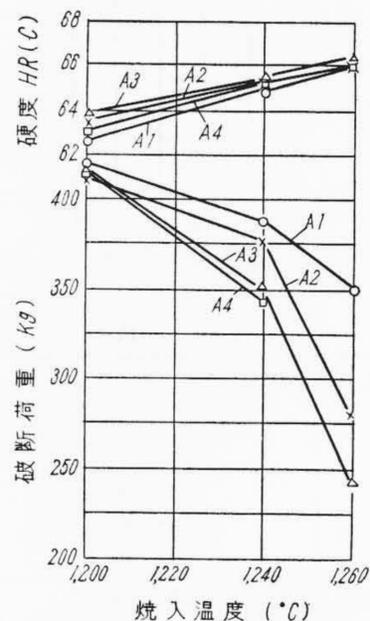
第4図 試料 A3 の焼戻硬度



第5図 試料 A4 の焼戻硬度



第6図 試料 A1～A4 の焼入温度とオーステナイトの結晶粒度との関係



第7図 試料 A1～A4 の焼入温度と抗折荷重との関係(焼戻温度 575°C×2回)

それ以上のものは 575°C 付近の焼戻温度において最高硬度を示すが、Mo 4% の試料 A4 はいずれも 550°C で最高硬度を示し、575°C では低下する。なお焼戻による最高硬度は焼入温度によって多少異なるが、各試料とも HR(C) 66～67 程度を示し大差はない。

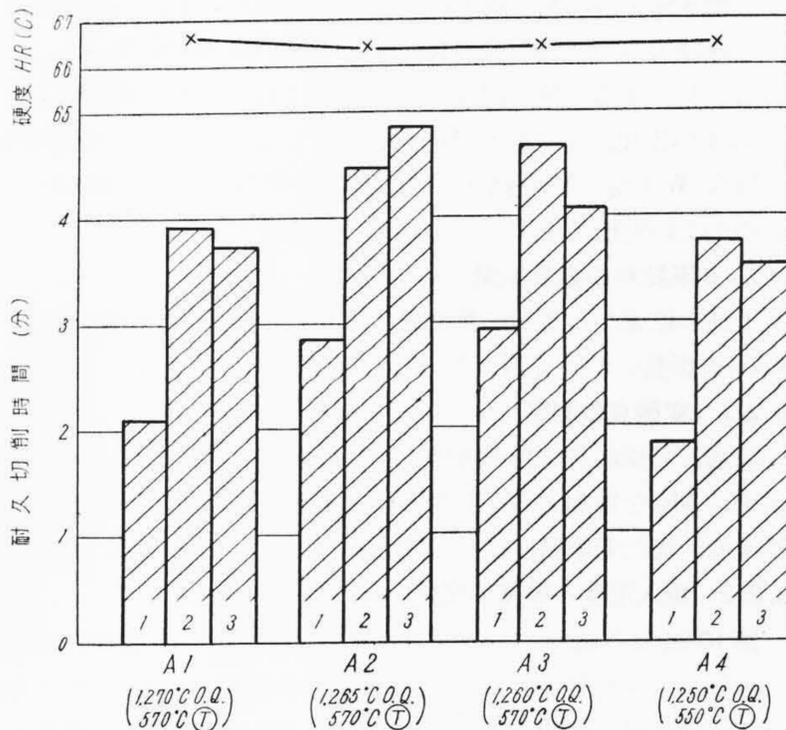
3.1.4 オーステナイト結晶粒度

各温度に焼入した試料について分割法(倍率750倍で長さ3インチの線によって分割された結晶粒の数)により視野数30として、その平均結晶粒度を求めた。第6図はその結果を示す。試料 A1 は 1,200～1,240°C 焼入ではオーステナイト結晶粒はほとんど変化なくそれ以上で粗大化の傾向を示す。また A2, A3 および A4 は 1,240°C 付近から粗大化の傾向を示し、A1 に比して結晶粒の成長速度がやや大である。なおこの場合 A2～A4 においてはあまり差がみられないが、一般に W 量の多いほうが結晶粒は微細である。一方各試料とも焼入温度によって共晶が認められ、Mo 量の多いほど低温で現われる。すなわち試料 A1 は 1,260°C 以下ではほとんど認められないが、1,280°C では結晶粒界にかなり現われる。A2 は 1,260°C で少量認められる。また A3 も 1,260°C で現われるのがその量は A2 よりやや多い。A4 は 1,260°C でかなり多く現われ結晶粒界が全般に光ってくる。

3.1.5 抗折試験

1,200～1,260°C に 1 分間浸漬後油焼入、575°C に 2 回焼戻した 5φ×70mm 試験片を用い、アムスラー試験機により支点 50mm の中央に圧縮荷重を加え破断したときの荷重を測定した。第7図はその結果で試片 3 本の平均値を示した。一般に焼入温度を上昇するほど抗折荷重を低下、すなわちじん性を減少する。また試料 A1～A4 を比較するに 1,200°C 焼入の場合は大差ないが 1,240 および 1,260°C では W が少なく、Mo を増すほど抗折荷重が低下する。

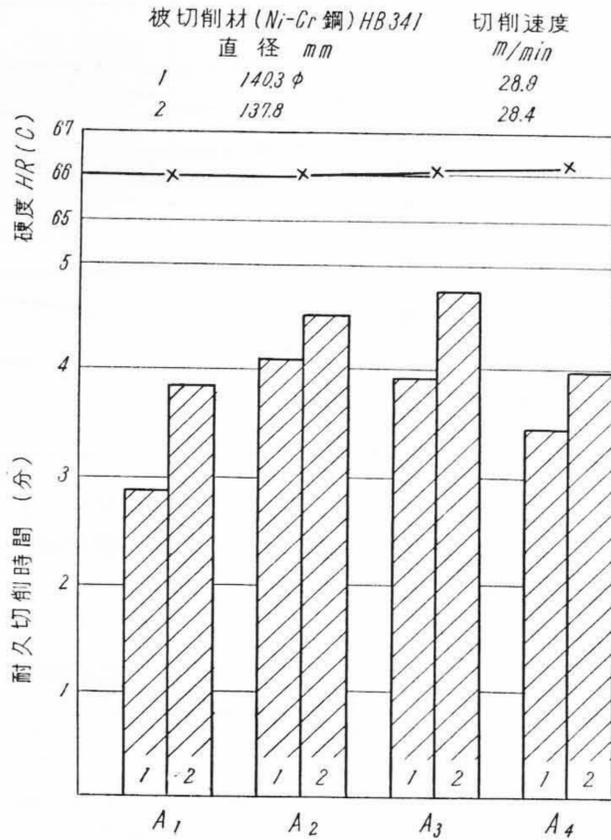
被切削材 (Cr-Mo 鋼) HB 302	直径 mm	切削速度 m/min
1	136.9 φ	40.0
2	134.3	39.7
3	129.4	38.0



第8図 切削試験結果(1)

3.1.6 切削試験

まず各試料について焼入温度と切削耐久力との関係を調べ、その結果から適当な焼入温度を決定し、それぞれの熱処理した剣バイトについて性能を比較した。第8図はその結果を示す。切削条件は被切削材 Cr-Mo 鋼の硬度 HB 302 を用い、切込み 1 mm、送り 0.5 mm/Rev としそれぞれの切削速度で試験した。この結果



第9図 切削試験結果(2)

第4表 B系試料の変態点(°C)

試料	加熱変態点	冷却変態点
B 1	835~856	754~711
B 2	842~869	777~728
B 3	841~864	770~715
B 4	838~873	795~735
B 5	845~880	804~740

加熱および冷却速度 2°C/min

によると試料A2およびA3が比較的よい性能を示し、A1およびA4はこれらに比してやや劣っている。なおこの場合組織的にはやや針状組織であるが、バイトとしてはこの程度でないとすぐれた性能を示さない。しかしドリル、カッタなどはかなりじん性を必要とするので一般にはバイトの場合より低目の焼入温度を用いる。第9図は1,220°C焼入による試験結果を示す。切削条件は前述と同様であるが、被切削材はNi~Cr鋼HB341を用いた。すなわちこれによると焼入温度の低い場合においても、試料A2およびA3が比較的すぐれた性能を示している。したがってW+Moを14%(W1%=Mo1/2%)にした場合はW10~8%, Mo2~3%ものがよい性能を示すことが認められる。

3.2 B系試料の実験結果

上述の結果からさらに第2表に示した10%WにおけるMo1~4.5%の影響について調べた。

3.2.1 変態点の測定

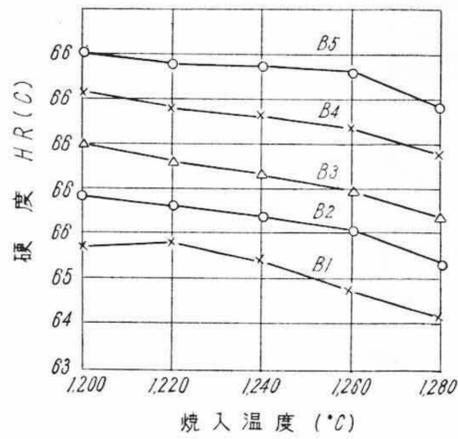
前述と同様に各試料の変態点を測定した。第4表はその結果を示す。Moを増加するにしたがい加熱および冷却変態点ともに上昇する、また変態温度区間が広がる。

3.2.2 焼入温度と硬度の関係

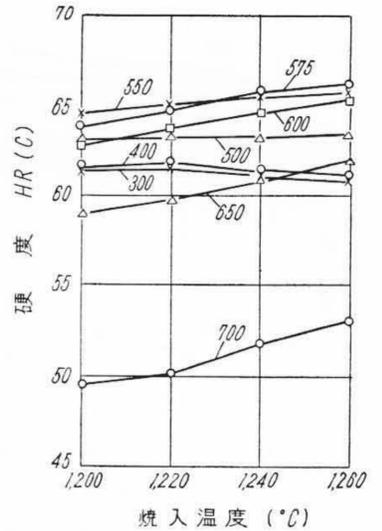
第10図は各試料の焼入温度と硬度の関係を一目盛ずつずらし示した。試料B1は1,220°C付近で最高硬度を示し、これより焼入温度の上昇とともに低下する。B2~B5は1,200°Cで最高を示し、それ以上では逐次低下するが、Mo量の多いB4、B5はその程度が比較的小さい傾向を示している。またこの結果によるとMoの増加により焼入硬度をやや上昇することが認められる。

3.2.3 焼戻温度と硬度の関係

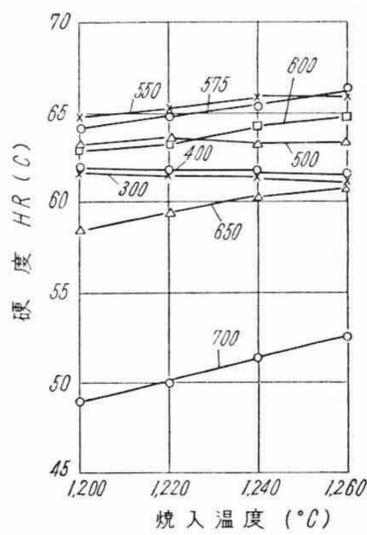
第11~15図は各試料の1,200~1,260°C焼入したものを300~700°Cに段階的に焼戻した場合の硬度を示す。試料B1は1,200, 1,220°C焼入のもの550°C、1,240, 1,260°C焼入のものは575°Cで



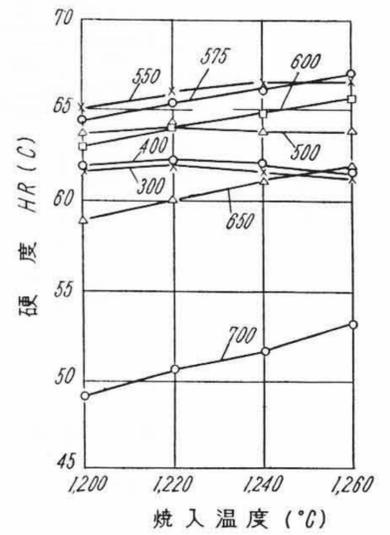
第10図 試料B1~B5の焼入温度と硬度の関係



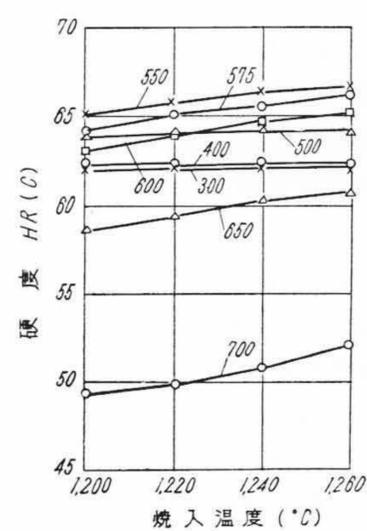
第11図 試料B1の焼戻硬度



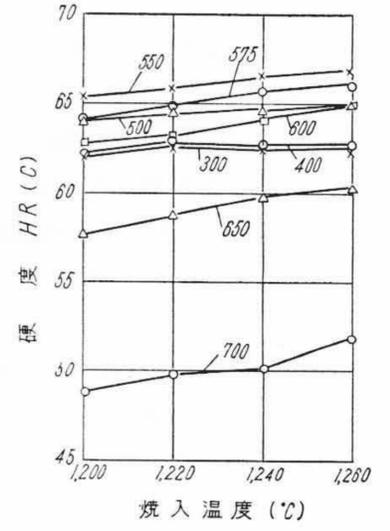
第12図 試料B2の焼戻硬度



第13図 試料B3の焼戻硬度



第14図 試料B4の焼戻硬度

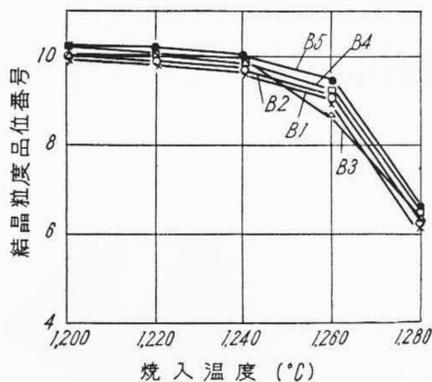


第15図 試料B5の焼戻硬度

それぞれ焼戻による最高硬度を示し、HR(C)65~66程度になる。B2およびB3は1,240°C以下のもの550°Cで最高硬度を示し、1,260°Cのものは550と575°Cでは大差ない。またB4およびB5は1,200~1,260°C焼入のものともに550°Cで最高焼戻硬度を示し、かつ575°C焼戻硬度との差が前者に比してやや大である。すなわちMo量を増す最高硬度を示す焼戻温度は低温側に移行する。また焼戻による最高硬度はMoの増加によりいくぶん高くなるがMo3%以上はほとんど変りない。

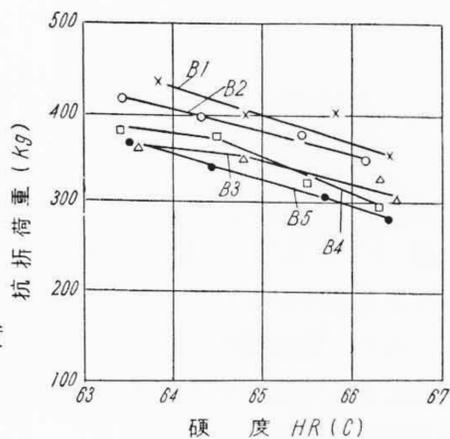
3.2.4 オーステナイト結晶粒度

1,200~1,280°Cに焼入した各試料について、前述と同様分割法によりその平均結晶粒度を求めた。第16図はその結果を示す。各試料とも1,200~1,240°C焼入では大差ないが、1,260°C付近からやや結晶粒の成長をきたし、1,280°Cではかなり粗大化する。またMoを増すほど微細化の傾向を示している。なお各試料とも1,260



第16図 試料B1～5の焼入温度とオーステナイト結晶粒度との関係

第17図 試料B1～5の等硬度における抗折荷重の比較



°C付近から僅少なから共晶が認められ、その程度はMoを増すほどやや多くなる傾向を示す。1,280°Cになると粒界に相当量現われ、またオーステナイト結晶粒も粗大化するので実用焼入温度としては不適當である。したがって前述の焼戻硬度および組織からみて適正焼入温度は1,220～1,260°Cの範囲と思われる。

3.2.5 抗折試験

5φ×70mm 試験片を用い、1,200～1,260°Cに1分間浸漬後油焼入、550°Cに2回焼戻し前述と同様の方法で抗折試験を行った。第17図はこれを等硬度で比較した結果であるが、あきらかにMoを増すほどじん性を低下することが認められる。

3.2.6 切削試験

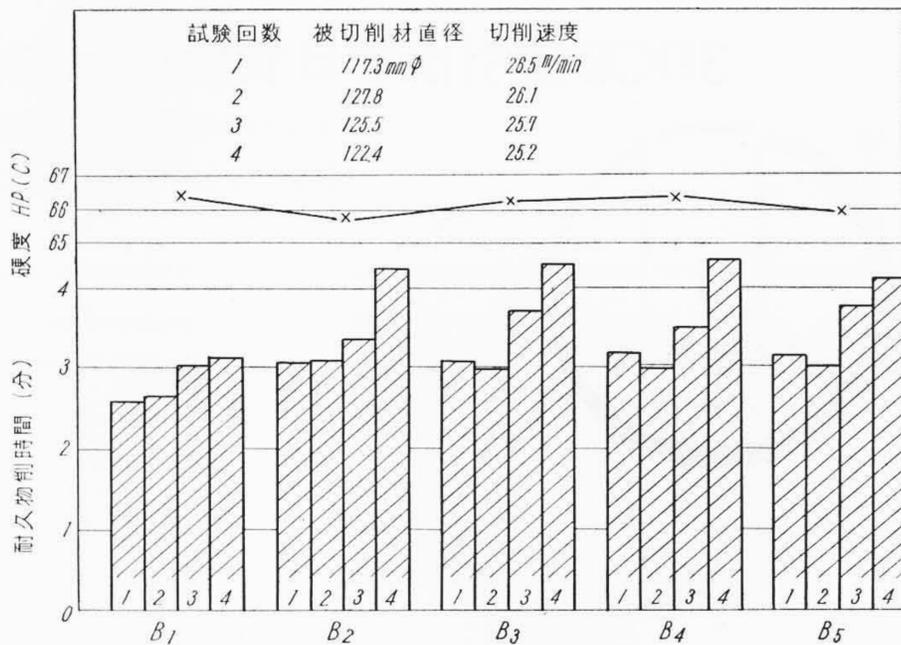
上述の結果から各試料の12φ×70mm バイト材を1,240°C油焼入、550°Cに2回焼戻後剣バイトに成形仕上げし、被削材 Ni～Cr 鋼硬度 Hb352 を用い、切込み1mm, 送り0.5mm/Revとし、それぞれの切削速度で耐久切削時間を比較した。第18図はその結果を示す。これによると Mo 約1%含有する試料 B1は他のものに比して、かなり劣ることが認められるが、B2～B5においてはあまり大差がない。したがってこの種組成の高速度鋼において切削性能を向上するための Mo 添加量は約2～3%が適當であり、それ以上 Mo を増してもあまり効果がないように考えられる。

3.2.7 恒温変態図

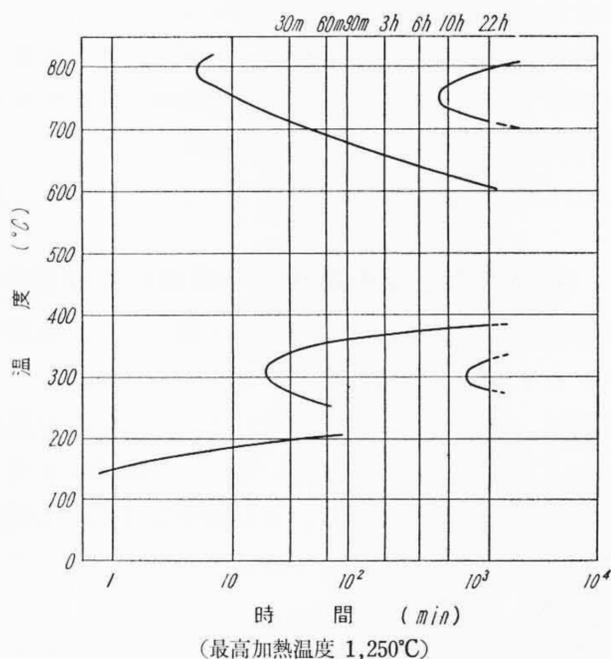
この種高C～高V系高速度鋼の恒温変態図は従来あまり発表されていない。本実験では試料 B1について硬度、顕微鏡組織および熱膨脹計により恒温変態図を求めた。第19図はその結果を示す。すなわち 800～600°C の温度範囲では変態開始は800°C付近が速く、終了は750°Cのほうが最も速い。これより温度を降下するほど曲線は右に移行し変態速度は急激に減少する。また600～400°Cにおける恒温変態速度はきわめて緩慢で22時間程度では変態開始せずオーステナイトは準安定である。400°C以下では300°C付近にいわゆるベイナイト変態を生起し一つの凸出部が現われる。なおこの恒温変態図を従来の高W系高速度鋼のそれと比較するに曲線の形態はほとんど変りない。

4. 結 言

上述の結果を要約すれば次のとおりである。



第18図 切削試験結果



第19図 試料B1の恒温変態図 (最高加熱温度 1,250°C)

(1) W+Moを14%(W1%=Mo1/2%)目標にその配合比をかえたA系試料ではWを減じ、Moを増すほど、焼入温度によりレデブライト共晶が現われやすく、したがって焼入温度を低目にする必要がある。焼戻硬度は各試料とも HR(C) 66～67 程度を示し大差ない。また抗折試験では各試料を比較し、焼入温度 1,200°C 付近ではほとんど変りないが、1,240°C 以上では W を減じ Mo を増したものの抗折荷重を低下しもろくなる。一方剣バイトによる切削試験では W10～8%, Mo 2～3% を含有する試料 A2 および A3 が比較的良好な性能を示した。

(2) 上述の結果からさらに W10% における Mo の影響を B 系試料について実験した結果、Mo を増すほど焼入硬度をいくぶん上昇する傾向を示し、焼戻硬度も同様に高くなるが Mo 3% 以上はあまり変りない。なお最高硬度を示す焼戻温度は Mo の増加により低温側にずれる。オーステナイト結晶粒度は Mo を増すほどおおむね微細化の傾向を示すが、これらの焼入組織および硬度からみて適正焼入温度は各試料とも 1,220～1,260°C 付近、焼戻温度は約 550°C である。抗折荷重は Mo を増すほど低下する傾向を示し、すなわちじん性を減ずる。また剣バイトによる性能試験では Mo 1% 程度では効果少なく、2～3% で耐久力を増大し、それ以上に増しても大差がない。したがってこの種の高 C～高 V 高速度鋼における Mo の添加量は 2～3% が適當と思われる。