

Mo系高速度鋼の切削耐久力に及ぼすCoの影響

The Effect of Co on Cutting Durability of Mo Type High Speed Steel

小柴定雄* 田中和夫**
Sadao Koshiba Kazuo Tanaka

内 容 梗 概

Mo系高速度鋼として、C 1.0%、Cr 4.2%、W 6.0%、Mo 5.0%、V 2.75%を基準としたA系試料およびWを10%、Moを2.75%にしたB系試料にそれぞれCo 0~10%添加した場合の各種性能を調べ、かつ高W~Co系高速度鋼 YHX 4 および YHX 3 と切削性能を比較した。その結果 Co 量を増すほど切削耐久力を増加するが、A系試料に比べ、B系試料がすぐれた性能を示した。またB系試料と YHX 3 および YHX 4 と比較した結果、Co 量約3%および7%程度含有せしめることにより、それぞれ YHX 3 および YHX 4 以上の性能を示すことを確認した。

1. 緒 言

高C~高V系高速度鋼の切削性能は従来の高W系に比べてすぐれていることはすでに認められているところであるが、一方被研削性が悪い点でその用途はかなり制限されている。この種の高速度鋼はV量4~5%を含有し、そのかたい炭化物によって耐摩耗性はきわめて大であるが、反面被研削性を低下するものである。本研究ではこの被研削性に影響するV量を減じ、それにかわりCoを添加して切削性能の向上を目的とし、Co 0~10%に変化した場合の性能について比較検討した。

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表はこれらの化学成分を示す。A系試料はC 1.0%、Cr 4.2%、W 6.0%、Mo 5.0%、V 2.75%を基準にCo 3, 5, 7 および10%添加したもの、またB系試料はC 1.0%、Cr 4.2%、W 10%、Mo 2.75%、V 2.75%を基準にCoを添加したものである。したがってA系はMo、B系はWを主体とした高速度鋼である。これらを17mm角に鍛伸後850°Cで焼鈍し、硬度測定用試片15φ×12、抗折試験片5φ×70、熱膨脹試験片7φ×70、残留オーステナイト測定試験片13.5φ×13.8 および切削試験用剣バイト材12角×70mmに機械仕上げし、それぞれの実験に供した。なお焼鈍組織は従来の18-4-1系高速度鋼に比べて炭化物はかなり細かい。またCoを増しても大差ないが、傾向としてはCo 7~10%のものがいくぶん大きいようにみられる。硬度はA系試料H_B 223~248、B系試料H_B 235~265を示し、いずれの場合もCoを増すほど高く、かつA系に比べB系試料がわずかに高い。

3. 実 験 結 果

3.1 変態点の測定

熱膨脹計により各試料の変態点を測定した。第2表はその結果を示す。A系およびB系試料とも加熱変態の開始温度はCo量によって大差はないが、冷却変態点はCoの増加により上昇することが認められ、特にB系試料において明瞭である。

3.2 焼入温度と硬度の関係

15φ×12mm試片を用い、900°Cに10分子熱、1,200~1,280°Cに2分間浸漬後油焼入し硬度の変化を調べた。第1図および第2図はその結果を示す。まずA系試料ではCo 0%のA1は1,200°C焼入で硬度H_R(C) 66.3を示し、焼入温度の上昇とともに逐次低下する。

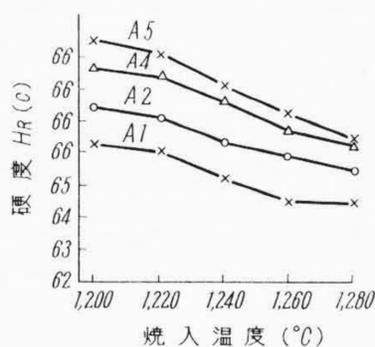
第1表 試料の化学成分(%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Cr	W	Mo	V	Co
A1	1.00	0.32	0.36	0.019	0.019	4.14	5.58	5.20	2.79	—
A2	1.01	0.31	0.32	0.019	0.020	4.10	5.72	5.09	2.80	2.85
A3	1.02	0.35	0.32	0.020	0.020	4.10	5.54	5.05	2.82	4.90
A4	1.01	0.33	0.32	0.018	0.017	4.25	5.71	5.24	2.84	6.85
A5	0.98	0.33	0.28	0.017	0.018	4.22	5.60	5.20	2.79	10.00
B1	1.05	0.32	0.39	0.017	0.012	4.34	10.43	2.70	2.78	—
B2	1.01	0.32	0.38	0.016	0.013	4.14	9.61	2.59	2.84	2.90
B3	0.95	0.34	0.30	0.016	0.012	4.22	9.71	2.85	2.89	5.15
B4	1.02	0.32	0.39	0.017	0.011	4.20	9.61	2.80	2.76	7.35
B5	1.00	0.32	0.40	0.016	0.012	4.22	9.53	2.79	2.76	10.15

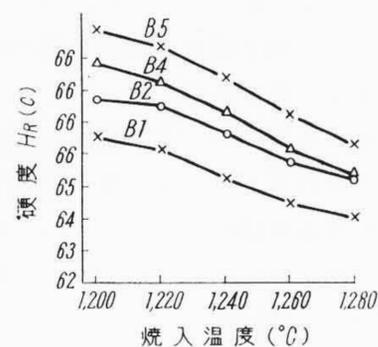
第2表 試料の変態点(°C)

試料	加熱変態点	冷却変態点
A1	841~872	760~717
A2	840~857	761~725
A4	830~857	765~727
A5	838~860	777~745
B1	836~865	734~686
B2	835~860	747~710
B4	830~857	762~733
B5	837~861	774~740

注：加熱および冷却速度 2°C/min
最高加熱温度 950°C×10 min



第1図 試料A1~A5の焼入温度と硬度の関係

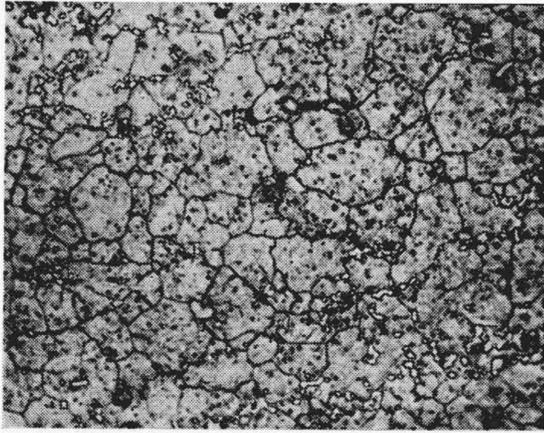


第2図 試料B1~B5の焼入温度と硬度の関係

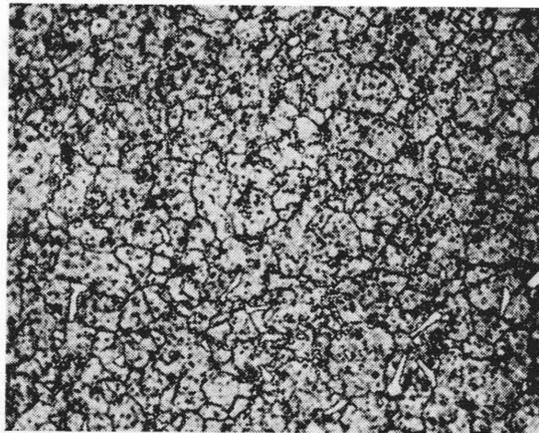
Coを添加すると1,200°C焼入の場合はその量を増すほど硬度をやや上昇する傾向にあるが大差はない。しかし高温側ではCoを増すほど硬度を低下し、硬度曲線はCoを含有しないものに比べていくぶん急傾斜を示している。この傾向はB系試料でも同様である。なおA系とB系の焼入硬度を比較するにあまり変わらないが、低温側でB系がやや高い傾向を示している。すなわちこれらの傾向はCoは炭化物を形成せずに地質の中のみ含有され、かつオーステナイトの炭素固溶能力を高めること、また共晶の溶融点はCo量の増加により上昇することなどによるものと考えられる。次に上記焼入試料

* 日立金属工業株式会社安来工場 工博

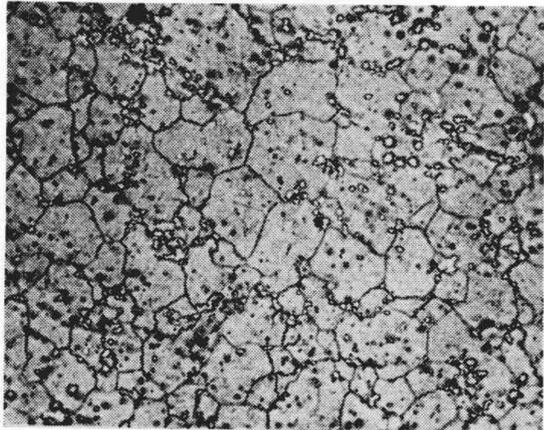
** 日立金属工業株式会社安来工場



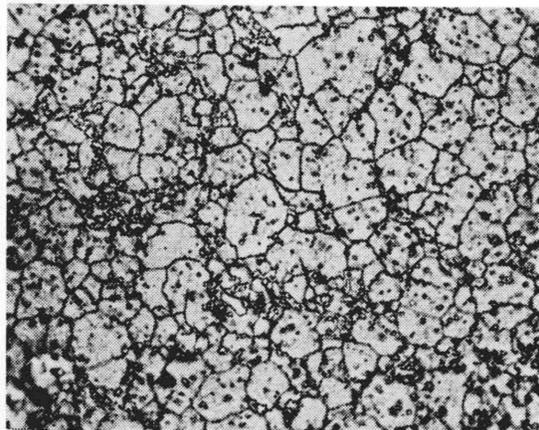
第3図 試料A1 1,240°C 焼入 (×420)



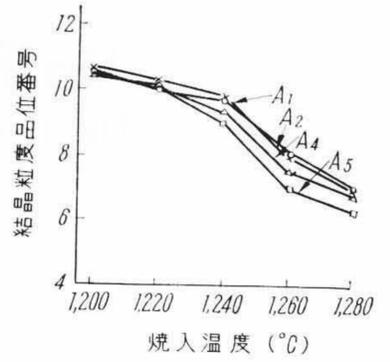
第5図 試料B1 1,240°C 焼入 (×420)



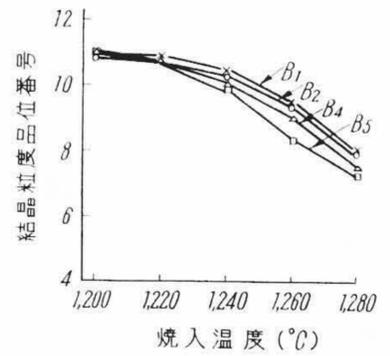
第4図 試料A5 1,240°C 焼入 (×420)



第6図 試料B5 1,240°C 焼入 (×420)



第7図 試料A1~A5のオーステナイト結晶粒度



第8図 試料B1~B5のオーステナイト結晶粒度

について顕微鏡組織を調べた結果、各試料とも焼入温度の上昇とともに炭化物の固溶量を増し、またオーステナイト結晶粒の成長をきたすが、また Co の量を増すほど同一焼入温度において炭化物の固溶量が多く、かつ結晶粒が大きくなる。結晶粒界に現われる共晶は A 系試料では 1,260°C 以上で認められるが Co を添加したものは比較的少ない。B 系試料では 1,280°C 付近から現われ A 系に比べてきわめて少ないが、その傾向は同様である。すなわち A 系に比べて B 系試料は同一焼入温度においてレデライト共晶の生成が少なく、またオーステナイト結晶粒も小さい。したがって B 系の方は A 系に比べて焼入温度を高めることができる。第3~6図は組織の一例として A 系、B 系とも Co 0 および 10% のものについて 1,240°C 焼入の場合を示した。

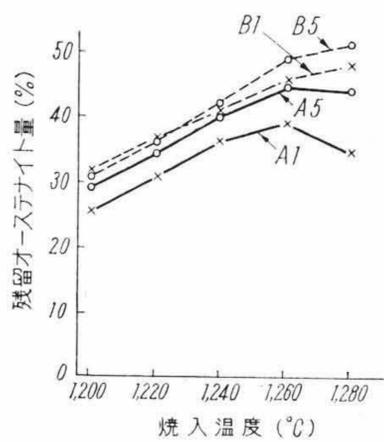
3.3 オーステナイト結晶粒度

各温度に焼入した試料について標準図と比較し、平均結晶粒度を求めた。第7図および第8図はその結果を示す。A系試料では焼入温度を上昇するほどオーステナイト結晶粒を粗大化し、特に1,260°C 付近より著しい。Co 添加の影響は3%程度ではあまり変わらないが、それ以上では Co 量を増すほど粗大化の傾向を示す。また B 系試料でも同様の傾向を示すが、A系に比べて全般的に細かい。すなわちオーステナイト結晶粒の成長速度は W 量の多い B 系のほうが小さい。

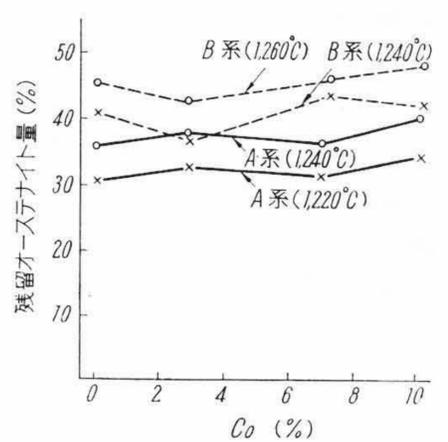
3.4 残留オーステナイト

高速度鋼の残留オーステナイトについて従来発表されているものによると、C 1.2%, Cr 4.2%, W 5.0%, Mo 4.0%, V 4.0% の高 C~高 V 高速度鋼⁽¹⁾ では 1,220~1,280°C 焼入で約 40~49% の残留オーステナイトを有する。また SKH 3 では焼入温度の上昇とともに増加し、1,350°C で約 34% と報告⁽²⁾されている。この結果からみると高 C~高 V 系高速度鋼の残留オーステナイト量は 18-4-1-Co 系に比べてかなり多いことが知られる。

本実験では Co の残留オーステナイト量に及ぼす影響を調べるため、一般に行なわれている弾動検流計法により焼鈍状態および焼入後の飽和磁気の強さを測定し、これにより焼鈍状態のものを基準として求め、残留オーステナイト量の近似値とした。第9図は試料 A1,



第9図 焼入温度と残留オーステナイト量の関係

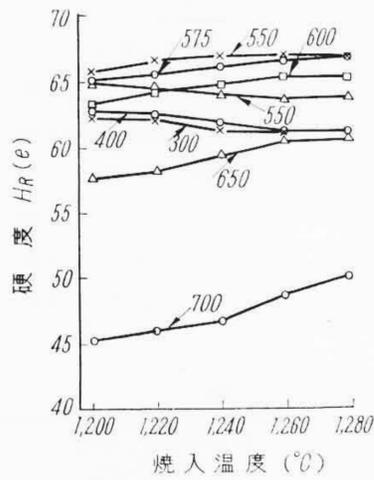


第10図 Co量と残留オーステナイト量の関係

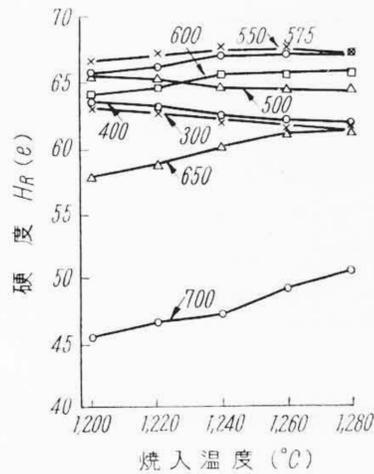
A5, B1 および B5 について焼入温度と残留オーステナイトとの関係を示す。すなわち Co 0% の試料 A1 では焼入温度の上昇に従い残留オーステナイト量を増加し、1,260°C で最大となり約 39% を示すが、1,280°C ではこれより少なくなる。Co 10% の A5 は A1 に比べてその量が多く、1,260°C で約 44% となる。1,280°C ではやや少なくなるが、その程度は A1 に比べて小さい。この点は Co の添加によって共晶の生成が少ないことによるものと考えられる。また B 系試料は A 系に比べてその量が多く、かつ B1 と B5 では 1,240°C 付近までは大差ないが、1,260°C 以上では Co 10% の B5 が高い傾向を示している。第10図は Co 量と残留オーステナイトの関係で A 系試料は 1,220 および 1,240°C 焼入、B 系試料は 1,240 および 1,260°C 焼入の場合を示した。これによるとあまり明瞭な結果を示していないが、おおむね Co 量を増すほど残留オーステナイトを増加する傾向にある。

3.5 焼戻温度と硬度の関係

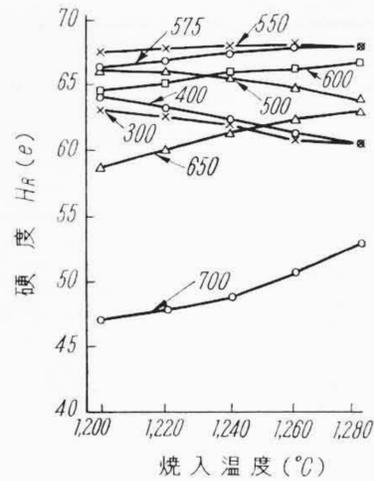
1,200~1,280°C に焼入した試料を 300~700°C に段階的に焼戻を行ない硬度を測定した。第11~14図は A 系試料、第15~18図は B 系試料の結果を示す。A 系試料では焼戻による最高硬度を示す焼戻温度は 550°C 付近である。こうして各試料とも焼入温度を上昇するほど硬度は高くなり、1,240~1,260°C で最高を示し、1,280°C



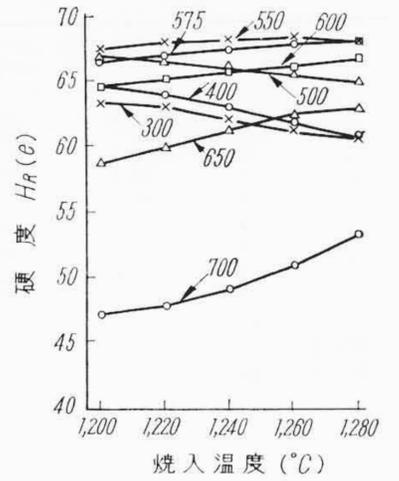
第11図 試料 A1 の焼戻硬度



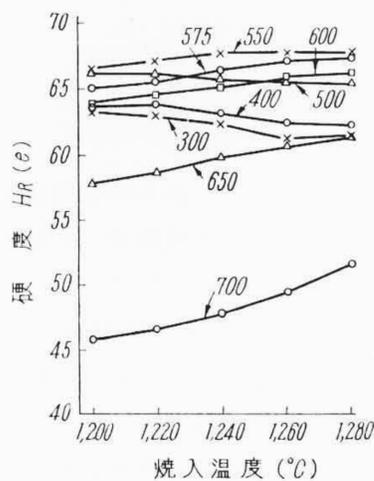
第12図 試料 A2 の焼戻硬度



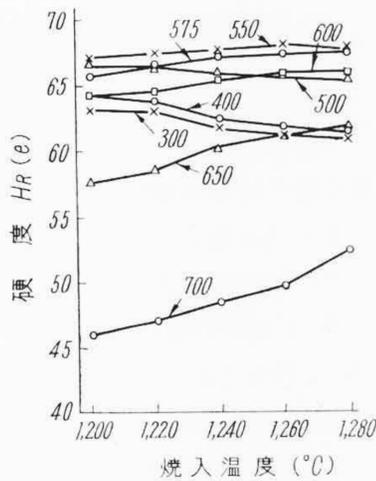
第15図 試料 B1 の焼戻硬度



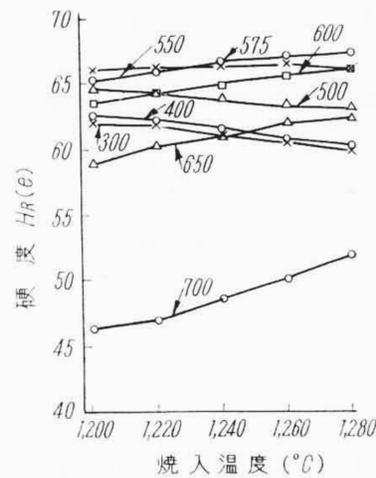
第16図 試料 B2 の焼戻硬度



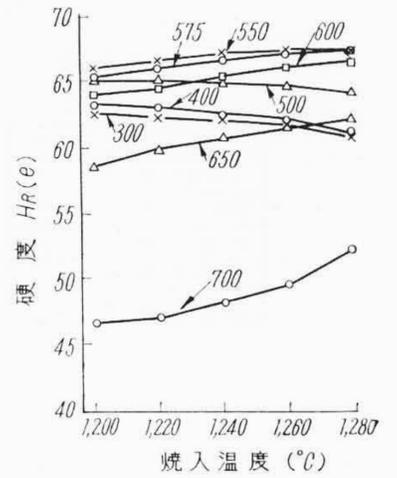
第13図 試料 A4 の焼戻硬度



第14図 試料 A5 の焼戻硬度



第17図 試料 B4 の焼戻硬度



第18図 試料 B5 の焼戻硬度

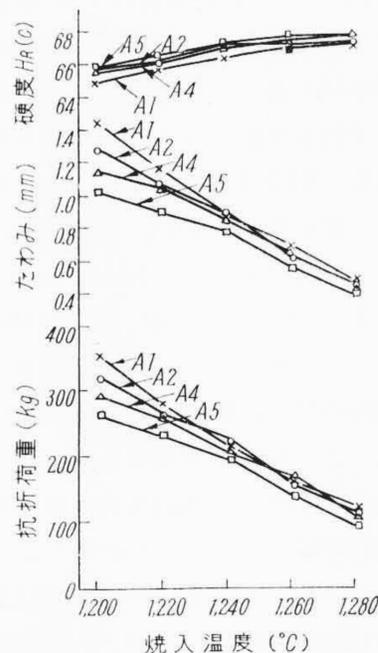
ではいくぶん低下の傾向を示す。これは共晶が現われるためである。また Co を添加し、かつその量を増すほど高くなる。たとえば 1,220~1,260°C で Co 0% のものは HR(C) 66.7~67.0 であるが、Co 10% のものは 67.4~67.9 を示す。また B 系試料では試料 B1 は 1,240°C 以上のものは 575°C 付近で最高硬度を示すが、B2~B5 はいずれも 550°C で最高となる。B1 は C および W 量がやや高目であり、その影響と思われる。Co の影響は A 系試料の場合と同様に Co を増すほど硬度は高くなる。1,220~1,260°C 焼入のものを比較するに Co 0% のものは HR(C) 66.3~67.1, Co 10% のものは 68.1~68.4 を示す。なお A 系試料と比較すれば B 系がいくぶん高目である。これらの焼戻硬度および前述の焼入組織などから適当な焼入温度を選定すれば A 系試料は 1,220~1,250°C, B 系試料は 1,240~1,270°C 付近と思われる。

3.6 抗折試験

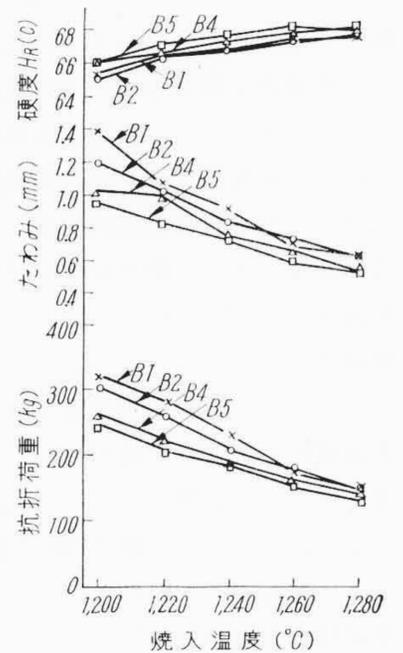
5φ×70mm 試片を用い 1,200~1,280°C に 1 分間浸漬後油焼入、550°C に 3 回焼戻を行ない、従来と同様の試験方法により破断したときの荷重およびたわみを測定した。第 19 図は A 系試料、第 20 図は B 系試料についての結果であり、試片 4 本の平均値を示した。A 系試料では焼入温度を上昇するほどやや急激に抗折荷重を低下し、すなわちじん性を減ずる。また従来 Co の添加はじん性を低下するといわれているが、本実験の結果によると 1,200~1,220°C の低温側でその影響が明りょうに現われ Co 量を増すほどじん性を低下することが認められる。しかし 1,240°C 以上ではその差が少なくなる。また B 系試料でもその傾向は同様であり、Co を増すほどじん性を低下するが 1,260°C 以上ではあまり差がない。なお A 系と B 系を比較するに焼入温度の低いほうでは A 系のほうがやや大きく、高温側では逆に小さい傾向を示している。この点はおそらく A 系においては共晶がより多く現われるためと考えられる。

3.7 切削試験

高速度鋼に Co を添加して切削耐久力を増加することはよく知ら



第19図 試料 A1~A5 の焼入温度と抗折荷重の関係



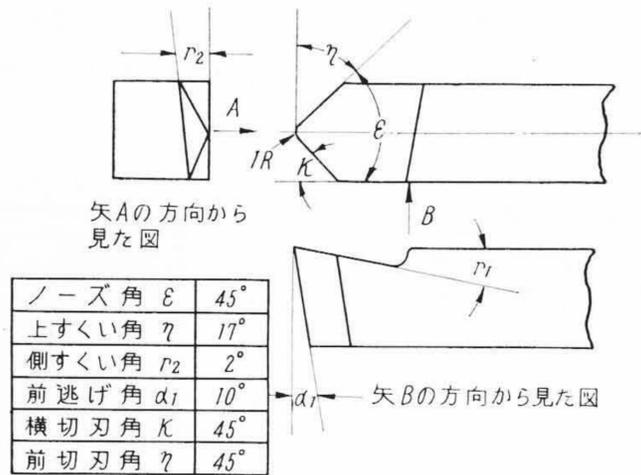
第20図 試料 B1~B5 の焼入温度と抗折荷重の関係

れている。これは地質に含まれた Co はマルテンサイトを安定化する作用をなす。そのため焼戻抵抗および高温硬度を増大し切削耐久力を高めるのである。著者の一人⁽³⁾はさきに 18-4-2 系高速度鋼について Co 量と切削耐久力の関係を調べたが、その結果 Co 17~20% で最高を示した。また掘田氏⁽⁴⁾は 18-4-1 系および 18-4-2 系に Co を 0~30% 添加し、Co 含有量と切削耐久力との関係を調べているが、これによると Co 10% のものが切削耐久力最大にして Co 5 および 0% がこれにつき、Co 20~30% のものはこれより劣ることを報告している。

本実験では上記の試料について Co 含有量と切削耐久力の関係を調べ、かつ従来の高 W~Co 系高速度鋼 YHX 3 および YHX 4 と比較した。また一般に Co 量を増すほど焼入温度を高くすることがで

第 3 表 試験用バイトの硬度 HR(C)

種別	Co (%)	1,220°C O. Q 550°C ㊦	1,240°C O. Q 550°C ㊦	1,260°C O. Q 550°C ㊦	1,290°C O. Q 570°C ㊦	1,300°C O. Q 570°C ㊦
A 系試料	0	65.9	—	—	—	—
	3	66.3	66.8	—	—	—
	5	66.5	67.0	—	—	—
	7	66.7	67.5	—	—	—
	10	66.7	67.6	—	—	—
B 系試料	0	—	66.7	—	—	—
	3	—	66.9	67.4	—	—
	5	—	67.1	67.6	—	—
	7	—	67.4	68.3	—	—
	10	—	67.7	68.6	—	—
YHX 3	5	—	—	—	66.7	—
YHX 4	10	—	—	—	—	67.3



第 21 図 バイトの形状

きるが、この実験では一応 Co 量に関係なく、試験用バイトの熱処理は A 系試料は 1,220 および 1,240°C、B 系試料は 1,240 および 1,260°C 焼入とし、550°C 3 回焼戻、また YHX 3 は 1,290°C、YHX 4 は 1,300°C 焼入し、570°C 3 回焼戻を行ない、工具研摩盤により第 21 図に示す形状の直剣バイトに仕上げた。第 3 表はこれらの硬度を示す。A 系および B 系とも Co 量を増すほど高く、また焼入温度の高いほうが大である。顕微鏡組織はいずれも微細なマルテンサイト地に細かい炭化物が分布した組織である。YHX 3 および YHX 4 はこれに比べてやや粗大な針状組織を示し、炭化物も大きい。切削試験には昌運カズノブ精密旋盤を使用し、被削材としては SUJ 2 150φ 焼鈍材 (H_B 192)、SNC 2 150φ ㊦材 (H_B 310, 258~255)、SK 7 140φ 焼鈍材 (H_B 150) などを用い、切り込みを 1.0mm、送りを 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 22 図は A 系試料の 1,220°C 焼入したバイトにより被削材 SUJ 2 を切削した場合の Co の影響を示すが、Co 量を増すほど切削耐久力を高めることが認められる。第 23 図は被削材 SNC 2 についての結果であるが、これも前者と同様の傾向を示している。また第 24~26 図は B 系試料の 1,240°C 焼入によるバイトの試験結果である。いずれも Co

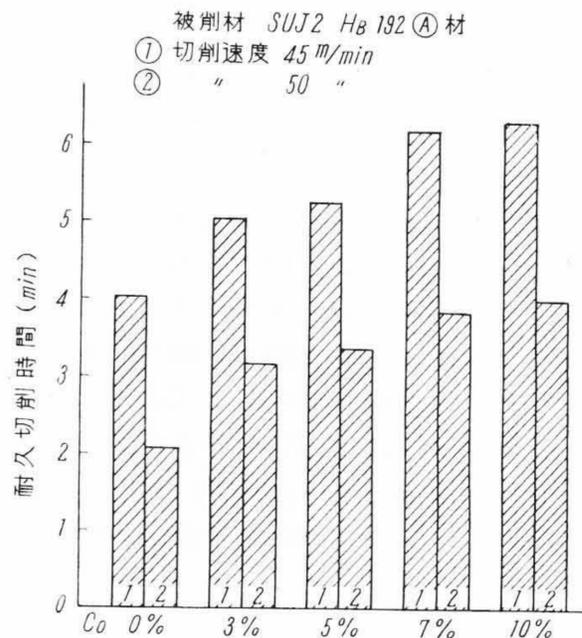
第 4 表 各試料の化学成分 (%)

種 別	C	Cr	W	Mo	V	Co
ソーダホース #27	0.80	4.50	18.50	1.40	1.60	5.00
ショーラー K 5 M	0.80	4.50	6.50	5.00	2.00	5.00
国内 A 社 製品	1.30	4.00	6.00	5.00	4.00	—
アッサブ HC~Hv~Co	1.55	4.00	12.00	—	5.00	5.00
XVC 2	1.35	4.20	9.00	1.75	4.00	5.00
YXM 3	1.00	4.20	10.00	2.75	2.75	5.00

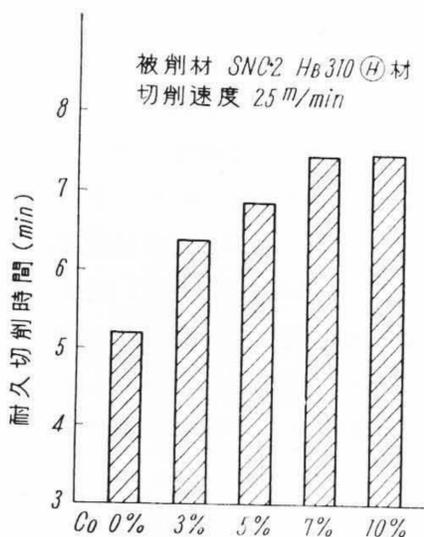
第 5 表 各試料の性能比較

種 別	切削したみぞ数 (個)	被削材 (%)
ソーダホース #27	23	C 0.18~0.23
ショーラー K 5 M	12	Si 1.0
国内 A 社	25	Mn 1.0
アッサブ HC~Hv~Co	31	Ni 0.5~1.0
XVC 2	21	Cr 12~14
YXM 3	31	W 0.95~1.25
		Mo 0.75~1.25
		V 0.2~0.5

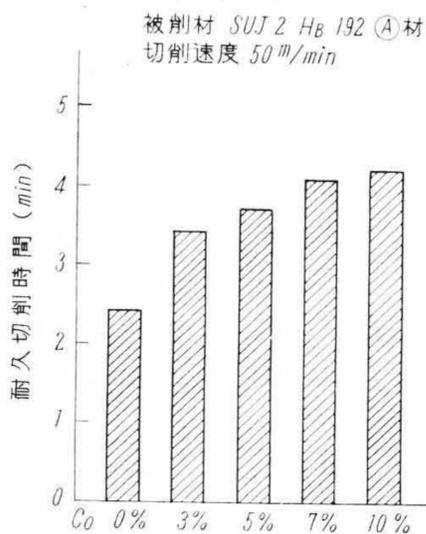
量を増すほど切削性能の向上が認められる。なおこれらの結果からみると Co 量 3% と 5% および 7% と 10% における性能差は比較的小さい傾向にある。また A 系に比べて B 系がすぐれている。すなわち W と Mo の量は A 系試料 W 6%, Mo 5%, B 系試料 W 10%, Mo 2.75% であり、今これを W 1.0% = Mo 1/2% でその量を比較すれば両者約 16% となるが、性能的には B 系がすぐれている。これらの結果から YHX 4 および YHX 3 との比較は主として B 系試料で行ない、1,260°C 焼入によるバイトを用いた。なお A 系試料には 1,240°C



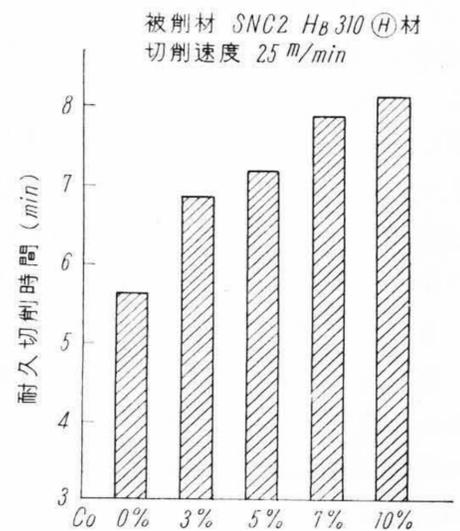
第 22 図 A 系試料の切削試験結果 (1,220°C O. Q)



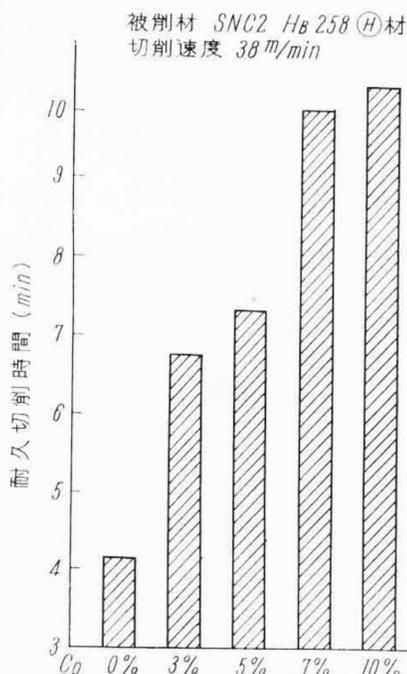
第 23 図 A 系試料の切削試験結果 (1,220°C O. Q)



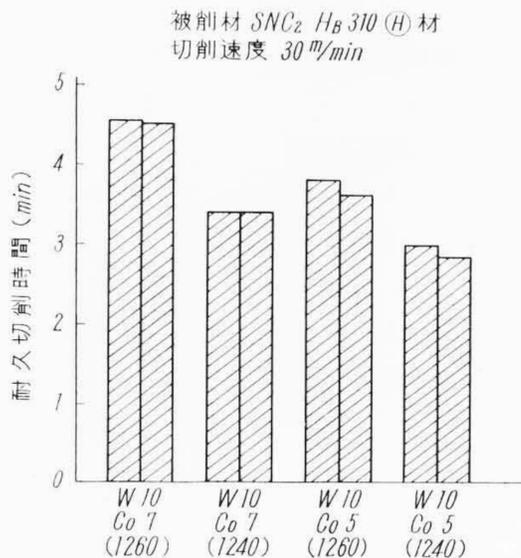
第 24 図 B 系試料の切削試験結果 (1,240°C O. Q)



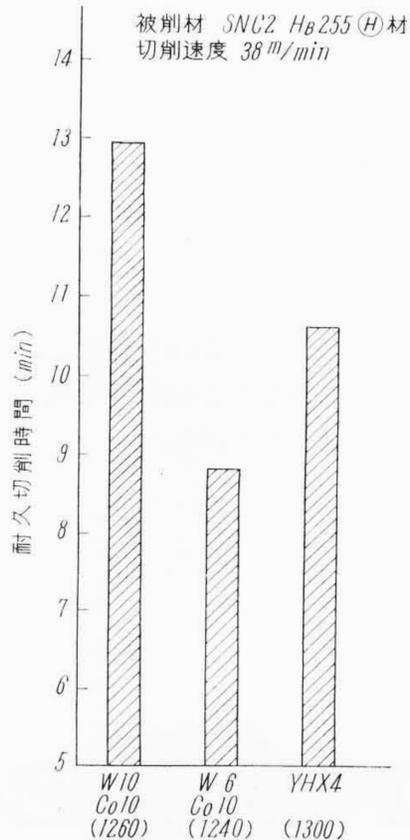
第 25 図 B 系試料の切削試験結果 (1,240°C O. Q)



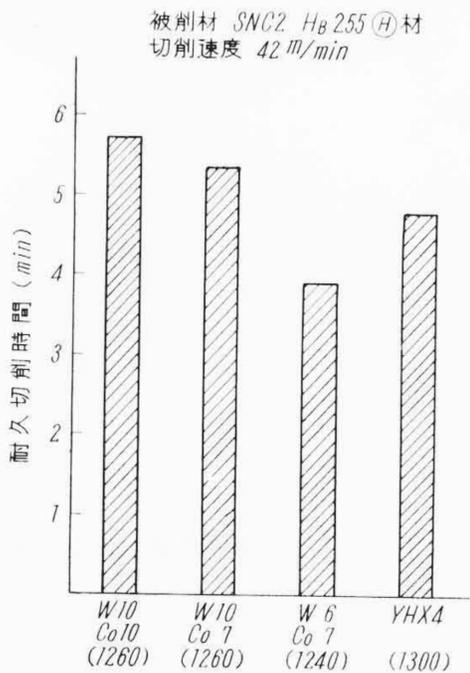
第26図 B系試料の切削試験結果



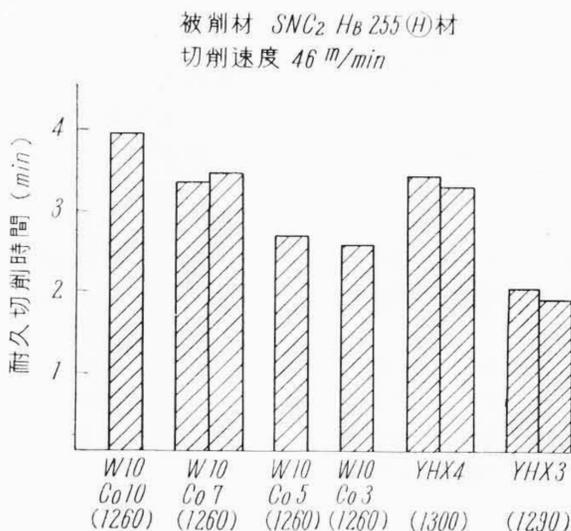
第27図 切削試験結果 (焼入温度の比較)



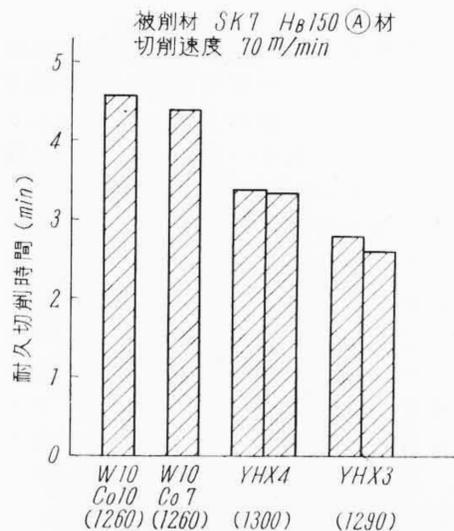
第28図 切削性能の比較



第29図 切削性能の比較



第30図 切削性能の比較



第31図 切削性能の比較

第6表 ホブによる性能比較

種別	ホブ1個による延切削個数	ホブ最大摩耗量 (mm)	備考
国内A社製品	230	0.80	使用ホブ モジュール3 被削材 S50C Hrc(σ)18.0
YXM3	360	0.50	被削歯車 カムシャフトギヤ 切削速度 37 m/min

焼入によるバイトを用いた。第27図は焼入温度の影響としてB系試料の1,240と1,260°C焼入の比較を示すが、温度の高いほうがすぐれた性能を示す。また第28~30図はYHX4およびYHX3との比較を示す。すなわちB系試料のCo 10%含有したものはYHX4に比べて切削性能がかなりすぐれている。Co 7%のものもYHX4と同等またはそれ以上の性能を有することが認められる。またYHX3はCo 3~5%のものより悪い結果を示している。一方A系試料はCo 10%および7%のもの、ともにYHX4に比べて劣っている。また第31図はSK7材を用い比較的高速で試験した結果であるが、この場合も前述と同様の傾向を示した。

以上の結果を総合してみるに、この種Mo系高速鋼としてB系組成のものは18-4-1-Co系と比較し、切削性能がきわめて大きく、Co添加量約3%および7%程度でそれぞれYHX3およびYHX4以上の性能を有することが認められる。なおCo 5%含有したものはYXM3としてすでに生産されているが、これについて某社で実

用試験を行なった結果を示すと次のとおりである。すなわち第4表は各種比較材の化学成分を示し、第5表はこれをカッターとして比較試験した結果である。また第6表はホブとして切削性能を比較した結果であるが、いずれの場合もYXM3はすぐれた性能を示すことを実証している。

4. 結 言

- (1) Mo系高速鋼としてC 1.0%, Cr 4.2%, W 6%, Mo 5%, V 2.75%を基準としたA系試料およびWを10%, Moを2.75%にしたB系試料にそれぞれCo 0~10%添加した場合の各種性能を調べ、かつ18-4-1-Co系高速鋼と切削性能を比較した。
- (2) Coの添加により加熱変態点は大差ないが、冷却変態点はその量を増すほど上昇する。
- (3) 焼入硬度はA系、B系試料とも焼入温度を上昇にしたがい低下し、かつCo量を増すほど低くなる。またオーステナイト結晶粒度はCoを増すほどおおむね粗大化するが、A系に比べB系は細かい。
- (4) 残留オーステナイトはCoを増すほど増加の傾向を示す。またA系とB系では後者のほうがいくぶん多い。
- (5) 焼戻による最高硬度を示す温度はA系およびB系とも550°C付近である。その値はCo量を増すほど高くなる。またA系

に比べB系がいくぶん高い。

(6) Co量を増すほどじん性を低下する。その影響は焼入温度の低いほうで明瞭に認められ、高温側ではその差が小さい。

(7) 適当な焼入温度はA系試料1,220~1,250°C, B系試料1,240~1,270°C付近である。焼戻は550~570°Cで行なう。なお工具の種類によっては焼入温度を多少低目にしてじん性をもたす場合もある。

(8) 切削耐久力はCoを増すほど増加するが、Co3%と5%および7%と10%ではその差が比較的小さい。またA系に比べてB系試料がすぐれている。

(9) B系試料とYHX4およびYHX3と比較した結果、Co約3%および7%程度含有せしめることにより、それぞれYHX3およびYHX4以上の性能を示すことを認めた。またCo5%含有したものについて、実用試験を行なった結果はきわめてすぐれた切削性能を示し、この種高速度鋼の優秀なることを確認した。

参考文献

- (1) 高見沢(訳): 高速度鋼(昭16-6, 共立社)
- (2) 根本: 日研研報 第3241号(昭35-6)
- (3) 小柴: 工具材料(下)(昭31-5, 丸善)
- (4) 堀田: 鉄と鋼 23, 787(昭12-8)



特許の紹介

特許第275564号

渡辺信一・平川洋一郎

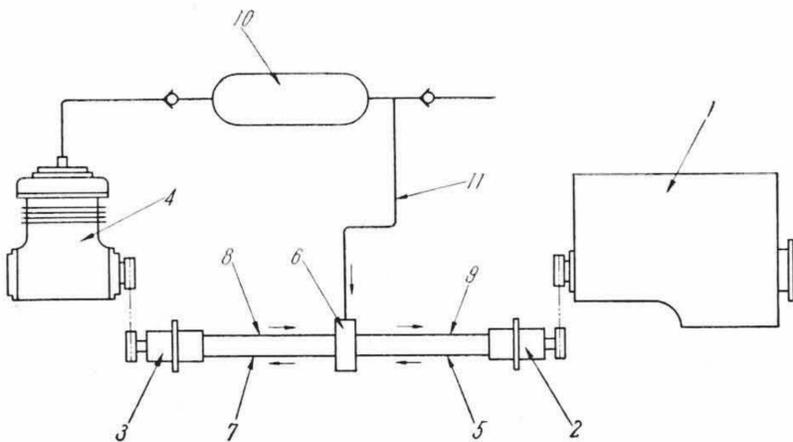
オイルモータを用いたコンプレッサ駆動方法

内燃機関を原動機とする鉄道車両用空気ブレーキ装置においては、コンプレッサは常時エンジンによって駆動され、レザーバ中の空気圧力は調圧器によりコンプレッサ付属のアンロードを操作することによってある一定範囲の圧力に保持される。この場合コンプレッサの駆動回転数はエンジン回転数に比例するため大なる空気消費量を必要とする入換作業あるいはエンジンをアイドリングにして、下りこう配をブレーキをかけながら運転する場合などには空気量の不足をきたす。したがってコンプレッサ回転数はエンジン回転数に関係なく独立して制御されることが望ましい。

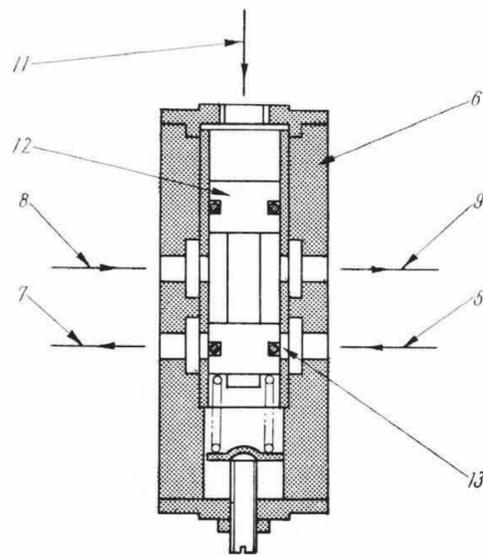
この発明は上述の問題を解決するため、エンジン1により駆動されるオイルポンプ2とコンプレッサ4を駆動するオイルモータ3とをレザーバ10内空気圧力により作用する制御弁6を介して油管5, 7, 8, 9で連結し、オイルモータ3に流入する圧力油量を自動的に制御するようにしたものである。

オイルポンプ2から吐出された圧力油は油管5, 制御弁6, 油管7を径てオイルモータ3に流入し、油管8, 制御弁6, 油管9を径

てオイルポンプ2に戻り、コンプレッサ4はオイルモータ3により駆動される。レザーバ10内の空気圧力が規定値を越えると、空気管11を径て制御弁6内に作用している圧力空気がパイロットバルブ12を押下げるので、バイパスポート13が一部あるいは全部開かれ、油管5からはいった圧力油の一部あるいは全部がバイパスポート13を径てバイパスされ、油管9を径てオイルポンプ2へ戻される。したがってオイルポンプ2からオイルモータ3へ流入する圧力油量は自動的に制御され、エンジン1の回転数に関係なくコンプレッサ4の回転数を変換してレザーバ10内の空気圧力を常時規定値に制御することができる。同時にオイルポンプ2とオイルモータ3とは油管により連絡されているためコンプレッサ4の取付位置を任意に選定することができる。



第1図



第2図