

## 技術資料

### 最近の工具材料について

(故)小柴 定雄\*・新持喜一郎\*\*

#### On the Recent Tool Materials.

(Late) Sadao KOSHIBA and Kiichiro SHINJI

#### I. 結 言

工具は現在自動車、船舶、航空機その他の各種機械部品および化学、金属工業などの加工作業において用いられている。その工具に用いられる材料は目的用途によつて種々あり、切削、剪断、衝撃による加工あるいは冷間および熱間における各種の加工に耐えてかつ高能率のものが要望されている。またゲージその他の計測器具あるいは治具に使用されるが、近来例えば高速度鋼が冷間圧延ロール、冷間ダイスなどにも使用されるにいたるなど、用途が拡大されてきたが他方切削工具においては被切削材の硬度が高くなり、また加工条件がきびしく高性能のものが要望されている。用途、品質、性能いずれも広く高く進展している状況である。例えば歯車のホブ切り加工においては、切削速度を従来の 40~50m/mn から最近では 100m/mn 以上に高めて加工能率向上を図っている。また被削材の硬さでは  $H_B$  400 を越すものが対象になりつつある状況である。

#### II. 工具鋼の具備すべき条件

工具鋼は一般刃物、バイト、ドリル、カッター、鋸、ヤスリなどの切削工具、抜型、パンチなどの剪断工具、タガネ、スナップ、さく岩機用タガネなどの耐衝撃工具、引抜ダイス、ヘッディングダイスなどの冷間成形工具、鍛造用型、ダイカスト用型などの熱間成型工具その他ブロックゲージ、精密測定用工具などの材料あるいは各種の作業治具、ブイブロックなどに用いるものがある。したがって工具はその目的用途によつて適当な材質のものを選択すべきである。工具鋼として具備すべき条件の有名なものをあげると次のごとくである。

- (1) 常温および高温硬度大なること
- (2) 加熱による硬度の変化が少ないこと
- (3) 摩耗抵抗の大なること

- (4) 強靱なること
- (5) 熱処理、加工その他取扱の容易なこと
- (6) 熱処理による変形の少ないこと
- (7) 価格の低廉なこと

(1)の性質は工具として第一条件で切削工具の切味ないし耐久力を支配するものである。また高温用ダイスなどにも重要な性質である。(2)および(3)の性質も切削工具、高温用ダイスに必要なもので特に(3)の性質は(6)の性質と相まつてゲージ、ダイスその他の精密測定工具に対して必要である。(4)の性質は衝撃ないしは振動を受ける工具、例えばさく岩機のピストンなどに必要である。(5)の条件は工具鋼がほとんどの場合加工および熱処理して使用するから重要なことは当然である。

近来これ等の条件がますますきびしく要求されるにいたつたので材質、熱処理法などに不断の研究改善がなされている。

#### III. 工具鋼の種類と用途

工具鋼はその目的用途によつて種々の組成のものが使用されており、その用途に応じて熱処理を変えることにより硬度、じん性その他の性質を変えることができる。わが国では炭素工具鋼、合金工具鋼、高速度鋼などに分類されている。

以下用途別に現用鋼並びに最近の状況について述べる。

##### 1. 切削工具

旋盤工具、タップ、ダイス、リーマ、ミリングカッター、ドリル、ブローチ、ホブ、帯鋸、ヤスリなど種類が多い。一般に切削性能をあまり要求しないもので、かつ比較的小物には  $C$  0.80~1.30% の炭素工具鋼が用い

\* 日立金属工業株式会社安来工場、冶金研究所長 工博

\*\* 日立金属工業株式会社安来工場、冶金研究所 研究部長 工博

られる。一方耐摩耗性や切削性能を要求する場合には合金工具鋼が用いられる。ことに熱処理による変形を嫌う工具、刃物あるいは複雑な形状の工具や大物工具には Mn を約 1.0~1.2% 含んだ鋼種が使用される。なおさらに重切削により温度上昇を来し、高温硬度や高温耐摩耗性を要求する工具などには高速度鋼が使用せられる。

(1) タップ、ドリル、カッター、リーマ、ブローチなど

第1表は現在用いられている代表的鋼種と化学成分を示す。タップ、ドリルなどの 10mm φ 以下の細物の場合には炭素工具鋼が用いられる。水焼入炭素工具鋼は断面寸法が約 15mm 以上になると表面は硬くて切削能力が大きく、他方心部は焼きがほとんど入らないからジ性に富んでおり耐衝撃性が大きい。しかしながら上記

のものに比して大型工具、形状の複雑な工具には焼入性が比較的にすぐれ、耐摩耗性がよく且つ熱処理変形が少いものすなわち合金工具鋼が適している。

次に高性能タップ、ドリル、カッター、リーマ、ブローチなどには高速度鋼が使用せられる。普通もつとも多く使用されるのは SKH 2, SKH 6 であるが、最近 Mo 高速度鋼 SKH 9 が多く使われつつある。なおさらに切削性能を要求する場合には Co 3~5% 添加した SKH 3, SKH 8, 時にはさらに高 Co 系 (SKH 4 B, SKH 5) のものが使用される。

(2) 丸ノコ、帯ノコ、金切ノコ、メタルソーなど

第2表は現在用いられている代表的鋼種と化学成分を示す。

帯鋸、丸鋸としては切味の優秀なことおよび耐摩耗性の大きくなることが必要である。C 約 0.70~1.0% の炭素

第1表 タップ、ダイス、リーマ、ドリルなどの切削用工具鋼の鋼種と化学成分 (%)

鋼 種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Co	該当 J I S 記号
炭素工具鋼	1.40	0.25	0.35						SK 1
〃	1.20	0.25	0.35						SK 2
〃	1.05	0.25	0.35						SK 3
Cr-W 鋼	1.35	0.20	0.35	0.75	4.50				SKS 1
Cr-W-V 鋼	1.25	0.25	0.35	0.35	3.50		0.20		SKS 11
Cr-W 鋼	1.05	0.25	0.70	0.80	1.30				SKS 2
Cr-W-V 鋼	1.05	0.25	0.35	0.35	0.75		0.20		SKS 21
Cr-W-Mo-V 鋼	1.15	0.20	0.25	0.20	1.40	0.20	0.15		(SAV)*
Mn-Cr-W 鋼	0.95	0.20	1.05	0.75	0.75				SKS 3
〃	1.00	0.20	1.05	1.00	1.25				SKS 31
W 高速度鋼	0.75	0.25	0.40	4.20	18.00		1.10		SKH 2
低W 高速度鋼	0.75	0.25	0.40	4.20	11.00		1.80		SKH 6
Mo 高速度鋼	0.80	0.25	0.40	4.20	6.50	5.00	2.00		SKH 9
W-Co 高速度鋼	0.75	0.25	0.40	4.00	18.00		1.00	5.00	SKH 3
〃	0.75	0.25	0.40	4.00	19.00		1.25	15.00	SKH 4 B
〃	0.75	0.25	0.40	4.00	18.00		1.00	2.50	SKH 8
〃	0.30	0.25	0.40	4.00	20.00		1.25	16.50	SKH 5

注 \* ヤスキ鋼の記号

第2表 各種ノコ用の代表的鋼種と化学成分 (%)

鋼 種	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当 J I S 記号
炭素工具鋼	1.20	0.25	0.35						SK 2
〃	1.05	0.25	0.35						SK 3
〃	0.95	0.25	0.35						SK 4
〃	0.85	0.25	0.35						SK 5
〃	0.75	0.25	0.35						SK 6
Ni 鋼	0.80	0.25	0.35	1.00	0.30				SKS 5
〃	0.80	0.25	0.35	1.70	0.30				SKS 51
Cr-V 鋼	0.80	0.30	0.40		0.50			0.20	
Cr-W 鋼	1.05	0.25	0.70		0.80	1.30			SKS 2
Cr-W-V 鋼	1.05	0.25	0.35		0.30	0.80		0.20	SKS 21
Cr-W 鋼	1.15	0.25	0.40		0.30	2.30			SKS 7
Cr-W-Mo-V 鋼	1.15	0.25	0.60		0.75	1.50	0.30	0.20	(SAV)*
W 高速度鋼	0.75	0.25	0.40		4.20	18.00		1.00	SKH 2
低W 高速度鋼	0.75	0.25	0.40		4.20	11.00		1.80	SKH 6
Mo 高速度鋼	0.80	0.25	0.40		4.20	6.50	5.00	2.00	SKH 9

注 \* ヤスキ鋼の記号

工具鋼が用いられる。しかし最近は切削性能の良いものが要望され帯鋸用鋼としては C 0.75~0.85 に Ni および少量の Cr を添加したものが使用されている。しかし Ni を含まないで Cr あるいは Cr と V を少量含有したものなども使用されている。また金切鋸用としては SK2~3 の外に SKS2 や SKS7 の Cr-W 系を使用する。なお Cr-W 鋼 (SKS2, SKS7) に比較してじん性が大きいかも切削耐久力がすぐれている鋼種として C 1.15%, Cr 0.75%, W 1.5%, Mo 0.3%, V 0.20% 鋼がある。なお切削用として高速度鋼があるが一括して後で述べることにする。

(3) ヤスリ類

第3表は現在使用されているヤスリ用鋼の鋼種と化学成分を示す。

炭素工具鋼に比し Cr を含有した方が硬くて耐摩耗性がすぐれている。

2. 耐衝撃用工具

耐衝撃用工具にはタガネ、スナップ、ポンチなどのほか、さく岩機のピストンやピック、またヘッディングダイスや剪断刃物なども含まれる。

一般にタガネやスナップ用などの耐衝撃用鋼にはその用途によつて異なるが、C 約 0.60~1.0% の炭素工具鋼、およびこれに少量の V を添加した V 鋼を用いる場合と、比較的低 C および中 C 量でこれに相当量の Cr (0.50~1.50%) および W (0.50~3.5%) を添加した Cr-W 合金工具鋼が使用される。また比較的低 C 量の Ni-Cr-Mo など使用される。一方さく岩機のピストンやピック材には C 0.80~1.10% に V を約 0.20% 合金した C-V

第3表 ヤスリ用鋼の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Cr	該当 J I S 記号
炭素工具鋼	1.40	0.25	0.35		SK1 SKS8
Cr 鋼	1.40	0.25	0.35	0.35	

第4表 タガネ、スナップ用鋼の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当 J I S 記号
炭素工具鋼	1.05	0.25	0.35						SK3
〃	0.95	0.25	0.35						SK4
〃	0.85	0.25	0.35						SK5
〃	0.75	0.25	0.35						SK6
〃	0.65	0.25	0.35						SK7
Cr-W 鋼	0.50	0.25	0.35		0.75	0.80			SKS4
〃	0.60	0.25	0.40		0.70	1.50			(YTW)*
低C-Ni-Cr-Mo鋼	0.20	0.25	0.40	2.00	2.00		0.30		(SNP)*
Si-Cr-W-Mo-V 鋼	0.48	0.85	0.40		1.60	2.00	0.35	0.25	(YSR)*
Cr-W 鋼	0.40	0.25	0.35		1.30	3.00			SKS41
Cr-W-V 鋼	0.80	0.25	0.35		0.35	2.00		0.20	SKS42
V 鋼	0.85	0.20	0.25					0.20	SKS44

注 \* ヤスキ鋼の記号

鋼が広く使用されている。

なお最近 Si-Cr-W 系鋼 (YSR) がタガネなどに使用せられるが、本鋼種はまた冷間および熱間用のシャープブレードとしても用いられる。なおシャープブレード材は炭素工具鋼、合金工具鋼および高速度鋼を使用する。

(1) タガネ、スナップ

第4表に種類と化学成分を示す。

タガネやスナップにはその被加工物によつて異なるが、普通は C 約 0.65~1.00% の炭素工具鋼 (SK3~7) およびこれに少量の V を添加した C-V 鋼 (SKS44) が広く用いられる。V 鋼は表面が比較的硬く、芯部は粘く、耐衝撃性が炭素工具鋼よりすぐれている。しかし銹鉄用チップングとか被加工物によつては上述のものでは耐久力が悪いので、Cr-W 系の SKS4, YTW, SKS41 および Si-Cr-W 鋼などの合金工具鋼が用いられる。これらの鋼種はいずれもじん性が比較的大で、しかも耐摩耗性がすぐれている。また焼入性も比較的によいから熱処理が容易であり、大物工具の場合芯部まで強靱性をもたすことができる。なお Si-Cr-W (YSR) は焼入性、じん性ともに良好で、かつ耐摩耗性がすぐれ、約 500°C 附近まで温度上昇してもあまり軟化しない。

次に Ni 2%, Cr 2%, Mo 0.3% を含む肌焼鋼系統の低 C-Ni-Cr-Mo 鋼がスナップなどの用途に適している。

(2) さく岩機用ピストン材およびピック材

第5表はさく岩機用ピストン材およびピック材の種類と化学成分を示す。

さく岩機用ピストン材は耐摩耗性と繰返衝撃、屈曲などの複雑な応力に耐えることが要求され、したがって表面2~3mm程度を硬化し、芯部はかなりの強靱性を有することが必要である。それ故その組成および熱処理方法が重要である。Si および Mn を普通の鋼の場合より低くして焼入性を悪くしたものが使われる。またこれに少

第5表 さく岩機用ピストン材およびピック材の鋼種と化学成分 (%)

鋼 種	C	Si	Mn	P	S	V	該当 J I S 記号
V 鋼	1.05	0.20	0.25	0.025	0.025	0.20	SKS43
//	1.05	0.15	0.15	0.020	0.002	0.15	(PTA)*
//	0.85	0.20	0.25	0.025	0.025	0.20	SKS44
//	0.85	0.15	0.15	0.020	0.002	0.20	(PTB)*
//	0.75	0.15	0.15	0.020	0.002	0.15	(PTI)*

注 \* ヤスキ鋼の記号

第6表 剪断刃物用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼 種	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当 J I S 記号
炭素工具鋼	1.05	0.25	0.35						SK3
//	0.95	0.25	0.35						SK4
//	0.85	0.25	0.35						SK5
Mn-Cr-W鋼	1.00	0.25	1.10		1.00	1.30			SKS31
Cr-W-V鋼	0.80	0.25	0.35		0.40	2.00		0.25	SKS42
V 鋼	1.05	0.20	0.25					0.20	SKS43
//	0.85	0.20	0.25					0.20	SKS44
Si-Cr-W-Mo-V鋼	0.48	0.85	0.35		1.60	1.95	0.35	0.25	(YRS)*
Cr-W-Mo-V鋼	0.53	0.35	0.30		1.40	2.80	1.60	1.30	
Cr-W-Mo-V-Co鋼	0.40	0.30	0.25	Co 4.25	4.25	4.25	0.40	2.25	
Si-Cr-W-V鋼	0.40	0.90	0.30		1.00	1.90		0.20	
Si-Cr-V鋼	0.45	1.50	0.60		1.40			0.15	
Si-Mn-Cr-Mo-V鋼	0.60	2.00	0.85		0.25		0.25	0.20	
Cr-Mo鋼	0.55	0.20	0.50		0.70		0.40		
//	0.95	0.25	0.40		1.00		0.25		(CRM1)*
//	0.80	0.25	0.40		1.00		0.25		(CRM2)*
Cr 鋼	1.00	0.25	0.35		1.45				(CRL)*
//	1.10	0.25	0.40		3.25				(CRH)*
Cr-Mo-V鋼	0.75	0.25	0.30		3.75		0.50	0.35	
高C-高Cr鋼	2.10	0.25	0.40		13.50				SKD1
高C-高Cr-Mo-V鋼	1.50	0.25	0.35		12.00		1.00	0.35	SKD11
5Cr-Mo-V鋼	1.00	0.25	0.75		5.00		1.00	0.35	SKD12
5Cr-Ni-Mo-V鋼	1.00	0.25	0.75	1.00	5.00		1.00	0.35	
Cr-W-V鋼	0.30	0.25	0.40		2.50	5.50		0.40	SKD4
//	0.30	0.25	0.40		2.50	9.50		0.40	SKD5
Si-Cr-Mo-V鋼	0.37	1.00	0.35		5.00		1.25	0.40	SKD6
//	0.37	1.00	0.35		5.00		1.25	1.00	SKD61
Mn-Cr鋼	0.55	0.25	1.00		1.00				SKT2
Mn-Ni-Cr-Mo鋼	0.55	0.25	0.80	0.40	1.05		0.40		SKT3
//	0.55	0.25	0.80	1.60	0.85		0.35		SKT4
Mn-Cr-Mo-V鋼	0.55	0.25	0.80		1.25		0.30	0.20	SKT5
Cr-高W-V鋼	0.45	0.30	0.30		3.50	14.00		0.70	
//	0.40				2.00	11.50		0.35	
//	0.55				4.00	18.00		1.10	
高Cr-高Mo鋼	0.42	0.30	0.35		9.00		6.50		(YCK)*

注 \* ヤスキ鋼の記号

量のV (0.10~0.25%) を添加したV鋼 (SKS43) がもつとも多く使用されている。

次にさく岩機用ピック材はC量約 0.85% の炭素工具鋼やこれにVを少量添加したものが使われる。

### (3) 剪断刃物

切断する材料の種類と厚さ並びに使用温度によつて妥当な材料を選定する必要がある。使用されている工具鋼は第6表に示す如くである。

一般に薄物に対しては C 0.80~1.10% (SK3, 4, 5) の炭素工具鋼が広く使用せられている。しかし耐摩

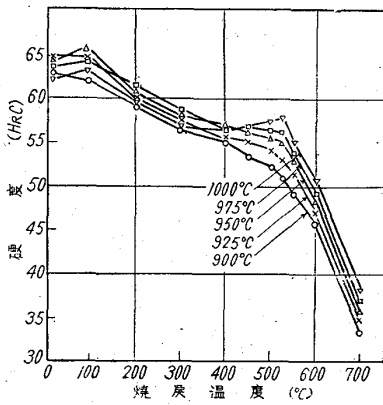
耗性の点からは Cr-W-V鋼 (SKS42) やV鋼 (SKS43, SKS44) などのほか高C-高Cr系鋼 (SKD1, SKD11) も使用せられる。ことにSKD1, SKD11 および SKD12 は空気焼入ができ、しかも変形が少ないから製作が容易である。なお一部に高速度鋼も使われる。中厚物に対しては多少硬さを下げてじん性を増すようにしている。鋼種は大體前述と同じものを用いている。なおこれら以外に Cr鋼 (CRL) (CRH), Cr-Mo鋼 (CRM1) (CRM2) などが使用されている。被剪断材がさらに厚くなると、一層じん性を要求するの

で, SK5, SKS42 のほか, ジン性の大きい SKT2 ~4 や Si-Cr-W-Mo-V 鋼 (YSR), 高温硬度の大きい SKD5 などが使用される.

熱間用剪断刃物にはその作業温度および被剪断材の種類によつて耐熱性でしかもジン性の大きい熱間加工用鋼 (SKD6, 61, 4, 5, SKT3~5) が主として使用せられる. また C 0.5% 前後の Cr-W-V 鋼が使用される場合がある.

Cr-Ni-Mo 鋼<sup>1)</sup>

冷材および熱材の剪断用として Cr を約 5% 含有する Cr-Ni-Mo 鋼がある. SKD12 に Ni を添加したものでジン性を考慮してある. C 0.96%, Si 0.30%, Mn 0.57%, Ni 0.73%, Cr 5.13%, Mo 0.65%, V 0.15% の試料について S 曲線を求めた結果オーステナイトは 550~400°C で安定である. また油および空冷による焼入温度と硬度の関係から油冷の場合は 925°C, 空冷の場合は 950°C で



第 1 図 焼戻温度と硬度との関係

焼入による最高硬度を示すことがわかるが, 第 1 図に 900~1000°C 油焼入試料の焼戻温度と硬度の関係を示す. 焼戻温度約 500°C までは焼戻軟化抵抗が大きく, 特に 1000°C 焼入の場合は約 525°C に 2 次硬化現象を示す. 次に剪断刃具としては硬度とともにジン性の大きくなることが必要である. S 曲線を利用して, マルクエンチ処理と普通の焼入焼戻による衝撃値および抗折力の比較をおこなつた結果油焼入およびマルクエンチ処理とも硬度にはほとんど大差ないが, 焼戻温度 500°C 以下においてはマルクエンチの方が油焼入のものより衝撃値が高い. また抗折力もマルクエンチ処理の方が大である. これらの結果から普通の油焼入の場合よりマルクエンチ処理の方がすぐれている. なお熱間でも使用されるので, この試料を 930°C で油焼入し, 500°C に焼戻した場合試験温度の上昇とともに約 400°C までは衝撃値を増大するが 500°C 付近で脆性を示す.

Si-Cr-W-Mo-V 鋼<sup>2)</sup>

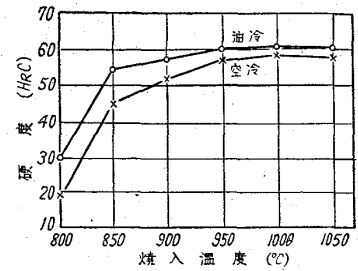
C 0.45%, Si 1.06%, Mn 0.45%, Cr 1.83%, W 1.97%, Mo 0.34%, V 0.39% の試料 (YSR) について油冷および空冷した場合の硬度を示すと第 2 図の如くである. 油冷の場合は焼入温度 850°C より急激に

硬度は高くなり, 1000°C で最高硬度を示す. 空冷の場合は油冷の場合と同様の傾向を示すが, 油冷に比して硬度は低い. 以上の結果より焼入温度は油冷の場合は 950~1000°C, 空冷の場合は 975~1025°C が適当である. 次に 950 1050°C で油焼入した後 100~700°C に焼戻を行った結果を第 3 図に示す. 以上より本鋼はその使用条件を勘案して 400~500°C 附近の焼戻温度が適当である. 第 4 図は 8 mm φ × 80 mm l の試料について 950~1050°C に油焼入後 100~700°C に焼戻して直

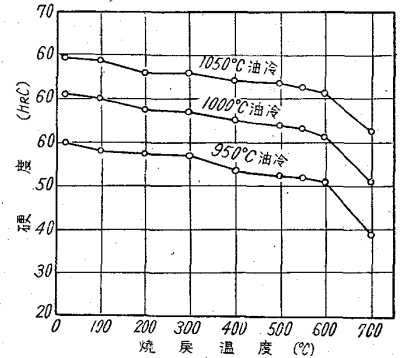
径および長さの変形率を求めた結果である. 第 5 図に 1000°C で油焼入後 400°C に焼戻した場合の 100~500°C の温度における機械的性質を示す. 衝撃値は試験温度 300°C まで増加し, 400°C で一度減少し, 500°C で再び増加する. また最高加熱温度 1050°C の場合の S 曲線を求めた結果 600~500°C で準安定である.

径および長さの変形率を求めた結果である. 第 5 図に 1000°C で油焼入後 400°C に焼戻した場合の 100~500°C の温度における機械的性質を示す. 衝撃値は試験温度 300°C まで増加し, 400°C で一度減少し, 500°C で再び増加する. また最高加熱温度 1050°C の場合の S 曲線を求めた結果 600~500°C で準安定である.

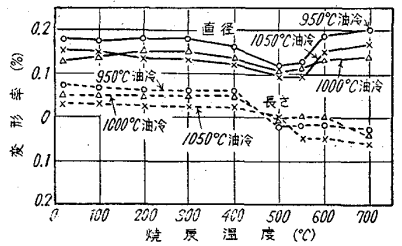
径および長さの変形率を求めた結果である. 第 5 図に 1000°C で油焼入後 400°C に焼戻した場合の 100~500°C の温度における機械的性質を示す. 衝撃値は試験温度 300°C まで増加し, 400°C で一度減少し, 500°C で再び増加する. また最高加熱温度 1050°C の場合の S 曲線を求めた結果 600~500°C で準安定である.



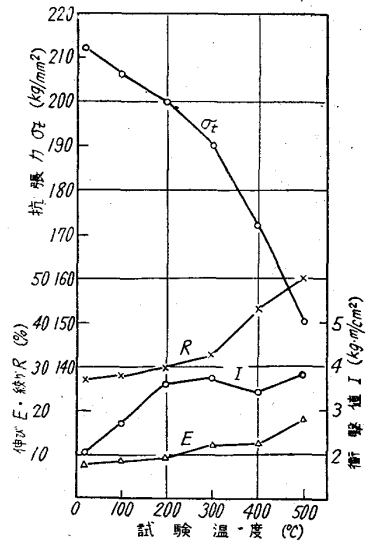
第 2 図 焼入温度と硬度との関係



第 3 図 焼戻温度と硬度との関係



第 4 図 焼戻温度と変形率との関係



第 5 図 高温機械的性質 (1000°C 油冷 400°C 焼戻)

## 3. 抜 型

一般に抜型に用いる型材の選択はその被加工材（打抜される材料）の鋼種、強度および使用度数のほか精度にもよる。また経済性も十分考慮せねばならない。所要の性質としては耐摩耗性、ジンの大なること、熱処理による変形率および経年変化の少ないことが望まれる。したがって炭素工具鋼（水焼入鋼）より合金工具鋼（油または空気焼入鋼）の方がすぐれている。

あまり精度を要しないで、軟質の材料を打抜くような抜型および孔抜型にはその使用度数も少ない場合、炭素工具鋼（SK1~7）や少量の Mn あるいは Cr を含有した鋼種が用いられる。しかし製品の精密さを要求し、寿命の長いことを要求する場合には油焼入鋼すなわち Cr-W 鋼（SKS2）および Mn-Cr-W 鋼（SKS3, SKS31, SBD）などが使用せられる。これらの鋼種は熱処理による変形も少なく、耐摩耗性がすぐれている。しかし型の大きさがあまり大きくなると内部まで焼きが入りにくい。80~100mm（対辺距離または直

経）以上の大型のものには高C-高Cr系の空気焼入鋼が多く用いられる。すなわち SKD1, SKD2, SKD11, SKD12 などが主に用いられる。これらの鋼種は油中または空中に放冷して十分焼きが入るし、熱処理による変形の特に少ない特徴を有し、耐摩耗性もいちじるしく大である。唯前述の Cr-W 鋼および Mn-Cr-W 鋼に比較して型の機械加工性（型彫り）が悪い。しかし十分焼きなましを行えばさほど困難ではない。なお耐衝撃性の大きいことを要求し、打抜く材料の厚さより小さな孔をあけるようなポンチなどには低Cr-低W鋼（SKS4）低C-Cr-W鋼（SKS41）および低Cr-W-V鋼（SKS42）などが用いられることがある。但し耐摩耗性は上述の高C-高Cr系鋼に比較してはかなり低い。なおまた最近新鋼種として高C-高Cr鋼に比較的多量の W, Mo および V を添加したもの、あるいは SKD11 に Co を添加したものが使用されている。いずれも耐摩耗性がいちじるしく大で、しかも熱処理による変形率も少ない。その他 Cu を、やや多量に含有する Ni-Cr-Mo-V 鋼が耐

第 7 表 抜型用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼 種	C	Si	Nn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当 J I S 規格
炭素工具鋼	1.20	0.25	0.35						SK 2
Si-Mo鋼	1.40	1.00	0.50				0.20		(黒鉛鋼)
Si-Mn-Ni鋼	1.50	1.00	1.20	1.80					( // )
Cr-W鋼	0.50	0.25	0.35		0.75	0.75			SKS 4
//	0.40	0.25	0.35		1.25	3.00			SKS 41
Cr-W-V鋼	0.80	0.25	0.35		0.40	2.00		0.25	SKS 42
Ni-Cr-Mo-V-Cu鋼	0.68	0.30	0.50	0.50	1.00	(Cu) 2.50	1.00	0.15	
Cr-W鋼	1.05	0.25	0.70		0.75	1.25			SKS 2 (SA 1)*
//	1.05	0.25	0.90		0.75	1.25			(SAD)*
Mn-V鋼	0.90	0.20	2.00					0.10	
Si-Cr-V鋼	0.45	1.50	0.60		1.50			0.10	
Mn-Cr-W鋼	0.95	0.25	1.05		0.75	0.75			SKS 3 (SGT)*
//	1.00	0.25	1.05		1.00	1.25			SKS 31
高Mn-Cr-Mo鋼	0.90	0.25	2.00		1.50		1.00		(SBD)*
Mn-Cr-W鋼	1.25	0.20	1.05		1.25	1.50			SKD 1 (CRD)*
高C-高Cr鋼	2.10	0.25	0.40		13.50				
高C-高Cr-W鋼	2.10	0.25	0.40		13.50	2.00			
高C-高Cr-Mo-V鋼	1.50	0.25	0.35		12.00		1.00	0.35	SKD 11 (SLD)*
高C-高Cr-Mo-V-Co鋼	1.50	0.25	0.35	(Co) α	12.00		1.00	0.35	
高C-高Cr-Mo-V鋼	2.10	0.25	0.40		13.50		0.30	0.25	(CRP)*
//	2.10	0.25	0.40		13.50		1.50	1.00	(CRQ)*
Mn-5Cr-Mo鋼	1.00	0.25	0.80		5.00		1.00		SKD 12
高C-5Cr-Mo-V鋼	2.30	0.35	0.60		5.00	1.25	1.20	4.50	(CRV)*
高C-高Cr-W-Mo-V鋼	2.10	0.25	0.60		12.00	1.00	1.00	3.50	(CRV 1)*
//	2.10	0.25	0.60		12.00	1.00	1.00	4.50	(CRV 2)*
高C-高Cr-W鋼	2.00	0.25	0.40		13.50	3.00			SKD 2
高C-高Cr-Mo-V-Co鋼	2.25	0.30	0.25	(Co) 0.50	12.00		0.80	0.80	
高C-高Cr-Mo-V鋼	2.45	0.30	0.30		12.00		1.00	3.75	
高C-高Cr-Mo-V-Co鋼	1.55	0.35	0.25	(Co) 0.40	12.00		0.80	1.00	
W高速度鋼	0.80	0.25	0.40		4.00	18.00		1.00	SKH 2
低W高速度鋼	0.75	0.25	0.40		4.00	11.00		1.80	SKH 6
Mo高速度鋼	0.80	0.25	0.40		4.00	6.50	5.00	2.00	SKH 9

注 \* ヤスキ鋼の記号

衝撃、耐疲労性にすぐれていると云はれている。また球状黒鉛を含有する工具鋼も一部に使用されている。

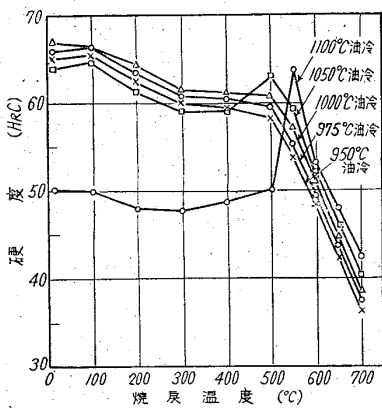
また熱間用としては 18-4-1 型あるいは 6-5-2 型の高速度鋼が嵌込み型で使用されており、C 2%-Cr 12%系に比しはるかに長い耐久力を示している。第7表に該当鋼種と化学成分を示す。

次にこの種の目的に使用される鋼種について、3述べる。

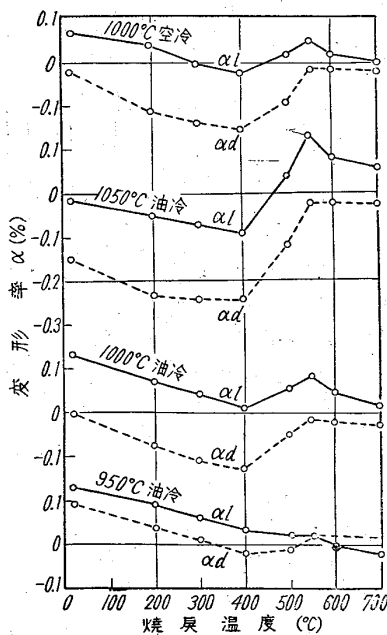
高C-高Cr-Mo-V鋼<sup>3)</sup>

SKD1にMoおよびVを添加したものが抜型としてすぐれた性質を示す。

C 2.25%, Cr 11.50%, Mo 0.80%, V 0.20% 鋼のS曲線は 650°C 附近と 300°C 附近に鼻がみられ、Ms 点が 100°C 以下になつている。次に C 2.13%, Si 0.30%, Mn 0.38%, Ni 0.17%, Cr 13.05%, Mo 0.35%, V 0.35% 鋼の焼入温度と油冷および空冷による



第6図 焼戻温度と硬度との関係



第7図 焼戻温度と変形率との関係

る焼入硬度との関係を求めた結果油冷および空冷ともいずれも約 1000°C 附近で最高硬度を示す。次に上記試料の焼戻温度と硬度の関係を第6図に示す。各焼入試料とも焼戻温度約 500°C までは硬度の低下が少なく、ことに1000°C 以上の焼入の場合、二次硬化現象を示す。SKD1と比較してMoおよびVを含む上述の試料の方が焼戻軟化の抵抗が大である。

第7図に焼入および焼戻による直径および長さ方向の変形率を示す。焼戻の場合、500~550°C 附近で残留オーステナイトのマルテンサイト

化による膨脹を示し、かつその程度は焼入温度の高い程大である。

次に前述の高C-高Cr-Mo-V鋼 (C 2.13%, Cr 13.05%, Mo 0.35%, V 0.35%) と高C-高Cr鋼 (C 2.18%, Cr 13.30%) のリング状試験片を用い、980°C 油焼入後 200°C に焼戻して HRC 62.5~63.0 とし、西原式摩耗試験機により耐摩耗性を比較した結果高C-高Cr-Mo-V 鋼の方が高C-高Cr 鋼より摩耗量が少ない。

次にV量の異なる高C-高Cr-W-Mo-V 鋼の比較結果を述べ参考に供したい。第8表に試料の化学成分を示す。

第8表 試料の化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
A	2.24	0.41	0.46	12.85	0.86	1.10	4.41
B	2.10	0.24	0.50	12.38	1.13	0.92	3.35

1000~1150°C の各温度より油冷ならびに空冷した場合試料 A は油冷、空冷とも 1100°C において最高硬度を示し、試料 B は油冷、空冷とも 1050°C において最高硬度を示す。なお硬度は B の方が若干高い。

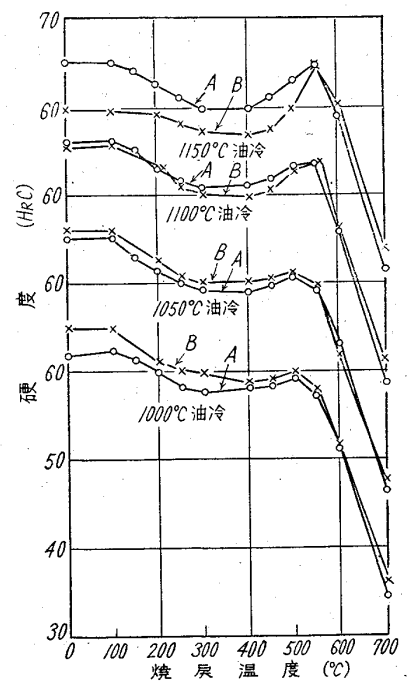
第8図に1000~1150°C の各温度より油冷した後 700°C までの各温度に焼戻した場合の硬度を示す。焼戻二次硬化現象は焼入温度の上昇にしたがいちじるしくなり、かつその生起温度も高くなる。

また焼入性の比較試験の結果は、ほとんど差を認めなかつた。

1000~1150°C の各温度より油冷後、200°C に焼戻した場合のジレン性は概して試料Aの方がすぐれている。

第9図は CRD との組合せ摩耗試験結果であるが、試料Aの方が耐摩耗性に富んでいることが窺える。

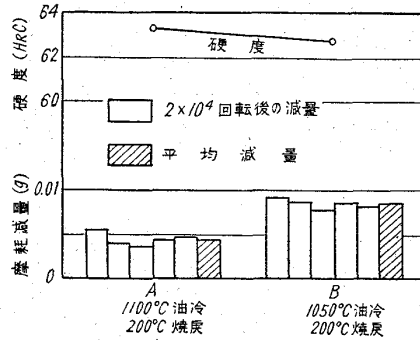
次に試料 B と高C-高Cr鋼 (CRD), 高C-5Cr-W-



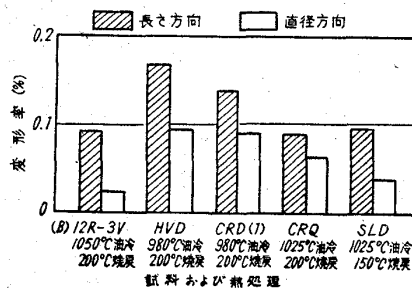
第8図 焼戻温度と硬度との関係

第9表 試料の化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
CRD	2.10	0.25	0.38	13.24			
HVD	2.30	0.16	0.60	5.74	0.82	1.12	4.65
CRQ	2.20	0.26	0.37	13.80		1.60	1.02
SLD	1.52	0.15	0.33	12.67		0.93	0.36



第9図 CRDとの組合せ摩耗試験結果



第10図 各試料の変形率比較結果

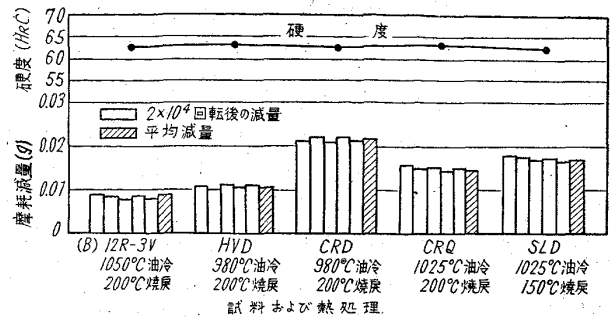
Mo-V 鋼(HVD), 高C-高Cr-Mo-V 鋼(CRQ), 高C-高Cr-Mo-V 鋼(SLD) との性能比較結果を述べる。それらの化学成分を示すと第9表の如くである。

試料Bが焼入性をもつとも大きく、CRDがもつとも小さい結果を示す。またCRDに比較してC量の低いSLDおよびCr量の低いHVDの焼入性の大ききことなどよりして、このような高C-高Cr系鋼においてはW, MoおよびVの添加はその焼入性の増大に効果的である。

次に第10図は前述の焼入性の場合と同様の試料を用いて、変形率の比較を示すものである。すなわち試料Bは長さ方向においてはCRQおよびSLDと大差ないが、直径方向においては小さい。またCRD, HVDに比較してその差は大きく、かなり小さい値を示す。

次に各種ダイス鋼につきジン性を測定した結果、ジン性は試料Bがもつとも大きい。

第11図は第9表に示す他のダイス鋼につき、CRDとの組合せ摩耗試験の結果を示すものである。試料Bの減量をもつとも小さい。



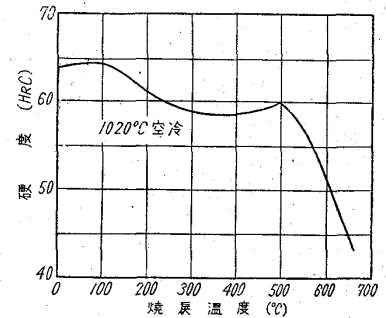
第11図 各試料のCRDとの組合せ摩耗試験結果

第10表 試料の化学成分 (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Co
1.50	0.25	0.35	12.00	1.00	0.35	α

高C-高Cr-Mo-V-Co鋼<sup>4)</sup>

SKD11は抜型冷間成型用型鋼、転造ロールなどに使用して優秀な性能を発揮しているが、これにCoを添加し、さらに高

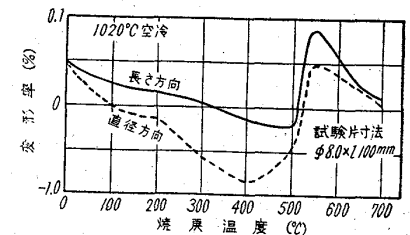


第12図 焼戻温度と硬度との関係

温強度の向上をはかった。第10表にその化学組成を示す。

焼入温度と硬度の関係を求めた結果 1050°C 空冷で最高硬度を示す。次に 1020°C で空冷した後 650°C までの各温度に焼戻した場合の硬度を示すと第12図の如くで、500°C に2次硬化を示す。

次に 8φ×100mm l の試験片について 1020°C 空冷、各温度に焼戻した場合の変形率を示すと第13図のごとくである。



第13図 焼戻温度と変形率との関係

また 1020°C 空冷後、600°C に焼戻した場合の高温機械試験の結果は第14図のごとくである。

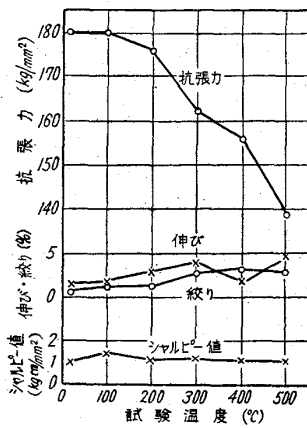
Mn-Cr-Mo 鋼

抜型、搾出工具用などとして複雑な形状のものでも焼割れあるいは変形などを少なくするため、空冷でも焼入可能なものが要求されている。この種のMn-Cr-Mo鋼について2, 3の性質を述べる。第11表は試料の化学成分を示す。



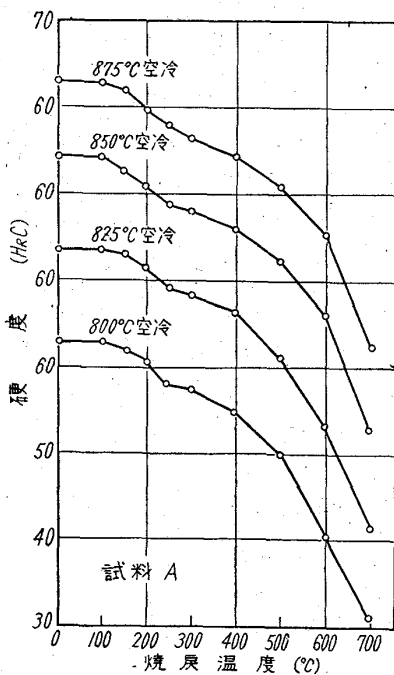
第11表 試料の化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
A	0.99	0.22	2.16	0.018	0.006	1.50	1.02
B	0.74	0.16	2.03	0.021	0.009	1.59	1.00



第14図 高温機械的性質

焼入温度 (空冷) と硬度との関係から850°Cおよび875°C 附近においてそれぞれ最高硬度を示すことがわかる。次にそれぞれ800~875°C および850~925°C から空冷後、各温度に焼戻した場合の硬度を示すと第15図および第16図の如くである。次にA試料は850°C、B試料は900°Cに加熱後、種々の速度にて冷却したものと、1% Mn-Cr-W鋼 (C 1.22%, Si 0.36%, Mn 1.01%, Cr 1.11%, W 1.43%) を825°C に加熱後冷却したものについて半冷時間と硬度の関係を求めた結果B試料の方が、すなわちC%の低い方が焼入性に富んでいることがわかる。また2% Mn-Cr-Mo鋼の方が1% Mn-Cr-W鋼に比して焼入性の大きいことがわかる。



第15図 焼戻温度と硬度との関係

熱処理変形率を求めるために、A試料は850°C、B試料は900°Cよりそれぞれ空冷した場合、並びにこれらを150~300°Cに焼戻した場合の8φ×80mm lの試料の長さおよび直径方向について測定した結果空冷したままの状態では、長さ方向ではB試料の方が小であるが、直径方向では大きい。焼戻温度200°Cまでは漸次収縮し、それを越すと膨張する。

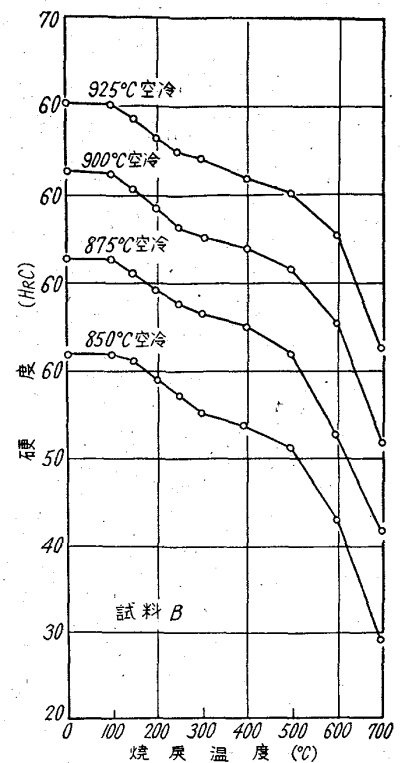
次に各試料の硬度と最大荷重および撓みを比較した結

果C量の多い方が最大荷重、撓みとも大なることがわかる。また1% Mo-Cr-W鋼に比していずれもすぐれた結果を示している。なお耐摩耗性について調べた結果はいちじるしい差を認め得なかつた。

球状黒鉛鋼<sup>5)</sup>

球状黒鉛を含有する工具鋼が開発された。その化学成分の数例を示すと第12表の如くである。

これらは工具鋼



第16図 焼戻温度と硬度との関係

第12表 試料の化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	Ni	Mo
A	1.4	1.0	0.5		0.2
B	1.5	1.0	1.2	1.8	

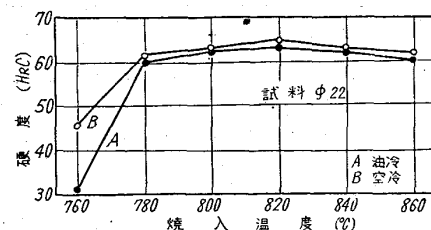
としての焼入硬度も十分にあるが、被加工性に富み、耐摩耗性が大であり、機械的性質は同C%の炭素鋼に比較してすぐれており、かつ焼入性もかなり良好である外、可鍛性、振動の減衰作用が大であるなどの特徴を有している。

第17、18図に焼入、焼戻温度と硬度の関係を示す。

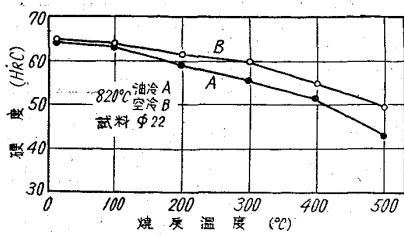
試料Aは820°C油冷で最高硬度を示し、試料Bは820°C空冷で最高硬度を示している。

第19図に焼入後焼戻した場合の変形率を示す。

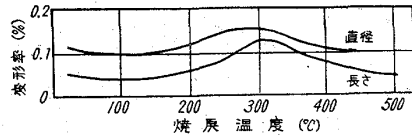
次に試料Aを合金工具鋼SKS2、炭素SK2と被切削性について比較した結果は第20図の如くである。



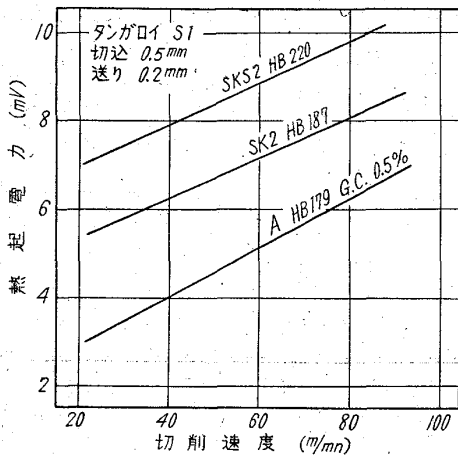
第17図 焼入温度と硬度との関係  
A: 油冷, B: 空冷



第18図 焼戻温度と硬度との関係



第19図 熱処理による寸法変化率 (試料B)



第20図 切削抵抗

なお切削抵抗の比較には、バイト先端の温度上昇による熱起電力の大きさを用いた。すなわち試料Aが被切削性においてすぐれていることが窺える。

試料Aの熱処理材について耐摩耗性を炭素工具鋼SK3、合金工具鋼SKS2およびSKS3と比較した結果摩耗減量をもつとも少なく、耐摩耗性にすぐれていることが認められる。

4. バリ抜き

熱間で使用する場合と冷間で使用する場合がある。熱間用では赤熱カタサを、冷間用ではジン性と耐摩耗性を主として考えねばならない。

熱間用としてはSKS4, SKS41を使用するが、多量に且つ精度の高さを必要とする場合はSKD6などが用いられる。またジン性をあまり要しない用途にはSKD11, SKD12も使用される場合がある。

冷間用としてバリが厚く不均等な場合には、ジン性の大きいCr-W鋼(SKS4, SKS41)がよく、またNi-Cr-Mo鋼(SKT6)なども用いられる。均等なバリでジン性より耐摩耗性をもたせた方がよいときには高C-高Cr鋼(SKD1, SKD11, SKD12)を用いる。バリ抜き厚みが小さいか量が少ないときにはSK5あるいはSK6でも使用できる。

第13表に成分を示す。

5. 成型プレス型

耐摩耗性とジン性を必要とする。ことに厚板の成型プレスにはジン性が低いと型を割ることがある。普通の簡単な形状で肉厚の異なる少ない型の場合は炭素工具鋼(SK4~5)およびMn, Crを少量添加した合金工具鋼を使用する。複雑な形状の型には油焼入合金工具鋼のCr-W鋼(SKS2)およびMn-Cr-W鋼(SKS3, SKS31)が用いられ、また大型になると空気焼入合金工具鋼のSKD1, SKD11およびCRQなどがよい。

また成型プレス型のうちで深絞りをおこなうような型の場合にはその絞りの程度、板厚によつても種々異なるが、普通Ni-Cr-Mo鋼のSKT6や低Cr-W-V鋼のSKS42などの油焼入鋼が使用される。さらに多量生産には高C-高Cr鋼のSKD11およびSKD12などが用いられる。第14表にそれらの化学成分を示す。

なお最近マイプレス用材にSKD1, SKD11およびCRQなどの他SKH2, SKH6あるいはSKH9などを適当に熱処理して使用している。マイプレス用

第13表 バリ抜き用材の鋼種と化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当JIS記号
炭素工具鋼	0.85	0.25	0.35						SK5
炭素工具鋼	0.75	0.25	0.35						SK6
Cr-W鋼	0.50	0.25	0.35		0.75	0.75			SKS4
Cr-W鋼	0.40	0.25	0.35		1.30	3.00			SKS41
Cr-W鋼	0.60	0.25	0.40		0.65	1.50			(YTW)*
高C-高Cr鋼	2.10	0.25	0.40		13.50				SKD1
高C-高Cr-Mo-V鋼	1.50	0.25	0.35		12.00		1.00	0.35	SKD11
5Cr-Mo-V鋼	1.00	0.25	0.75		5.00		1.00	0.35	SKD12
高C-高Cr-Mo-V鋼	2.10	0.25	0.40		13.50		1.50	1.00	(CRQ)*
Mn-Ni-Cr-Mo鋼	0.75	0.25	0.80	2.80	0.90		0.40		SKT6

注 \* ヤスキ鋼の記号

第14表 プレス型用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当 J I S 記号
炭素工具鋼	0.95	0.25	0.35						SK 4
〃	0.85	0.25	0.35						SK 5
Cr-W 鋼	1.05	0.25	0.70		0.75	1.25			SKS 2
Mn-Cr-W 鋼	0.95	0.25	1.05		0.75	0.75			SKS 3
〃	1.00	0.25	1.05		1.00	1.25			SKS 31
Cr-W-V 鋼	0.80	0.25	0.35		0.40	2.00		0.20	SKS 42
Mn-Ni-Cr-Mo 鋼	0.75	0.25	0.80	2.80	0.90		0.40		SKT 6
高C-高Cr 鋼	2.10	0.25	0.40		13.50				SKD 1
高C-高Cr-Mo-V 鋼	1.50	0.25	0.35		12.00		1.00	0.35	SKD 11
Mn-5Cr-Mo-V 鋼	1.00	0.25	0.75		5.00		1.00	0.35	SKD 12
W 高速度鋼	0.80	0.25	0.40		4.00	18.00		1.00	SKH 2
低W 高速度鋼	0.75	0.25	0.40		4.00	11.00		1.80	SKH 6
Mo 高速度鋼	0.80	0.25	0.40		4.00	6.50	5.00	2.00	SKH 9
高C-高Cr-Mo-V 鋼	2.10	0.25	0.40		13.50		0.30	0.25	(CRP)*
〃	2.10	0.25	0.40		13.50		1.50	1.00	(CRQ)*
高C-5Cr-Mo-V 鋼	2.30	0.25	0.70		5.20		1.10	4.75	(CRV)*
高C-高Cr-W-Mo-V 鋼	2.10	0.25	0.60		12.00	1.00	1.00	3.50	(CRV 1)*
〃	2.10	0.25	0.60		12.00	1.00	1.00	4.50	(CRV 2)*

注 \* ヤスキ鋼の記号

第15表 冷間圧延用ロール材の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	該当 J I S 記号
Cr 鋼	1.05	0.25	0.40	1.50				SUJ 2
高C-高Cr 鋼	2.10	0.25	0.40	13.50				SKD 1
高C-高Cr-Mo-V 鋼	1.50	0.30	0.40	12.00		1.00	0.35	SKD 11
〃	2.10	0.30	0.40	13.00		1.50	1.00	(CRQ)*
高C-高Cr-W-Mo-V 鋼	2.10	0.30	0.40	12.50	1.00	1.00	3.50	(CRV 1)*
Mn-5Cr-Mo-V 鋼	1.00	0.30	0.70	5.00		1.00	0.35	SKD 12
低W 高速度鋼	0.75	0.25	0.40	4.20	11.00		1.80	SKH 6
Mo 高速度鋼	0.80	0.25	0.40	4.20	6.50	5.00	2.00	SKH 9
高C-高V 高速度鋼	1.30	0.25	0.40	4.20	9.00	1.50	4.00	(XVC 1)*

注 \* ヤスキ鋼の記号

型の場合、特に耐摩耗性とともに入性の大なることが必要で、抗圧力ないし抗折力の大なるものが適しているようである。

#### 6. 冷間圧延用ロール

主として耐摩耗性と入性を必要とし、且つ熱処理の際の変形もできるだけ少ない方が望ましい。また被切削性および被研削性もよいものが望ましい。普通の冷間圧延用ロール材としては高C-Cr 鋼 (SuJ 2) の油焼入鋼が多く用いられる。また同じ目的で 5Cr-Mo-V 鋼 (SKD 12) も使用される。前者より焼入性がよく、しかも耐摩耗性が大である。次に精密な板および線などの圧延用には耐摩耗性のより大なる鋼種を用いる。一般に高C-高Cr 系鋼の SKD 1, SKD 11, CRQ および CRV 1 などが適している。最近ゼンジミヤロールのワーキングロールにはその耐摩耗性の点から CRQ, CRV 1 などが用いられている。それはその中に含まれる炭化物  $V_4C_3$  がきわめて耐摩耗性の大きなものであるか

らである。

成分を示すと第 15 表の如くである。

#### 7. コイニングダイス

これは非常に激しい応力を受けるので耐衝撃性、圧縮降伏点、耐摩耗性ともに大きく、刃の欠けないことが必要である。彫りが浅く耐摩耗性の必要なときには高C-高Cr-Mo-V 鋼 (SKD 11) がよく、彫りが深くなると低Cr-W-V 鋼 (SKS 42) あるいは 5Cr-Mo-V 鋼 (SKD 12) がよい。少量のコイニングには高C-Cr 鋼 (SKS 8) を用いることがある。成分を示すと第 16 表の如くである。

#### 8. 引抜ダイス

特殊な形状、寸法で使用回数の少ない軟質の引抜ダイスには炭素工具鋼 (SK 1~2) および Cr-W 鋼 (SKS 1~11) などを使用する。

一般に耐摩耗性の大きな高C-高Cr (SKD 1, SKD 2, SKD 11) が使用される。またことに耐摩耗性大な

第16表 コイニングダイス用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	該当JIS記号
Cr-W-V鋼	0.80	0.25	0.35	0.40	2.00		0.25	SKS42
高C-高Cr-Mo-V鋼	1.50	0.25	0.35	12.00		1.00	0.35	SKD11
Mn-5Cr-Mo-V鋼	1.00	0.25	0.75	5.00		1.00	0.35	SKD12
高C-Cr鋼	1.40	0.25	0.35	0.35				SKS8

第17表 引抜ダイス用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	該当JIS記号
炭素工具鋼	1.40	0.25	0.35					SK1
〃	1.20	0.25	0.35					SK2
Cr-W鋼	1.35	0.25	0.35	0.75	4.50			SKS1
Cr-W-V鋼	1.25	0.25	0.35	0.35	3.50		0.20	SKS2
高C-高Cr鋼	2.10	0.25	0.40	13.50				SKD1
高C-高Cr-Mo-V鋼	1.50	0.25	0.35	12.00		1.00	0.35	SKD11
高C-高Cr-W鋼	2.00	0.25	0.40	13.50	3.00			SKD2
高C-高Cr-W-Mo-V鋼	2.10	0.25	0.60	12.00	1.00	1.00	3.50	(CRV1)*
高C-高Cr-Mo-V鋼	2.10	0.25	0.40	13.50		0.30	0.25	(CRP)*
〃	2.10	0.25	0.40	13.50		1.50	1.00	(CRQ)*
高C-高Cr-W-Mo-V鋼	2.10	0.25	0.60	12.00	1.00	1.00	4.50	(CRV2)*

注 \* ヤスキ鋼の記号

ることを要求する場合には高C-高Cr-W-Mo-V鋼(CRV1)を用いるとよい。なほ押出工具用としてC 0.75%, Mn 0.60%, Ni 1.80%, Cr 1.0%, Mo 0.20%, V 0.15% 鋼がすすめられる。本鋼種は焼入性がよく、強靱性がすぐれている。第17表に鋼種と化学成分を示す。

## 9. 熱間押出工具

Al, Mg合金を圧搾, 押出の場合は作業温度が比較的低温であるために5Cr-Mo-V(SKD6~61)が用いられる。

また5Cr-W-Mo-V鋼(DBC)も用いられることがある。後者の方が熱間強度が稍すぐれている。Cu, 真鍮など作業温度が比較的に高い場合には5~10W-Cr-V鋼が多く用いられる。またCu-Ni合金などの押出には10W-Cr-V鋼(HDC)では十分満足せず、より強

度の大きな工具鋼を要求している。それにはSKD5(HDC)にCoを5~8%添加したもの、あるいは12Cr-12W鋼および18-4-1鋼(C0.5%)などが考えられ試作されている。析出型耐熱合金も好ましいと思う。この場合溶体化処理後十分に時効して硬度をあげたものを使用する必要がある。

鋼種と化学成分を示すと第18表の如くである。

Cr-W-V-Co鋼<sup>6)</sup>

SKD5にCoを0~6%添加した場合の影響について調べた結果を要約すると次の如くである。

焼入硬度はCo量の増加につれて高くなる。またCo量は多いほど焼戻軟化抵抗を増す。高温における高硬度持続性も同様に与えられる。耐酸化性もCoの増加するにしたがって増大する。結論的にCo添加はきわめて有効である。

第18表 熱間押出工具用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当JIS記号
Si-5Cr-Mo-V鋼	0.38	1.00	0.35		5.00		1.25	0.40	SKD6
〃	0.38	1.00	0.35		5.00		1.25	1.00	SKD61
Si-5Cr-W-Mo-V鋼	0.38	1.00	0.40		5.20	1.25	1.40	0.35	(DBC)*
Cr-W-V鋼	0.30	0.25	0.40		2.50	5.50		0.40	SKD4
〃	0.30	0.25	0.40		2.50	9.50		0.40	SKD5
Cr-W-V-Co鋼	0.30	0.25	0.40	(Co) 5.00	2.50	9.50		0.40	
Cr-高W-V鋼	0.50	0.30	0.30		4.00	18.00		1.00	
Ni-Cr-Mo-V鋼	0.45	0.60	0.45	4.30	1.45		0.75	0.14	
Ni-Cr-W-Mo鋼	0.30	0.40	0.40	2.60	1.80	0.90	2.50		
Ni-Cr-W-Mo-V鋼	0.30	0.40	0.40	2.50	2.00	1.00	2.80	0.20	(YPD)*
Cr-Mo-V鋼	0.45	0.25	0.65		1.70		0.60	0.35	(DSC)*

注 \* ヤスキ鋼の記号

第19表 ネジ転造ローラ用材の鋼種の化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	該当JIS記号
Mn-Cr-W鋼	0.95	0.25	1.05	0.75	0.75			SKS 3
高C-高Cr鋼	2.10	0.25	0.40	13.50				SKD 1
高C-高Cr-Mo-V鋼	1.50	0.25	0.35	12.00		1.00	0.35	SKD11
5Cr-Mo-V鋼	1.00	0.25	0.75	5.00		1.00	0.35	SKD12
W高速度鋼	0.80	0.25	0.40	4.00	18.00		1.00	SKH 2
低W高速度鋼	0.75	0.25	0.40	4.00	11.00		1.80	SKH 6
Mo高速度鋼	0.80	0.25	0.40	4.00	6.50	5.00	2.00	SKH 9

第20表 型打鍛造用型鋼の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当JIS記号
Mn鋼	0.55	0.25	1.00						SKT 1
Mn-Cr鋼	0.55	0.25	1.00		1.00				SKT 2
Mn-Ni-Cr-Mo鋼	0.55	0.25	0.80	0.45	1.00		0.50		SKT 3
〃	0.55	0.25	0.80	1.60	0.85		0.40		SKT 4
Mn-Ni-Cr-Mo-V鋼	0.60	0.25	0.85	1.50	1.20		0.40	0.15	(DM)*
Mn-Cr-Mo-V鋼	0.55	0.25	0.80		1.30		0.30	0.20	SKT 5
Mn-Ni-Cr-Mo鋼	0.75	0.25	0.80	2.75	1.00		0.40		SKT 6
Mn-Cr-V鋼	0.55	0.25	1.00		1.00			0.15	(KM)*
5Cr-Si-Mo-V鋼	0.40	1.00	0.40		5.00		1.30	0.40	SKD 6
Cr-W-V鋼	0.30	0.25	0.40		2.50	5.50		0.40	SKD 4
Ni-Mo鋼	0.20	0.25	0.40	3.25			3.25		
12Cr-Mn-W-V-Co鋼	0.25	0.50	0.80	(Co) 4.00	12.00	7.00		0.50	
〃	0.25	0.50	0.80	(Co) 9.50	12.00	7.50		0.50	
Cr-W-Mo-V-Co鋼	0.40			(Co) 4.25	4.25	4.25	0.40	2.25	

注 \* ヤスキ鋼の記号

## 10. ネジ転造ローラ

ネジ成形の圧力に耐え、耐摩耗性とジン性とを具備しなければならない。使用鋼種としては SKD1, SKD 11, SKD12 があるが、これらは空冷でも焼きが入る。なおネジ素材が調質して硬さがある程度大なる場合には高速度鋼 SKH 2, SKH 6, SKH 9 が使用される場合がある。なお高速度鋼はC含有量が若干低めのもの(0.1%位)の方がジン性が高くなつてよい。

成分を示すと第19表の如くである。

## 11. 型打鍛造用型

鍛造用型は航空機、自動車その他の機械部品の精密鍛造、ことに型鍛造やプレスにきわめて重要なものである。型の表面は熱間押出搾出の場合ほど高温になることは少ないが、瞬間的衝撃荷重をうけ、型の摩耗を招来する。したがって鍛造用型としては鎚打による打撃作用あるいは圧縮力に抵抗し、ジン性の大きなること必要とする。一方プレス型に対しては高温で接触する時間が長く、その作業の種類からさほどジン性を必要とせず、むしろ比較的高温硬度の大きなるものが用いられる。なお型用鋼としては内外硬度ができるだけ一様であることが望ましく、焼入性の大きなることが望ましい。第20表に現

用型用鋼の成分を示す。

普通もつとも多く用いられる型材は炭素鋼であるが、大型になると焼入効果が少なく、摩耗が多く、したがって合金鋼が用いられる。特に耐久度の大きなることを要求する場合には DM および SKT 6 が用いられる。

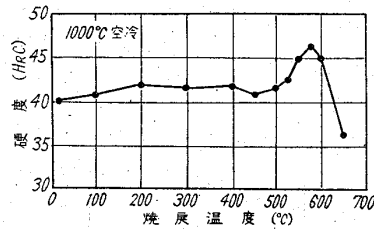
熱間圧縮型に対しては焼戻安定度および高温摩耗強度の点からややC量の高い SKT 6, SKD 6~61 および SKD 4 などが用いられる。なお最近 Ni および Mo をおのおの約 3~3.5% 含有する Ni-Mo 鋼を鍛造型その他の熱間成型用型に用いられている。この鋼種の特徴は焼入のままで型彫り成形し、後に焼戻しを行ない、高硬度を与えるもので、きわめて耐摩耗性が大きなるものである。すなわち析出硬化型鍛造型材である。

次に析出硬化型用鋼について2, 3の性能を示す。第21表に試料の化学成分を示す。

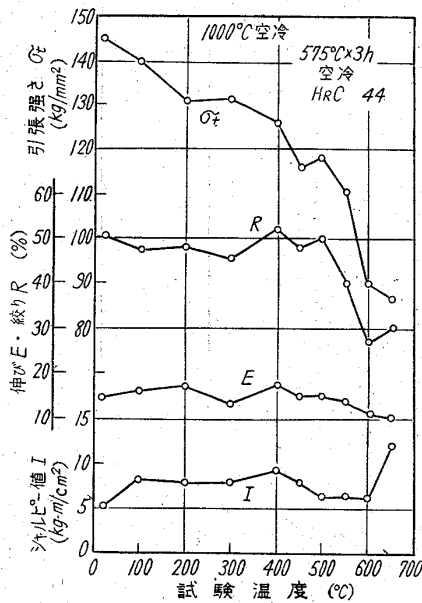
900~1100°Cの各温度より空冷した場合、1050°Cにおいて最高硬度を得る。次に1000°Cより空冷したものについて650°Cまでの各温度で焼戻した場合の硬度を示すと第21図の如くにして、500°C附近から硬化を始め550~600°Cで最高硬度を示し、650°Cでは急激に硬度低下を招来する。第22図は1000°C空冷、575°C空冷

第21表 試料の化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo
0.18 ~0.22	<0.30	<0.60	<0.030	<0.030	3.00 ~3.25	3.25 ~3.50



第21図 焼戻温度と硬度との関係



第22図 高温機械的性質

試料について、650°Cまでの各温度における機械的性質を示すものである。抗張力は400°C附近までは漸減するが、それ以上においてやや急激に減少する。伸びは500°Cを越すとやや減少が急激であるが、600°C附近で最低値を示し、600°Cを越すとふたたび増加する。衝撃値は焼戻温度の上昇につれて漸増するが、400°C附近からやや減少し、600°C附近で最低となつて、ふたたび増加する。

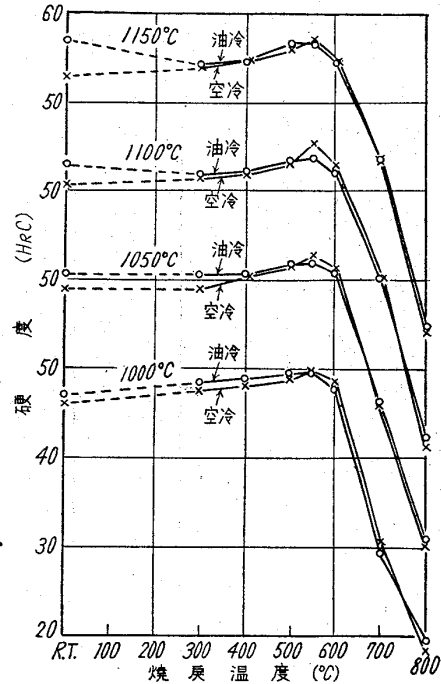
次に Cr-W-V-Co 系のものについて、2, 3の性質を示す。

第22表に試料の化学成分を示す。

1000~1150°Cより油冷および空冷した後800°Cまでの各温度で焼戻した場合の硬度を示すと第23図の如くで、いずれの場合も焼戻温度の上昇につれてやや増加するが、550°Cを最高点として急減する。

第22表 試料の化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S
0.45	0.37	0.32	0.014	0.015
Cr	W	Mo	V	Co
4.00	4.25	0.54	1.90	4.29

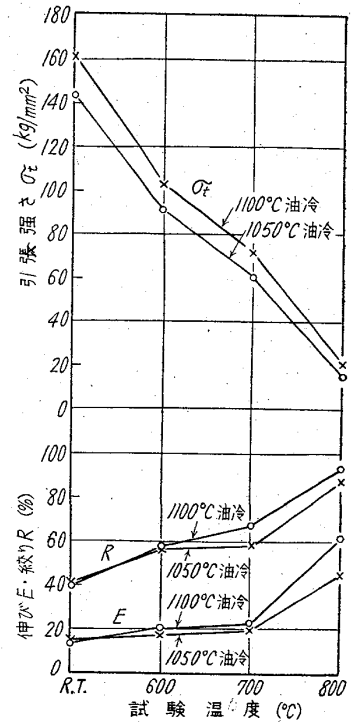


第23図 焼戻温度と硬度との関係

次に 1050°C および 1100°C から油冷後それぞれ 650°C に焼戻した場合の常温ならびに 600~800°C における機械的性質を示すと第24図の如くである。

12. コールドヘッディングダイス

冷間で頭を作るダイスは衝撃に耐え、型を開く力に耐えて且つ耐磨耗性の大きいことも必要である。ダイスのうける表面の応力は非常に高いから、いかに硬い工具鋼でもその降伏点以上になる。そのためには熱処理によつ



第24図 試験温度と機械的性質との関係(650°C 焼戻)

て硬い表皮と軟い心部とを作ると、硬い表皮に圧縮応力が止められてダイス全体が高い作動応力に耐えるのである。一般に水焼入鋼を使用して表面硬化作用を利用するが、ときには作動面を水または塩水を噴導して局部硬化することがある。熱処理したダイスの表面で吸収し得る圧縮応力の大きさはダイスの硬化される深さによつて決まる。

ダイス鋼には SK3, SK4, SK5, SK43, SKS44 がよい。ヘッドイングダイスに重要な焼入性はその鋼の結晶粒度と含有する不純物の量によつて著しく異なる。表皮の硬化深さの浅いものを希望する場合には、結晶粒度が小さく、Mn, Si, Cr, Ni, Cu などができるだけ低いものがよい。SKS43 と SKS44 は V を添加し、結晶粒を調整して深度を浅くしたものである。なお衝撃が大きくない場合には SKD11, SKD12, SKH2, SKH9 などを使用して耐摩耗性を大きくしたダイスもある。第23表にその成分を示す。

13. ダイカスト用ダイス

ダイカスト用型材はダイカスト用金属および合金の種類と作業温度によつて異なるが、必要とする性質は、作業温度において機械的強度が強く、ジシ性があり、耐摩耗性、耐熱耐食性が大きく、加熱による軟化抵抗が大きいことと、さらに熱処理変形および経年変化のできるだけ少ないことなど、および加熱冷却のくりがえしによるヒートチェックによる割れの少ないことなどである。

第24表にダイカスト用ダイス材の重なる種類と化学成分を示す。Sn, Pb および Zn などの溶融点の低い金属のダイカスト用の型材には SCM3~4, SKT2 および SKT3 などを焼入焼戻して使用する。しかし大型になるか、または長期間使用し、長寿命を要求する場合には DMC および SKD6~61 を使用する。SKD6~61, DBC は Zn, Sn はもちろん Al, Mg およびその合金のダイカスト用に現在もつとも広く用い

第23表 コールドヘッドイングダイス用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	該当 J I S 記号
炭素工具鋼	1.05	0.25	0.35					SK3
〃	0.95	0.25	0.35					SK4
〃	0.85	0.25	0.35					SK5
V 鋼	1.05	0.20	0.25				0.20	SKS43
〃	0.85	0.20	0.25				0.20	SKS44
高C-高Cr-Mo-V鋼	1.50	0.25	0.35	12.00		1.00	0.35	SKD11
5Cr-Mn-Mo-V鋼	1.00	0.25	0.75	5.00		1.00	0.35	SKD12
W高速度鋼	0.80	0.25	0.40	4.00	18.00		1.00	SKH2
Mo高速度鋼	0.85	0.25	0.40	4.00	6.50	5.00	2.00	SKH9

第24表 ダイカスト型用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Al	該当 J I S 記号
Mn-Cr-Mo鋼	0.35	0.25	0.75		1.05		0.25				SCM3
〃	0.40	0.25	0.75		1.05		0.25				SCM4
Mn-Cr-V鋼	0.50	0.35	0.75		1.00			0.15			
Mn-Cr鋼	0.55	0.25	1.00		1.00						SKT2
Mn-Ni-Cr-Mo鋼	0.55	0.25	0.80	0.50	1.05		0.40				SKT3
Mn-Cr-Mo-V鋼	0.40	0.25	0.70		3.00		2.50	0.60			(DMC)*
5Cr-Si-Mo-V鋼	0.38	1.00	0.35		5.00		1.30	0.40			SKD6
〃	0.38	1.00	0.35		5.00		1.30	1.00			SKD61
5Cr-Si-W-Mo-V鋼	0.38	1.00	0.35		5.00	1.30	1.40	0.40			(DBC)*
5Cr-Si-W-Mo鋼	0.40	1.00	0.40		5.00	5.25	0.30				
Cr-W-V鋼	0.30	0.25	0.50		2.50	5.50		0.40			SKD4
〃	0.30	0.25	0.50		2.50	9.50		0.40			SKD5
Si-Cr-W-Mo-V鋼	0.38	1.00	0.35		2.50	1.50	4.50	1.00			SKH2
W高速度鋼	0.80	0.30	0.50		4.00	18.00		1.00			
Cr-W-V鋼	0.40	0.35	0.30		3.25	11.00		0.40			
Ni-Cr-W-V鋼	0.25	0.30	0.30	2.00	2.75	10.00		2.00			
12Cr-12W-V鋼	0.35	0.50	0.35		12.00	12.00		1.00			
Cr-W-Mo-Co鋼	0.35	0.50	0.35		1.50	4.00	0.40		5.00		
Ni-Cr-V-Al鋼	0.20			4.10	0.25			0.20		1.20	
5Cr-Si-Mo-V-Co鋼	0.38	1.00	0.40		5.00		1.40	1.00	5.00		
5Cr-Si-Mo-W-V-Co鋼	0.38	1.00	0.40		5.00	1.30	1.40	0.40	5.00		

注 \* ヤスキ鋼の記号

第25表 各種ダイカスト型用鋼の熱間における機械的性質

鋼 種	化 学 成 分 (%)							熱 処 理	
	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	焼 入	焼 戻
D M C	0.38		0.69	3.06		2.43	0.57	1050°C 油	550°C
SKD 61	0.35	1.00		5.69		1.32	1.11	1050°C 油	550°C
D B C	0.35	1.01		5.77	1.45	1.40	0.40	1050°C 油	550°C
SKD 4	0.32			2.48	5.65		0.50	1000°C 油	600°C
SKD 5	0.32			2.36	9.00		0.50	1000°C 油	600°C

鋼 種	機 械 的 性 質*											
	400°C				500°C				550°C			
	$\sigma_t$ (kg/mm <sup>2</sup> )	E (%)	R (%)	I (kgm/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ (kg/mm <sup>2</sup> )	E (%)	R (%)	I (kgm/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ (kg/mm <sup>2</sup> )	E (%)	R (%)	I (kgm/cm <sup>2</sup> )
D M C	169	12	40	9	164	12	45	8.7	157	12	35	8.5
SKD 61	173	11	38	7	156	10	36	7.3	145	10	33	6.3
D B C	181	11	32	6	162	11	31	6.3	144	10	24	6
SKD 4	135	15	47	6.6	123	17	51	6.2	111	16	52	6.3
SKD 5	136	12	32	9.5	122	14	39	9.3	112	15	42	8.9

注 \*  $\sigma_t$ : 引張強さ, E: 伸び, R: 絞り I: シャルピー衝撃値

第26表 試料の化学成分 (%)

試 料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Co
A <sub>1</sub>	0.37	0.86	0.45	0.017	0.006	5.27	1.38	0.97	
A <sub>2</sub>	0.35	0.89	0.35	0.019	0.009	5.35	1.45	1.01	2.88
A <sub>3</sub>	0.37	0.89	0.34	0.017	0.009	5.23	1.40	1.00	4.90
A <sub>4</sub>	0.38	0.81	0.35	0.018	0.008	5.25	1.40	0.99	8.05

られている。一般に型製作には2種類の方法がある。一つは型彫り後最適の熱処理を施して使用する。他の一つは型彫りできる程度に調質しておいて後で型彫りして使用するものである。後者のものより前者の方が寿命が長い。ヒートチェックも少ない。上述のSKD 6, SKD 61は他の鋼種に比較して比較的ヒートチェックに対して抵抗が強い。なおDMCは約550°CまではSKD 6あるいはSKD 61およびSKD 4あるいはSKD 5より熱間強度は強い。したがって600°C以下の低溶融金属および合金のダイカスト用型に適している。

第25表はDMCとSKD 61, DBCおよびSKD 4~5との熱間における機械的性質の比較を示す。

次に新鋼種として5Mo-W-Cr-V鋼もAlダイカスト用型に用いられる。約600~650°Cまでの焼戻軟化に対する抵抗が大きく、しかもじん性が大である。

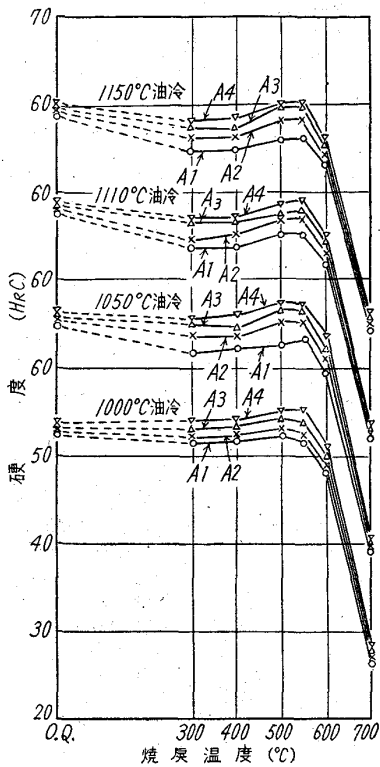
次にCu合金の如き溶融温度の比較的高いダイカスト用型には現在あまり適当な型材がないようであるが、一部にCr-W-V鋼(SKD 4, 5)が用いられる。この鋼種にCoを適量添加するとかなり改善できる。また上述の外12Cr-12W-V鋼, 12Cr-7W-Mo-V鋼およびNi-Al鋼も一部に推奨されている。

次にダイカスト用中子型またはピンなどは使用中局部摩耗を起しやすい。したがって炭素鋼を用いることはほとんどなく、窒化鋼, 高速度鋼およびSKD 6~61を用いる。特にSKD 6~61を熱処理してさらに窒化を施して表面硬化して使用される。

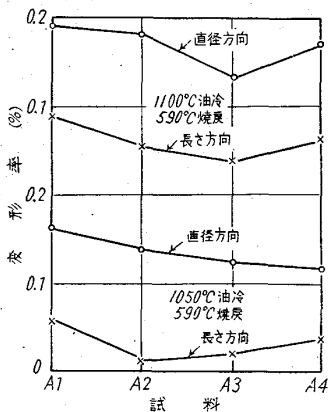
次に5%Cr-Mo-V鋼(DAC)にCoを約3~8%添加した場合の性質について述べる。第26表に試料の化学成分を示す。

1000~1150°Cの各温度より油焼入および空冷したものの硬度はいずれも焼入温度の上昇にともないその硬度を高める。また油焼入および空冷したもの、いずれの場合でもCo量の多い試料ほどその硬度は高い。第25図は1000~1150°Cより油焼入したものを300~700°Cに焼戻した場合の硬度を示す。Coを添加した試料はCoを含まない試料に比較して焼戻温度300°Cにおける硬度低下が少なく、Co量の多いものほどその傾向は大きい。したがって焼入の場合に比較して試料間の硬度のひらきが大きくなる。500~550°C付近で二次硬化現象を示し、600°C以上の焼戻によりその硬度を低下する。次に各試料の高温加熱による軟化抵抗を比較するために1050°C油焼入後590°Cで焼戻したものについて、700°Cにおける繰返し加熱回数と硬度の関係について測定





第25図 焼戻温度と硬度との関係



第26図 変形率測定結果

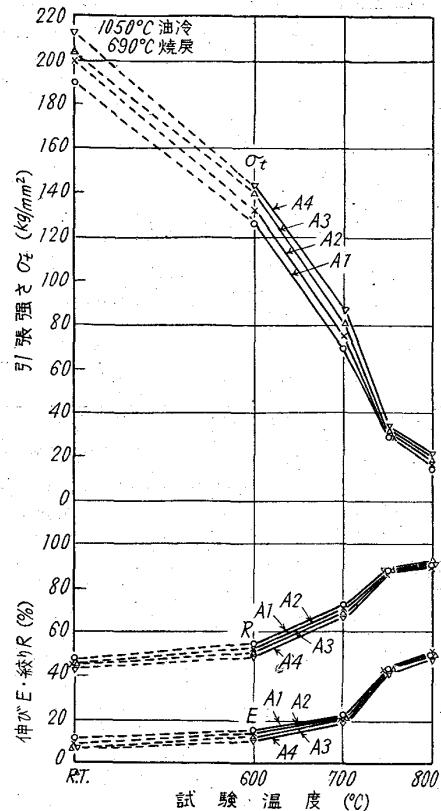
も Co の添加により変形率は小さい。しかしその影響は添加量に対して比例的でなく、A<sub>3</sub> 試料の変形率が最も小さい。

第 27 図は 1050°C 油冷、590°C 焼戻における機械的性質を示す。常温および 600~700°C においては Co 量の多い試料ほど引張強さが大きく、伸びおよび絞りをわずかに低下する。しかし 750~800°C においては伸びおよび絞りはいずれも大差なく、引張強さにおいてわずかに Co 量の多い試料の値が大きい。また衝撃試験結果も常温および 600~700°C においては Co 量の多いものほどその値を低下するが、750~800°C においてはほとんど大差ない。

次に 1050°C 油冷、590°C 焼戻材について、700°C に

した結果 Co 量の多いものほど軟化抵抗が大きく、とくに約 5% 以上の添加が効果的である。

第 26 図に 1050°C および 1100°C より油焼入後 590°C に焼戻した各試料の変形率測定結果を示す。1050°C 油焼入後 590°C に焼戻した場合直径方向における変形率は Co 量の多い試料ほど小さい。長さ方向においては A<sub>1</sub> 試料の変形率が最も大きく、Co の添加により変形率を減少する。しかし A<sub>2</sub> 試料の変形率が最も小さく A<sub>3</sub> および A<sub>4</sub> 試料はむしろ大きい。つぎに 1100°C 油焼入後 590°C に焼戻した場合には、直径および長さ方向いずれも



第27図 常温および熱間引張試験結果

加熱した場合の保持時間と酸化増量との関係調べた結果 Co 添加により耐酸化性の向上することが窺える。以上の結果に示す如く、Co の添加により性能的に向上することがわかる。

次に同様に 5% Cr-W-Mo-V 熱間工具鋼 (DBC) に Co を約 3~8% 添加して影響を調べた。

1000~1150°C の各温度より油冷あるいは空冷した場合 Co の増量につれて硬度が高くなる。

次に 1000~1150°C の各温度より油冷後 300~700°C の各温度に焼戻した場合 Co 量の多いものほど焼戻軟化抵抗が大きい。

1050°C 油焼入後 590°C に焼戻したものについて、700°C における繰返加熱回数と硬度の関係につき求めた結果によれば Co を添加した試料の硬度低下は無添加の試料に比較して小さく、とくに Co の多いほどいちじるしい。

焼入性について調べた結果はほとんど大差なく、Co 約 5% 以上においてわずかながら小さい。

1050°C および 1100°C より油焼入後 590°C にて焼戻した各試料の変形率測定結果によれば Co の添加により変形率に対し影響を与えるが、その効果は必ずしも添加量に対し比例的でない。

次に 1050°C 油焼入後 590°C に焼戻した各試料の常

第27表 試料の化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
A	0.42	0.79	0.37	0.024	0.005	5.27	1.45	0.96
B	0.40	0.75	0.34	0.023	α	5.39	1.40	0.89

第28表 寿命試験結果

試料	試料硬度 (HB)	試料径 (mm)	バイト	バイト硬度 (HRC)	切削速度 (m/mn)	切削寿命
A	192	48.04	Y X I 剣バイト	64.7	58.0	1分56秒
B	188	〃	〃	64.8	〃	3分41秒
A	192	45.77	〃	64.9	90.0	21秒
B	188	〃	〃	64.7	〃	43秒

第29表 合成樹脂用金型用材の鋼種と化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	該当 J I S 記号
炭素工具鋼	0.65	0.25	0.35						SK 7
Cr-Mo鋼	0.35	0.25	0.70		1.00		0.25		SCM 3
〃	0.42	0.30	0.85		1.10		0.25		(DOC)*
5Cr-Mo-V鋼	0.40	1.10	0.40		5.00		1.35	1.10	
〃	1.00	0.30	0.70		5.25		1.15	0.30	
Cr-W-V鋼	0.55	0.30	0.25		1.50	2.00		0.25	
高Cr鋼	0.30				13.00				
Ni-Cr鋼	0.10	0.20	0.50	3.50	1.50				
Cr鋼	0.10	0.30	0.40		2.30				
炭素鋼	0.08	0.30	0.40						(YCH 1)*
Cr-Mo-V鋼	0.05	0.20	0.30		5.00		0.80	0.25	(YCH 2)*

注 \* ヤスキ鋼の記号

温および熱間 (600~800°C) における引張および衝撃試験を行なった結果 Co 添加により引張さは大きくなり、伸び、絞り、衝撃値はわずかながら小さくなる。

また 1050°C 油焼入後 590°C に焼戻した各試料の 700°C における耐酸化性試験をした結果、短時間の場合は Co 添加により耐酸化性が向上するが、長時間の場合はあまり差が認められない。

快削性ダイキャスト用型材

ダイキャスト用型鋼 DAC に S を添加し、その被加工性を改善する目的で 2, 3 実験した結果を述べる。第 27 表にその化学成分を示す。熱処理硬度におよぼす影響はほとんどない。

次に切込 1.0mm, 送り 0.5mm, 切削速度 58.0 および 90.0m/mn にて切削し、削り始めから切削面が摩擦のため光沢と呈し削れなくなるまでの時間を工具の寿命とした場合の結果を第 28 表に示す。S 添加による影響が認められる。

12Cr-12W-1V 系熱間工具鋼<sup>9)</sup>

高温硬度、軟化抵抗、耐摩耗性、熱処理変形、ヒートチェックなどの諸性質におよぼす C, W, V と Mo の影響について研究された。

その結果、従来使用されている SKD 5 などに比較して、Cr 量を増加し、W 量を減じ、V を添加することにより、高温における抗張力、降伏点を増し、また耐酸化性を改善することが認められた。

#### 14. 合成樹脂用金型

最近合成樹脂による製品が盛んに製造されている。これに用いる金型も種々関心が持たれている。合成樹脂も最近非常に進歩し、各種のものが作られている。しかしその作業温度は約 300°C 以下で、ダイキャストの場合より低い。したがってこれに使用する型材は普通炭素鋼、炭素工具鋼および Cr-Mo 鋼などが多く用いられる。

第 29 表は合成樹脂用金型の主なる種類を示す。

なお耐食性および耐摩耗性の点から 5Cr 鋼および 12Cr 鋼も用いられることがある。

次に合成樹脂用金型を造る場合に、比較的軟質の材料を用いて機械彫りするよりも、親型 (普通ホブと呼称する) を雌型 (プラスチック用型になる) に押し込んで型を造る方がよい。いわゆるコールドホッピングモールドである。この方法によると簡単に同一の型が一度にできる利点がある。雌型は低炭素鋼および低炭素合金鋼が用いられる。また親型には例えば SKD 1, SKD 11 な

どの高炭素合金工具鋼が用いられる。なおコールドホッピングによつて造られた型は滲炭後熱処理して表面硬度を高くして使用する。5Cr鋼は炭素鋼に比較して加工性は劣るが、型としての寿命は長く、耐久度が大きい。

15. ゲージ

使用中に寸法、形状に変化の生じないことが最も大切な条件である。このためには鋼材の耐摩耗性が大きいことが必要である。また精密仕上を必要とする関係上、熱処理による変形が少なく、機械加工または手仕上が容易にできる鋼種が望ましい。とくに精度の高いゲージは経年変化の少ないことも必要である。

簡単なソリッドゲージには炭素工具鋼(SK2~3) C-V鋼(SKS43)なども用いられるが熱処理変形が大きく、仕上にいちじるしく手数を要する。Mn-Cr-W鋼(SKS3~31)は油焼入によつて変形が少なく、耐摩耗性もよくなる。耐摩耗性と経年変化の生じてはならないブロックゲージなどにはSKD1, SKD11, SKD12を使用する。次にリングゲージやスナップゲージなどの複雑なゲージは焼入変形と焼割ができ易いのでMn-Cr-W鋼(SKS3~31)および高C-高Cr鋼(SKD11, SKD12)などを使用する。この際S曲線を利用してマルクエンチ処理を行つて焼入による変形をできるだけ少くすることが必要である。その外マスターゲージ、ネジゲージ類も同様の鋼種を使用している。なお表面硬化用鋼として窒化鋼、滲炭鋼も使用されている。

第30表に成分を示す。

なお経年変化を防止するためにこの種ゲージ用鋼に冷温処理(サブゼロ処理)が行なはれるが、工具を焼入後-75~-100°Cの冷温にサブゼロ処理を行ない、直ちに所

定の150~200°Cに焼戻を施すと経年変化はサブゼロ処理を実施しない場合に比してその変化が単純でしかも少ない。なおさらに常温時効による寸法変化の安定化の方法として冷温処理と焼戻処理を数回くりかえすことが推奨されている。

16. 高速度鋼

高速度鋼は一般に切削用工具として広く使用されているもので、その工具も多種多様である。すなわちバイト、ドリル、タップ、フライス、特殊カッター、ホブ、ブローチ、リーマー、ハックソー、メタルソーその他シャーの刃などがある。また最近では冷間用プレス型や耐熱用ノズル材、冷間圧延用ロールなどにも用いられる。

高速度鋼に対して要求される性質は、その工具や用途によつても異なるが、常温および使用温度において硬度が高く、しかも軟化抵抗が大きく、じん性もあり、耐摩耗性がすぐれていることなどである。またある種のゲージなどの精密測定用工具にも適当な熱処理を実施することにより、その耐摩耗性に利用して用いられる。第31表および第32表にJIS高速度鋼並びに最近の実用高速度鋼の数列を示す。

SKH2は18-4-1型で今日もつとも広く使用され、高速度鋼の基準となるものである。SKH3~SKH4Bは18-4-1型にCoを5~15%添加したもので、Co量を増すほど切削耐久力を増す。またSKH6はW約11%を含む低W高速度鋼で18-4-1型のSKH2よりすぐれている。SKH5は低C-高Co高速度鋼で折出型である。SKH9は最新のMo高速度鋼で近時その用途が広がりつつある。なおさらに新種のMoおよびV高速度鋼として第33表に示す各種のものが使用されつ

第30表 ゲージ用材の鋼種と化学成分 (%)

鋼種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Al	該当JIS記号
炭素工具鋼	1.20	0.25	0.35						SK2
〃	1.05	0.25	0.35						SK3
V鋼	1.05	0.20	0.25				0.20		SKS43
Cr鋼	1.00	0.25	0.35	1.50					(CRL)*
〃	1.00	0.25	0.35	1.25					
Mn-Cr鋼	1.05	0.25	1.05	0.65					(SGN)*
Mn-Cr-W鋼	0.95	0.25	1.05	0.75	0.75				SKS3
Mn-Cr-Mo鋼	0.95	0.25	1.15	0.45		0.20			(YGT)*
Mn-Cr-W鋼	1.00	0.25	1.05	1.00	1.25				SKS31
高C-高Cr鋼	2.10	0.25	0.40	13.50					SKD1
高C-高Cr-Mo-V鋼	1.50	0.25	0.35	12.00		1.00	0.35		SKD11
5Cr-Mn-Mo-V鋼	1.00	0.25	0.75	5.00		1.00	0.35		SKD12
Cr-Al鋼	0.34	0.20	0.60	1.50				1.10	窒化鋼
Cr-Mo-V鋼	0.30	0.30	0.50	2.50		0.20	0.10		
Mn-Cr鋼	0.20	0.30	1.20	1.00					浸炭鋼
Cr鋼	0.15			0.60					
Mn-Cr鋼	1.05	0.30	1.10	0.90					
Mn-V鋼	0.90	0.20	2.00				0.10		

注 \* ヤスキ鋼の記号

第31表 J I S 高速度鋼の化学成分 (%)

鋼 種	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Co	該当 J I S 記号
W-Cr-V	0.80	0.25	0.35	4.00	18.00		1.00		SKH 2 (YHX 2) *
W-Cr-V-Co	0.80	0.25	0.35	4.00	18.00		1.00	5.00	SKH 3 (YHX 3) *
〃	0.80	0.25	0.35	4.00	18.00		1.30	10.00	SKH 4A (YHX 4A) *
〃	0.80	0.25	0.35	4.00	19.00		1.30	15.00	SKH 4B (YHX 4B) *
低C-Cr-W-高Co	0.25	0.25	0.35	4.00	20.00		1.30	16.50	SKH 5 (YHX 5) *
低W-Cr-V	0.75	0.25	0.35	4.00	11.00		1.80		SKH 6 (Y X 1) *
W-Cr-V-Co	0.80	0.25	0.35	4.00	18.00		1.00	2.50	SKH 8 (Y X 0) *
W-Cr-Mo-V	0.82	0.25	0.35	4.00	6.50	5.00	2.00		SKH 9 (YXM 1) *

注 \* ヤスキ鋼の記号

第32表 実用高速度鋼の数例 (%)

鋼 種	外国規格	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Co
低W-Mo-V	Mo 1	0.85	0.25	0.35	4.00	10.00	2.75	2.00	
〃	Mo 2	1.00	0.25	0.35	4.00	6.50	5.00	2.60	
低W-Mo-5Co	Mo 3	0.85	0.25	0.35	4.00	10.00	2.75	2.00	5.00
〃	Mo 4	1.00	0.25	0.35	4.00	6.50	5.00	2.60	5.00
低W-Mo-V-8Co	Mo 5	1.00	0.25	0.35	4.00	10.00	2.75	2.60	8.00
〃	Mo 6	1.00	0.25	0.35	4.00	6.50	5.00	2.60	8.00
高C-高V	V 1	1.30	0.25	0.35	4.00	9.00	1.50	4.00	
高C-高V-5Co	V 2	1.35	0.25	0.35	4.00	9.00	2.00	4.00	5.00
〃	V 3	1.50	0.25	0.35	4.00	12.00	1.00	5.00	5.00
高C-高V-10Co	V 4	1.25	0.25	0.35	4.00	7.00	5.00	3.50	10.00
〃	V 5	1.25	0.25	0.35	4.00	10.00	3.50	3.40	10.00

第33表 試料の化学成分 (%)

試 料	C	Si	Mn	P	S	Cr	W	Mo	V
Mo高速度鋼	0.86	0.29	0.34	0.018	0.009	4.08	6.31	5.40	2.10
W高速度鋼	0.79	0.23	0.36	0.013	0.004	4.14	17.41		1.00

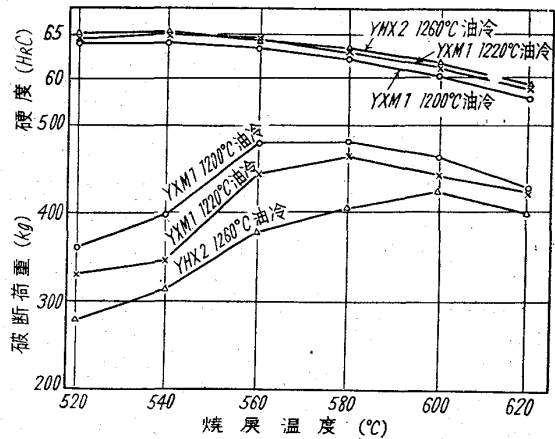
つある。

一般に Mo 系高速度鋼 (SKH 9, Mo 1~Mo 6) は従来のW系高速度鋼に比較して切味がよく、ジシ性もすぐれ、且つ耐摩耗性が大である。ことにV量の多い Mo 2, Mo 4~Mo 5はすぐれている。またV系の高速度鋼は Mo 系高速度鋼に比してジシ性はやや劣るが、耐摩耗性が著しく大である。

第 28 図に Mo 高速度鋼 (6-5-2) とW高速度鋼 (18-4-1) の焼戻温度と破断荷重との関係を示す。試料の成分を示すと第 33 表の如くである。

これからわかるように、Mo 高速度鋼はW高速度鋼に比しジシ性が大きい。Mo 高速度鋼は焼戻温度の上昇につれてジシ性を増し 560~580°C で最大を示す。且つ焼入温度 1200°C に比し 1220°C の方がジシ性に乏しい。第 29 図に直剣バイトによる切削性能の比較を示す。Mo 高速度鋼の方がW高速度鋼に比し耐久性がすぐれている。

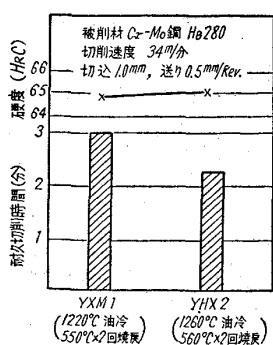
次に Mo 系高速度鋼に Co を添加した場合の影響について示すと第 30 図の如くである。C 1%, Cr 4.2%, W 10.0%, Mo 2.75%, V 2.75% に Co を 0~10.0%



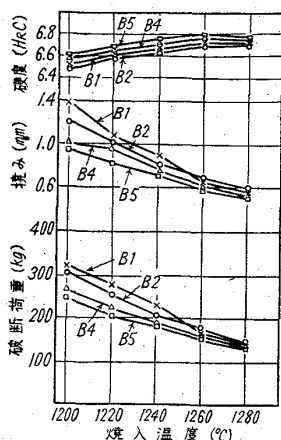
第28図 Mo 高速度鋼 (6-5-2) とW高速度鋼 (18-4-1) の焼戻温度と破断荷重の関係

添加した場合、焼入温度を 1200~1280°C、焼戻 550°C における硬度は、焼入温度の上昇するほど、Co の多いほど高くなるが、ジシ性は逆に減少する。なお参考のために Co 5.0% 添加した場合の焼入焼戻硬度を示すと第 31 図の如くである。

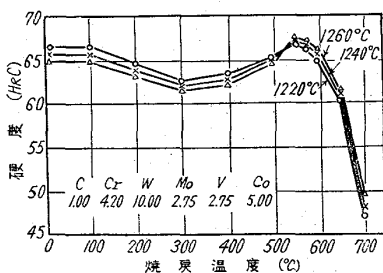
次に同様の試料を用いて、1240°C から油冷、550°C で焼戻した場合、被切削材 SNC 2 (H<sub>B</sub> 258) を切削



第29図 真剣バイトによる切削性能の比較



第30図 Mo系高速度鋼 (B1~B5)の靱性および磨耗のCoの影響 (焼戻550°C×3回)



第31図 YxM3の焼戻温度と硬度の関係

C 1.25~1.50%, Cr 4~5%, W 5~12%, V 4~5%, Mo 0~4.50%, Co 0~5%の高C-高V高速度鋼は特に硬度が高く、いちじるしい耐摩耗性を有し、且つ第34図に示す如く高温硬度が他種高速度鋼に比して高い特徴を有する。それ故摩耗のはげしい用途の場合はT4, T5, T6の高Co高速度鋼よりT15, M4の如き高C-高V高速度鋼がよいとされている。

高C-高V系におけるW, Moの挙動についてC, CrおよびVを一定にしWとMoの量を変えた場合の焼入温

速度 38m/mn, 切込 1.0mm, 送り 0.5mm/rev で切削耐久試験を行なった結果を示すと第32図の如くである。Coの増量につれて耐久性が増加することがわかる。またMo高速度鋼とW高速度鋼 (Co 7~10%)の切削試験の結果Mo系の方が従来のW系に比してすぐれている。

高速度鋼中のV量を増すときはW量を若干節約し得るし、またW, Mo, Cr量が一定の場合、V量が高めるときはC量を増さねばならない。第33図に高C-高V高速度鋼の焼入焼戻硬度を示す。550~600°Cにおいて二次硬化現象を示し、且つ焼入温度を上昇するほどに二次硬度を増大する。しかし焼戻による最高硬度を高温の方に移動する。またCoの多い程二次硬化がいちじるしい。

Coを含まないあるいはCo含有量を節約した高C-高V高速度鋼は従来の高Co高速度鋼に匹敵しあるいはまさる高速度鋼である。

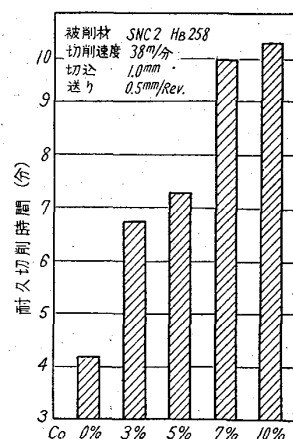
C 1.25~1.50

度と硬度との関係からいずれも1200°Cより高温になるにつれて焼入硬度は低下するが、これを575°Cで焼戻すと焼入温度の高いものほど硬化し、破断荷重は低下する。しかしジンはWの低くなるほど、Moの高くなるほど低下する。次にC, Cr, W, Vを一定にしMoの量を変えた場合、等硬度対破断荷重の関係を求めるとMoの多いほどジ性に乏しくなることがわかる。

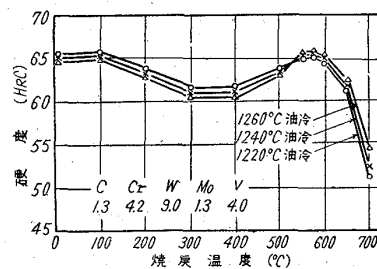
次に高C-高V高速度鋼と高Co高速度鋼の切削性の比較を示すと第35図の如くである。高C-高V系が切削耐久性がすぐれていることがわかる。

第36図にXVC2にSを添加した場合の被切削性の比較をHXV3およびS添加なしのXVC2について行なった結果を示す。使用バイトはMo高速度鋼(HRC 66.0)で切削速度は30m/mn, 切込 1.0mm, 送り 0.5mm/revとした。なお被切削材硬度はS入XVC2はH<sub>B</sub> 248, XVC2はH<sub>B</sub> 248, HXV3はH<sub>B</sub> 259である。これからわかるようにS添加によって被切削性が向上する。

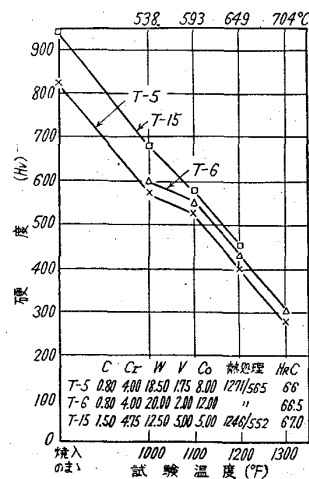
次にXVCにS添加した場合、被切削材SNC2 (H<sub>B</sub> 277)を切込1.0mm, 送り0.5mm/rev切削速度44m/mnで切削耐久性を比較した結果Sの切削耐久性におよぼす影響は認められない。



第32図 Mo系高速度鋼(B1~B5)の切削性能におよぼすCoの影響 (1240°C油冷 550°C×3回焼戻)

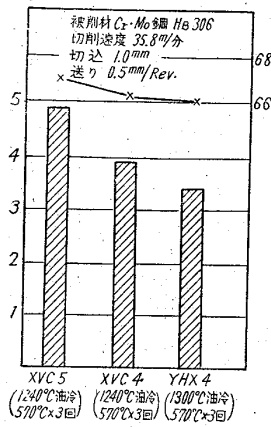


第33図 XVC1焼戻硬度



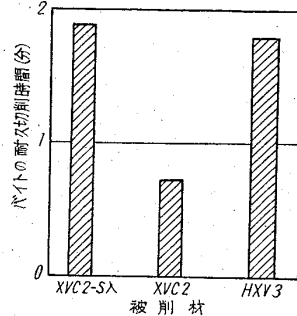
第34図 高C-高V高速度鋼と従来の各種標準高速度鋼との高温硬度の比較

	C	Cr	W	Mo	V	Co
XVC 4	1.25	4.20	9.6	5.0	3.5	10.0
XVC 5	1.25	4.20	10.0	3.5	3.4	10.0
YHX 4	0.80	4.20	18.0	—	1.3	10.0



第35図 真剣バイトによる  
切削性能の比較

切削速度 30m/mn  
切込 1.0mm 送り 0.5mm/rev  
被削材硬度 { XVC 2 H<sub>B</sub> 248  
XVC 2-5λ " 248  
HXV 3 " 259  
使用バイト Mo 高速度鋼 H<sub>R</sub>C 66.0



第36図 XVC 2 に S 添加した場合  
の被削性の比較

造技術が確立されつつある。

粉末冶金技術により製造される工具材料を材質的に分類すると、第 35 表に示すごとく、WC 基超硬合金、TiC 基超硬合金、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基セラミックおよび炭化物またはセラミックを拡散処理せる工具の 4 種に大別されよう。以下各項毎にわが国の技術水準の現状を述べる。

1. WC 基超硬合金

WC 基超硬合金の歴史は比較的古く、1925 年 SCHRÖTER らにより WC と Co の合金が粉末冶金の方法で製造可能であり、かつその性能が従来の工具鋼よりある点において著しくすぐれていることの発見にはじまる。新しく生まれた WC-Co 合金はそのすぐれた耐摩耗性と切削

また高速度鋼の表面の硬度と耐摩耗性を高める目的で種々の処理法が開発されているが第 34 表に窒化処理した場合の耐久性におよぼす影響について示す。

IV. 最近の超硬合金

溶解技術により製造される工具鋼は溶解によらない工具材料すなわち粉末冶金の技術により得られる超硬合金、セラミックなどよりも需要量においては今なおまさっているが、用途によつては性能的に一歩ゆずるものがある。

粉末冶金技術は第二次世界大戦中、米国およびドイツを中心に著しく発達し、戦後それらの技術が続々と我が国に導入され、超硬合金、セラミックなどを中心に外国との技術提携がなされた。現在の我が国の粉末冶金の指導的立場にある大メーカーはほとんど外国技術を何らかの形で導入し生産を行なっていると云つても過言でない。しかし新しい技術の開発も早く、着々各社独自の製

性能のため、多くの研究者の注目を集め、短期間に数多くの研究がなされた。中でも SCHWARZKOPF らの WC-TiC-TaC-Co 系の研究<sup>10)</sup>により今日の超硬合金の基礎が完成された。新材質の開発は今日なお継続されているが、基本的成分および製法はほぼ確立されている。その製造方法を第 37 図に示す。JIS などで定まっている規格もげん密に成分や硬度を規定するものではない。あくまで各社の特色を生かせるよう第 36 表のごとく切削条件による使用分類を示すにとどめられている。なお WC 基超硬合金の特性を前述の工具鋼と比較すると第 37 表に示すごとくになる。

(1) 切削用 WC 基超硬合金工具

切削用 WC 基超硬合金工具は ISO の分類によりその主成分を示せば第 38 表のごとくなる。すなわち高硬度鑄鉄および焼入鋼を 15~50m/mn の低速で切削する Co の少ない K01~20、一般鑄物、非鉄を切削する Co 6~10% の K20~40、一般鋼の高速切削により生じた高速の

第34表 SKH 2 センタードリル (32φ) の窒化による性能 (塩浴窒化)

窒化処理	試料	穴あけ個数	備考
窒化しないもの	No. 1	25	切刃端の摩耗により切削不能
〃	No. 2	12	
〃	No. 3	20	
〃	No. 4	16	
550°C × 10mn 窒化	No. 5	36	〃
〃	No. 6	59	
550°C × 30mn 窒化	No. 7	>200	試験中止 (切刃端の摩耗なし)
〃	No. 8	>200	
550°C × 1h 窒化	No. 9	>200	〃
〃	No. 10	>200	
550°C × 3h 窒化	No. 11	15	焼付のため切削不能、主切刃にチップング 焼付のため切削不能後破断
〃	No. 12	9	

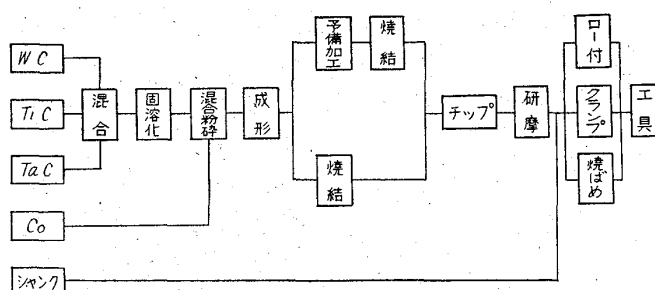
切削条件: 被切削材 SUJ 2 HRC 40.0, 回転数 2240 rpm, 1ヶの穴の深さ 5mm

第35表 超硬合金の分類

大分類	主成分	用途
WC基	WC-Co WC-Co WC-TiC-TaC-Co WC+TiC+TaC-Co Co<10% Co>6% Co<10% Co<10% TiC+TaC<15%	鋳鉄, 高硬度鋼, 非鉄の切削, ISOK 系列 耐摩耗, 耐衝撃用工具 一般鋼の切削 ISOP 系列 一般鋼, Mn 鋳鉄, 非鉄の切削 ISOM 系列
TiC基	TiC(-Ni-Mo)+α(バインダー)	一般鋼の切削 ISOP 系列
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 基	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(CaO)+α(バインダー)	一般鋼および鋳鉄の切削 ISOP~M 系列
拡散型	WC 拡散工具鋼 TiC 拡散工具鋼 セラミック拡散工具鋼	切削, 耐摩耗, 耐衝撃用工具 切削, 耐摩耗, 耐衝撃用工具 耐摩耗用工具

注1 WC基の成分は市場品の概略値

注2 TiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のバインダーはよくわかっていない面がある。



第37図 超硬合金工具の製造工程

ドライ粉によるクレーター摩耗に強い TiC+TaC を入れた P01~40, および汎用の成分的にも K と P との間にある M05~40 に分類される。各社の符号はまちまちであるが K 系列を H および G, P 系列を S および ST,

M 系列を U と呼ぶメーカーが我が国では多い。一般に系列名のつぎの番号は大きいものほど Co が多く従ってジレン性も高い。荒切削には各系列の 20~40 を用い、送り、切込を大きく、周速をおとして用い、仕上切削には各系列の 01~20 を用い送り、切込を小さく、周速を早くして用いるのが推奨される。

以上の切削用 WC 基超硬合金を模式的に図に示せば第 38 図の如く、機械的耐摩耗性(2 番摩耗)と高温耐摩耗性(クレーター摩耗)の 2 変数により表示されよう。

(2) 耐摩耗用 WC 基超硬合金

耐摩耗性は WC 基超硬合金の本命とするところであつて超硬合金発達の歴史をみても引抜ダイス用超硬合金<sup>11)</sup>

第36表 切削条件による使用分類

大分類	使用分類記号	被削材	切削方式	作業条件
P	P01	鋼 鋳鋼	精密旋削・精密中グリ	高速で小切削面積のとき、または加工品の寸法精度や表面の仕上げ程度の良いことを望むとき。ただし振動のない作業条件のとき。
	P10	鋼 鋳鋼	旋削・ナライ削り・ネジ切り・仕上げフライス削り	高~中速で小~中切削面積のとき、または作業条件の比較的良いとき。
	P20	鋼 鋳鋼 可鍛鋳鉄(連続形切りクズの出る場合)	旋削・ナライ削り・フライス削り・平削り	中速で中切削面積のとき、または P 系列中最も一般的作業。平削りでは小切削面積のとき。
	P30	鋼 鋳鋼 可鍛鋳鉄(連続形切りクズの出る場合)	旋削・フライス削り・平削り	低~中速で中~大切削面積のとき、またあまり好ましくない作業条件のとき。
	P40	鋼 鋳鋼(砂カミや穴のある場合を含む)	旋削・平削り・形切り	低速で大切削面積のとき、P30より一層好ましくない作業条件のとき、自動盤仕事の一部分、または大きなスクイ角を使用したいとき。
	P50	鋼 低~中引張強さのもの  鋳鋼 砂カミや穴のあるもの	旋削・平削り・立削り  旋削・平削り・形削り・立削り	低速で大切削面積のとき、または自動盤仕事。大きなスクイ角(高速度鋼なみの)や複雑な切刃形状をあたえたいとき。  低速で大切削面積のとき、または P40より一層好ましくなく最もジレン性を要求されるとき。

M	M10	鋼 鋳鋼 鋳鉄	旋削	中～高速で小～中切削面積のとき、または鋼鋳鉄に対して共用しないときで、比較的作業条件の良いとき。
		高マンガン鋼 <sup>2)</sup> オーステナイト鋼 特殊鋳鉄 <sup>3)</sup>	旋削	中～高速で小～中切削面積のとき、または比較的作業条件の良いとき。
	M20	鋼 鋳鋼 鋳鉄	旋削・フライス削り	中速で中切削面積のとき、または鋼・鋳鉄に対して共用したいときで、あまり好ましくない作業条件 <sup>1)</sup> のとき。
		高マンガン鋼 <sup>2)</sup> オーステナイト鋼 特殊鋳鉄 <sup>3)</sup>	旋削・フライス削り・	中速で中切削面積のとき、またはあまり好ましくない作業条件 <sup>1)</sup> のとき。
M30	鋼 鋳鋼 鋳鉄 オーステナイト鋼 特殊鋳鉄 <sup>3)</sup> 耐熱合金 <sup>4)</sup>	旋削・フライス削り・ 平削り	中速で中～大切削面積のとき、またはM20より悪い作業条件のとき。	
M40	快速鋼 <sup>5)</sup> 非鉄金属 <sup>6)</sup>	旋削・突切り	低速のとき、自動盤仕事、または大きなスクイ角や複雑な切刃形状をあたえたいとき、M系列中最もじん性を要求されるとき。	
K	K01	鋳鉄	精密旋削・精密中グリ・ 仕上げフライス削り	高速で小切削面積のとき、または振動のない作業条件のとき。
		チルド鋳鋼およびこれに類するようなカタサの高い鋳鉄焼入鋼	旋削	極低速で小切削面積のとき、または振動のない作業条件のとき。
		黒鉛・硬質紙・陶器アスベスト等の人工材料、高シリコンアルミニウム		振動のない作業条件のとき
	K10	ブリネルカタサ 200 以上の鋳鉄 可鍛鋳鉄 (非連続形切りクズの出る場合)	旋削・フライス削り・中 グリ・ブローチ削り・ リーマ仕上げ	中速で小～中切削面積のとき、K系列中比較的 一般作業のとき、または比較的振動のない作業条件のとき。
		焼入鋼	旋削	低速で小切削面積のときまたは比較的振動のない作業条件のとき。
		シリコンアルミニウム合金、カタサの高い銅合金 ガラス、硬質ゴム、硬化紙、磁器、合成樹脂などの人工材料		比較的振動のない作業条件のとき。
	K20	ブリネルカタサ 220 以下の鋳鉄	旋削・フライス削り・平 削り・リーマ仕上げ・ブ ローチ削り・キリモミ	中速で中～大切削面積のときK系列中一般作業のとき、または大きなじん性を要求される作業条件のとき。
		非鉄金属 <sup>6)</sup> 積層木材		大きなじん性を要求される作業条件のとき。
K30	引張強さの低い鋼・カタサの低い鋳鉄 非鉄金属 <sup>6)</sup>	旋削・フライス削り 平削り・形削り	低速で大切削面積のとき、あまり好ましくない作業条件 <sup>1)</sup> のとき、または大きなスクイ角を使用したいとき。	
K40	カタサの低い非鉄金属・ 木材	旋削・フライス削り 平削り・形削り	K30よりいつそう好ましくない作業条件のとき または大きなスクイ角を使用したいとき。	

注 1) 好ましくない作業条件とは、被削材の表面状態からいえば、被削材に鑄ハダや鍛造ハダがあり、カタサや切込みが変わり、切削が断続となる場合をいい、剛性の点からいえば、工作機械、切削工具ならびに被削材のタワミあるいは振動の多い場合などをいう。

2) 高マンガン鋼とは、高マンガン鋼鋳鋼品 (SCMnH) その他である。

3) 特殊鋳鉄とは、合金鋳鉄、ミーハナイト鋳鉄、ノジュラー鋳鉄などである。

4) 耐熱合金とは、耐熱鋼 (SEH)、耐熱鋳鋼品 (SCH) などである。

5) 快速鋼とは、硫黄快速鋼 (SUM)、鉛快削鋼などである。

6) 非鉄金属とは、銅および銅合金、アルミニウムおよびアルミニウム合金などである。

備考 表中、切削方式欄の“旋削”は、一般旋削を意味する。

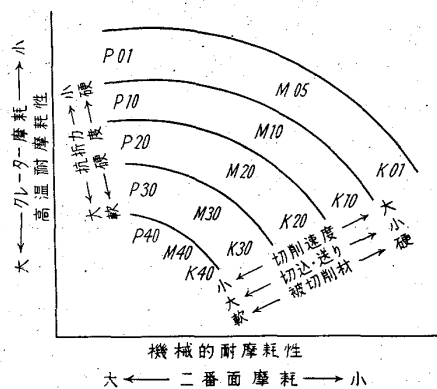


第37表 超硬合金と高速度鋼との比較

性 質	超硬合金 WC-Co 系	高速度鋼 18W-14Co-1V 系
主成分	Co 3~10 残 WC	18W 14Co 1V
比重	14~15	8.5~8.8
常温硬度 (RA)	89~93	77~80
高温硬度 (RA)	900°C まで 89 以上	600°C まで 77 以上
常温抗折力 (kg/mm <sup>2</sup> )	110~180	300~350
高温抗折力 (kg/mm <sup>2</sup> )	850°C まで 110 以上	600°C まで 300 以上
圧縮強度 (kg/mm <sup>2</sup> )	420~450	350~360
弾性係数	7×10 <sup>4</sup>	2×10 <sup>4</sup>
熱伝導率 (cal/cm·s·°C)	0.2	0.07
熱膨脹係数 (°C)	5×10 <sup>-6</sup>	11×10 <sup>-6</sup>
比熱 (cal/g)	0.05	
溶解点 (°C)	2200	1300

第38表 切削用WC基超硬合金の主成分と性質

ISO分類	WC	TiC	TaC	Co	硬度 (RA)	抗折力 (kg/mm <sup>2</sup> )	
K	01	95~97	< 2	< 2	3~5	93	110
	20	}	}	}	}	}	}
	40	85~94	< 2	< 2	6~10	89	180
P	01	65~85	10~20	5~10	4~6	93	70
	20	}	}	}	}	}	}
	40	70~85	5~10	5~10	7~12	90	140
M	05	80~95	< 10	< 5	4~6	93	90
	20	}	}	}	}	}	}
	40	80~95	< 5	< 10	7~12	90	160



第38図 切削用超硬合金の性質

が切削用のものより古い。

耐摩耗用工具としてはレースセンター、引抜ダイス、ガイド板などがあげられるが、いずれも K10~40 すなわち WC-Co 系合金が用いられる。これは TiC および TaC を入れることにより耐摩耗性は改善されないことに起因している。Co 量は切削用のものより幾分多い。

最近では超硬合金製造技術の向上により 200mm φ 程度の合金が製造可能となったため、ダイスばかりでなく、耐摩耗性が要求させる機械部品にも大いに用いられるようになってきた。

(3) 耐衝撃用基超硬合金工具

超硬合金は鋼に比し抗折力がおとるため、耐衝撃用工具、例えばロックビット、打抜ダイス、タガネ、ヘッダーダイスなどには用いられないものとされていたが、ここ数年来超硬合金製造技術の向上により Co を 10~30% と多量に入れることが可能となり、抗折力 300 kg/mm<sup>2</sup> 前後のもの、すなわち高速度鋼とほぼ同程度のものが製造されるようになった。耐摩耗性および圧縮強度は一般鋼よりすぐれているため、耐衝撃用工具に対しても超硬合金の優位性は次第に高くなってきた。

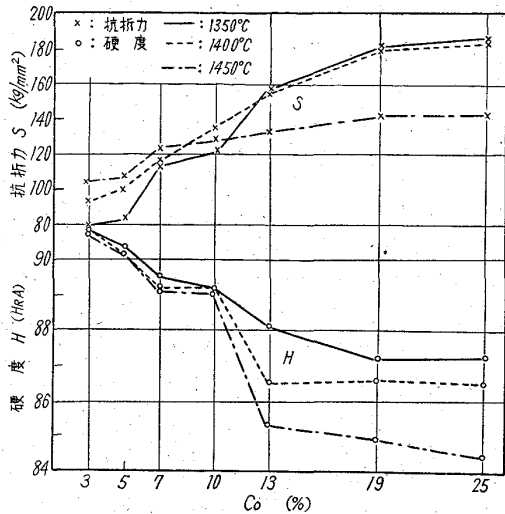
主成分は WC+Co 系に属するものが多いが TiC+TaC を 10% 以下添加した M 系に属するものもある。

WC+Co 系において Co 添加量による抗折力と硬度の変化を第 39 図に示す。図中に高速度鋼およびダイス鋼の値を併記した。

この種の超硬合金は工具鋼と切削用超硬合金との中間をいくものとして注目に値しよう。特に従来からダイス鋼の独断場と考えられていた打抜ダイスをこの種の超硬合金にかえることにより、原価的にも見合った長寿命となる例が多く、今後の発展が期待されている。

2. TiC 基超硬合金

TiC は現在知られている炭化物の中ではもつとも高温強度が強かつ Fe との親和力が少ないので鋼の切削



第39図 WC-Co 系超硬合金の Co 量による硬度および抗折力の変化

第39表 超硬合金とセラミックの比較

	WC 基	TiC 基	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 基
主成分	WC 70~97 Co < 10 TiC + TaC < 30	TiC 40~60 Mo + Ni 60~40	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 90~100 CaO < 3
バインダー	Co	Ni + Mo 合金鋼	CaO Cr <sub>3</sub> O <sub>7</sub>
常温硬度 R <sub>A</sub>	89~93	91~94	91~94
高温硬度 R <sub>A</sub>	900°C まで 89以上	1000°C まで 91以上	1100°C まで 91以上
常温抗折力 kg/mm <sup>2</sup>	110~180	70~100	40~60
切削条件 ISO 記号	K01~40 P01~40 M01~40	P01	M01 (P01)

用としては非常に有利な炭化物原理といえる。すなわち TiC を多量に用いれば第 39 表 または 第 39 図の P 01 相当またはそれ以上の性能を示す工具を作りうるであろうことが推定される。しかし TiC はそのわずかにのこった不純物 TiN, TiO または TiO<sub>2</sub> をのぞくことがきわめて困難であるため、現在市場にある TiC 工具はこれらの不純物のため抗折力が WC 基の超硬に比し低い値を示している。また WC に比し金属との親和力または濡れがわるく、従つて WC 基超硬合金の確固たるバインダーとなつている Co のごときすぐれたそれはまだ発見されていないようである。しかし米国のミサイル研究のため行はれたサーメットの研究の産物として TiC を Ni + Mo または合金鋼をバインダーとして合金化すれば、比較的良好な抗折力を得ることが知られ、2, 3 の超硬メーカーではすでに製品化し実用化している。現在のところ TiC 基超硬合金は成分的に数種類しか製造されておらず、かつバイトの形状も限定されているが、さらに抗折力が改善されればより一層需要がひらけるものと考えられる。第 39 表に WC 基超硬合金, TiC 基超硬合金および Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基セラミックの諸性質を比較した。また合金鋼をバインダーとした TiC 基超硬合金は熱処理ができるものとして注目されている。

### 3. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基セラミック工具

酸化物はすくなくとも炭化物よりは高温強度が強く、被切削材として金属を考える場合、より非金属的であるため濡れが少なく、切削用としては炭化物系工具よりも絶対的に有利であると考えられる。

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の結晶は製造方法によつては WC 以上に硬度も高く、従つて耐摩耗性も大きいと考えられる。すなわ

ちセラミック工具は第 39 図 M05 以上のもの、M01 のごとき性格をもつているといえる。

しかし Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> はセラミックであるため、金属バインダーを用いて焼結することが不可能であり、従つてバインダーをほとんど用いない自焼結が用いられている。バインダーの材質は TiC 以上に不明な点が多く、各社まちまちのものを用いているのが現状であろう。抗折力も他の超硬に比し一段とおとつている。

しかし工作機械の精度向上と、剛性の増加により、抗折力がかかなり低くとも十分切削のできるものがあり、高硬度ロールの切削や一般鋼の仕上切削に実用化されはじめています。

特に最近極微粒の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が製造され熱間成形の技術が開発されたので、この量産化によりさらに抗折力の高いセラミック工具が実用に供せられる日も遠くないと考えられる。

### 4. 炭化物およびセラミック拡散処理工具

上述の炭化物およびセラミック工具はその製造方法から高硬度のものは比較的容易に得られるが、じん性を工具鋼と同程度に与えることは著しく困難であり、したがつてソリッドの工具は小型のもののみ実用されている。また焼結によりすでに高硬度となり、加工はもつぱらグリーンカーボラダムまたはダイヤモンド研削によらねばならない。そこでドリル、リーマ、ホブなどの異形切削工具や衝撃の大きい打抜ポンチなどの工具鋼を全て炭化物ないしはセラミック工具におきかえることはほとんど不可能と考えられる。そこで両者のよい点を取り、本体を工具鋼で製作し、焼鈍加工後、その表面に炭化物またはセラミック工具を付刃したような工具鋼が考案され

ている。拡散の方法としては焼入、焼戻の過程にセメンテーションの機構により拡散せしめるもの、電解ないしは化学処理によるものが実施されておりそれぞれ効果を上げているようである。炭化物としてはWCが主として用いられ、セラミックは  $Al_2O_3$  が多いようである。今後さらに拡散処理方法の検討がすすみじん性は工具鋼の値を示し、さらに希望の深さまで超硬またはセラミック工具の硬さと耐摩耗性をそなえた工具材料の出現も可能であると考えられる。

## V. 結 言

以上工具鋼および超硬合金について最近の状況を述べたが何等かの参考になれば幸である。

## 文 献

- 1) 小柴, 田中, 稲田: 日立評論, 39 (1957) 5, p. 89~94
- 2) 小柴, 田中, 九重: 日立評論, 38 (1956) 5, p. 95~98
- 3) 小柴: 工具材料 (精密工学講座) (1958) 日刊工業新聞社, p. 44~48
- 4) 日本特殊鋼: 特殊鋼, 10 (1961) 8, p. 34
- 5) 藤代: 特殊鋼, 10 (1961) 8, p. 28~30
- 6) 小柴: 永島: 鉄と鋼, 36 (1950) 3, p. 24~27
- 7) 日本特殊鋼: 特殊鋼, 10 (1961) 8, p. 27, 34~36
- 8) 山中: 鉄と鋼, 46 (1960) 3, p. 165~167
- 9) K. SCHRÖTER: 米, 特許 1721416 (1929)
- 10) P. SCHWARZKOPF: 米, 特許 1925910 (1933)
- 11) G. FUCHS: 独, 特許 310041 (1918)