

タングステン 7% を含む低タングステン・バナジウム 鋼に於ける各元素の影響に就いて

小 柴 定 雄*

The Effect of Various Elements on the Low Tungsten-Vanadium Steel Containing 7% W

By Sadao Koshiba, D.S.E.
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

High speed steel is now widely used in mechanical industries with its major applications to cutting tools and hot dies. The writer studied first the effects of carbon, chromium, tungsten, molybdenum and vanadium on the low tungsten high speed steel, containing 7% tungsten, then measured the hardness and cutting durability and observed the microstructure of these specimens applying different heat treatment.

From the results of the experiments and observations, the writer has come to conclude that the most moderate compositions of this special steel should be as follows:— C 0.60~0.80%, Ca 3.50~4.50%, W 6.0~8.0%, Mo 0.5~1.0% and V 1.5~1.8%. Likewise, the writer determined the moderate temperature range of the heat treatment.

〔I〕 緒 言

現時我国に於ける金属資源は極めて窮乏の域にあり、特に高速度鋼、熱間ダイス鋼に含まれるタングステン、モリブデン及びコバルト等の重要資源は極めて少く、或いは皆無の状態、従つてこれが節減を図ることは極めて必要である。

筆者は先きに低タングステン・バナジウム高速度鋼を創製し⁽¹⁾、現在広く使用されている。一方又低タングステン—モリブデン高速度鋼に就いても研究しこの種高速度鋼の性能をも確めた⁽²⁾⁽³⁾。

本研究に於ては W 及び Mo を極力節減し、しかも適当な熱処理によつて従来の高速度鋼に匹敵するものを得んとするものである。即ち C 0.7%, W 7%, Cr 4%, Mo 0.5%, V 1.5% を標準成分として C 0.4~1.0%, Cr 2.0~5.0%, W 3.0~9.0%, Mo 0.1~1.0%, V 0.2~2.0% の箇々の元素の影響を明らかにした。

* 日立製作所安来工場 工博

〔II〕 試料及び実験方法

試料は 35 kVA 高周波誘導電気炉で 6 kg 鋼塊を造り、これを 15 mm 角に鍛伸し、後十分焼鈍し (900°C) 試験に供した。

実験方法は従来と全く同様である⁽¹⁾⁽⁴⁾ 切削試験に用いた被切削材料は C 0.33%, Si 0.82%, Mn 0.92%, Cr 0.98% の Si-Mn-Cr 鋼で焼入れ焼戻してブリネル 360 にしたものをを用いた。耐久力は 20 分間切削耐久速度を以つて比較した。

〔III〕 炭素の影響

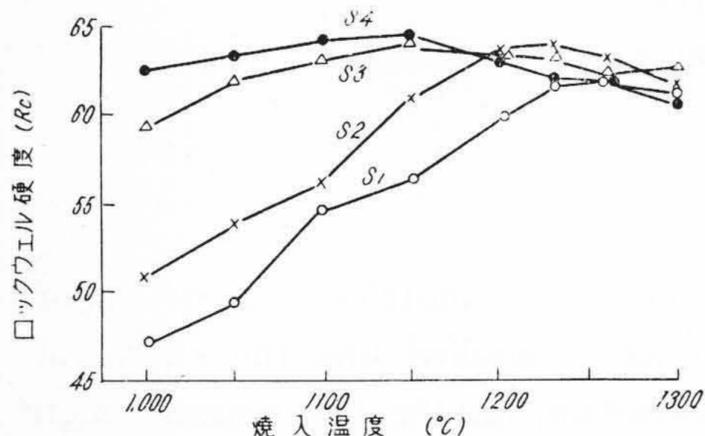
炭素 0.4~1.0% の影響を見るため第 1 表(次頁参照)に示す如き試料を調製した。C 量を増す程 V 量も多少増加している。尚各試料の変態点の生起状況を併記した。C 量を増加する程加熱変態の開始及び終了温度は低い方に移動する。又冷却変態も同様開始及び終了共低い方に移動する。而して空冷の場合も同様の傾向を示す。

第 1 表 試 料 の 化 学 成 分 及 び 変 態 点

Table 1. Chemical Composition and Transformation Point of Test Piece

試 料	化 学 成 分 (%)					加 熱 変 態*		冷 却 変 態*			
	C	Cr	W	Mo	V	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	炉 冷 (5°C/min)		空 冷	
								開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)
S 1	0.46	3.87	6.74	0.31	1.34	840	870	810	740	310	230
S 2	0.61	3.76	7.03	0.33	1.62	840	865	790	730	335	240
S 3	0.80	3.90	7.00	0.54	1.76	835	863	752	710	235	175
S 4	0.97	4.00	6.75	0.38	1.90	825	860	750	710	180	90

* 最高加熱温度 950°C

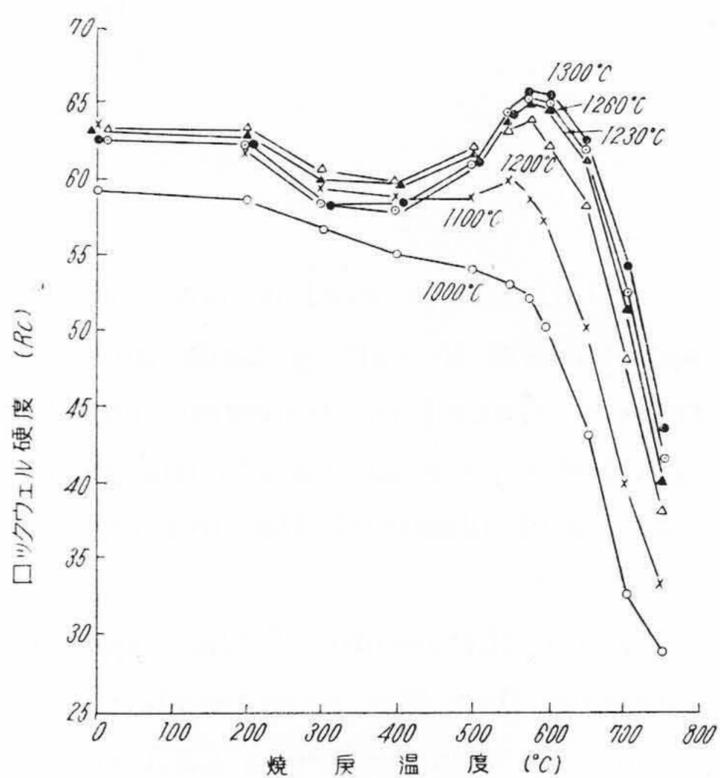


第 1 図 C 量異なる試料の焼入温度と硬度との関係
Fig. 1. Relation between Quenching Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Carbon Content

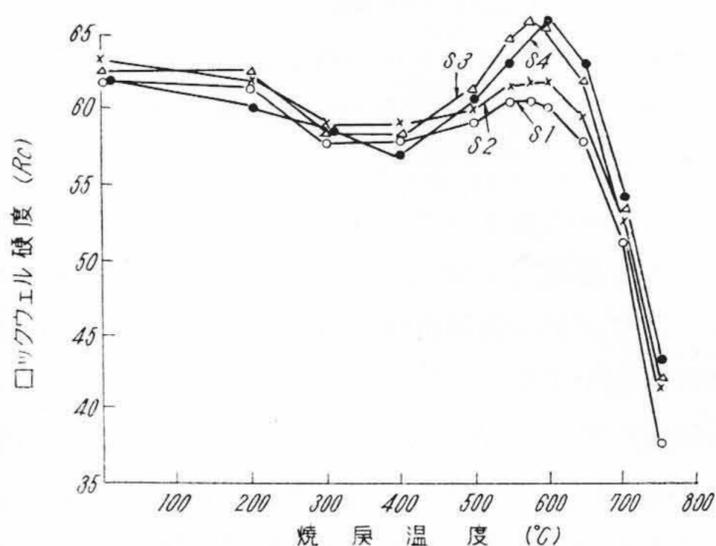
次に各試料の 1,000°C~1,300°C の焼入温度による硬度の変化を第 1 図に示す。但し試料の大きさは 15×15×15 mm である。C 0.46% 及び 0.61% の試料の焼入による最高硬度は約 1,230°C, 又 C 0.80% 及び 0.97% の試料は何れも 1,150°C で同様最高硬度を現わす。即ち C 量を増す程焼入による最高硬度を示す焼入温度は低い方に移動する。而してその焼入硬度は C 量が高い程高い。尚各試料共或温度以上上昇すると硬度をかえつて減少するは残留オーステナイトを増すためである。

次に C 0.80% の試料の各焼入温度による焼戻硬度の変化を第 2 図に示す。焼入温度を上昇する程焼戻による最高硬度を増大する。又その最高硬度を示す焼戻温度も 1,200°C 以上は殆ど変りない。焼入温度を上昇する程焼戻による最高硬度を増大するは焼入によつて多量のオーステナイトを残留するためである。次に各試料の焼入温度 1,260°C の場合の焼戻温度と硬度との関係を第 3 図に示す。焼戻による最高硬度は C 量を増す程増大するも C 0.80% と 0.97% の両者は殆ど大差ない。

次に 1,260°C から油中焼入した試料に就いて焼戻温度 550°C 及び 575°C に於ける繰返焼戻の硬度に及ぼす影響を調べた。その結果 C 0.46% 及び 0.61% の場合は 1 回の焼戻によつて硬度を減少し, 2 回以上繰返えすも余り変りない。C 0.80% 及び 0.97% の場合は 1 回の



第 2 図 C 0.8%, Cr 3.90%, W 7.0%, Mo 0.54%, V 1.76% 試片の焼入温度の焼戻硬度に及ぼす影響
Fig. 2. Effect of Quenching Temperature on the Temper Hardness of Test Pieces Containing C 0.80%, Cr 3.90%, W 7.0%, Mo 0.54%, V 1.76%

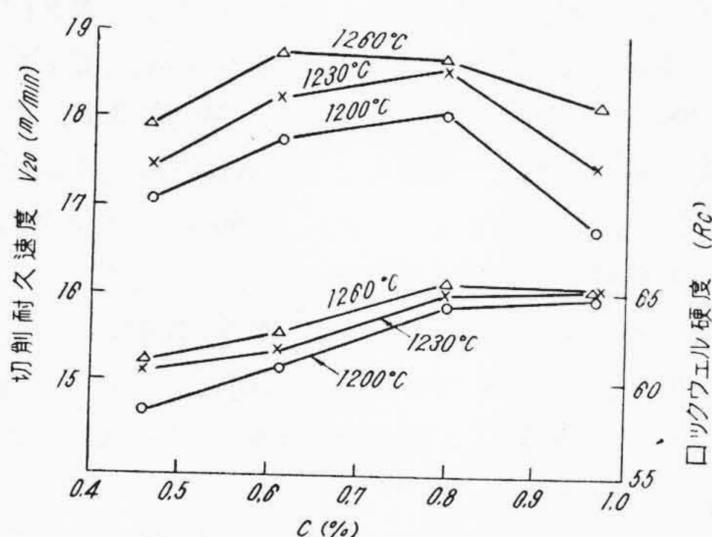


第 3 図 C 量異なる試料の焼戻温度と硬度との関係
Fig. 3. Relation between Tempering Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Carbon Content (Quenching Temperature 1,260C)

焼戻によつてやゝ急激に硬度を増加し、550°C の場合は焼戻を繰返えす程漸次硬度を増大する。575°C の場合 2 回以上は殆ど変りない。

次に 15×15×100 mm の切削工具試料を 1,200, 1,230 °C 及び 1,260°C より油中焼入し、何れも 575°C に 1 時間焼戻を施行した。C 量と硬度及び切削耐久力との関係を第 4 図に示す。硬度は焼入温度 1,200°C 及び 1,230 °C の場合 C 0.8% 以上は余り大差ないが、1,260°C の場合は C 0.8% の場合極大を示す。一方切削耐久力は焼入温度 1,200°C 及び 1,230°C の場合は何れも C 量を増す程増大し、0.8% で最高を示し、0.97% の場合はかえつてやゝ著しく低下する。又 1,260°C の場合は C 0.61% の時極大を示し、0.8% の場合もこれと殆ど変りない。0.97% に於ては前述と同様低下する。これらの結果からこの種低タングステン・バナジウム高速度鋼に於ては熱処理によつて著しく耐久力に影響を及ぼし、焼入温度の高い時はむしろ C 量 0.60% 附近が耐久力高く、焼入温度 1,200~1,230°C の時は C 0.80% 附近のものが最も適当であることが窺知される。

尚各バイトの顕微鏡組織を見るに何れもマルテンサイト組織を呈し、C 量高い場合も V 量が高いため組織は余り粗大にならない。

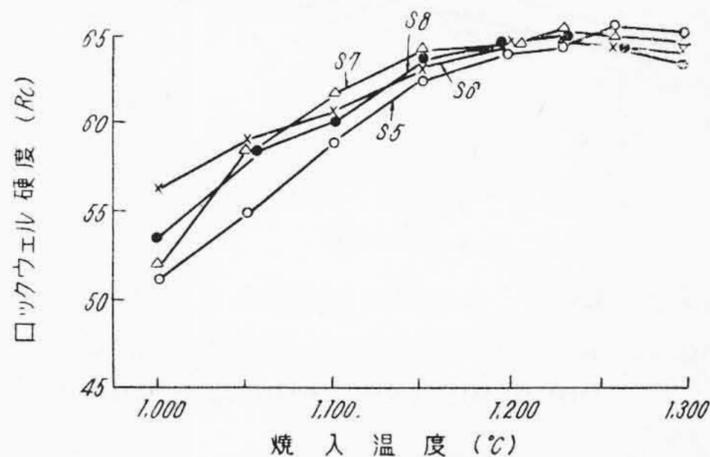


第 4 図 C 量と硬度及び切削耐久力との関係
Fig. 4. Relation between Hardness, Cutting Durability and Carbon Content

[IV] クロムの影響

Cr 2.0~5.0% の影響を見るため第 2 表に示す如き試料を調製した。各試料の変態点の測定結果をも併記した。但し Cr 2% の試料は V 量がやゝ高い。C 量を増加する程加熱変態の開始及び終了温度は高い方に移動する。一方冷却変態の開始温度も Cr 量を増加する程低い方に移動する。又空冷の場合も同様 Cr 量を増加する程概ね Ar'' 点を降下する。

次に各試料の 1,000~1,300°C の焼入温度による硬度の変化を第 5 図に示す。焼入による最高硬度を示す焼入温度は約 1,230°C で生起する。Cr 2% の場合 1,260°C で最高焼入硬度を示すは前述の如く V 量高いためと思考される。尚焼入による硬度は 1,200~1,230°C に於ては余り大差ない。而して 1,300°C の場合は Cr 量を増す程かえつて硬度を僅か減少する。次に各試料の焼入温度 1,260°C の場合の焼戻温度と硬度との関係を第 6 図 (次頁参照) に示す。焼戻による最高硬度は Cr 3.48% の場合最も高く、4.73% の場合これに次ぐ。Cr 4% の試料は C 及び V 量やゝ低いため焼戻の硬度が低い。尚各試料共焼戻による最高硬度を示す温度は殆ど変りない。次に 1,260°C から油中焼入した試料に就いて前述と同様繰返

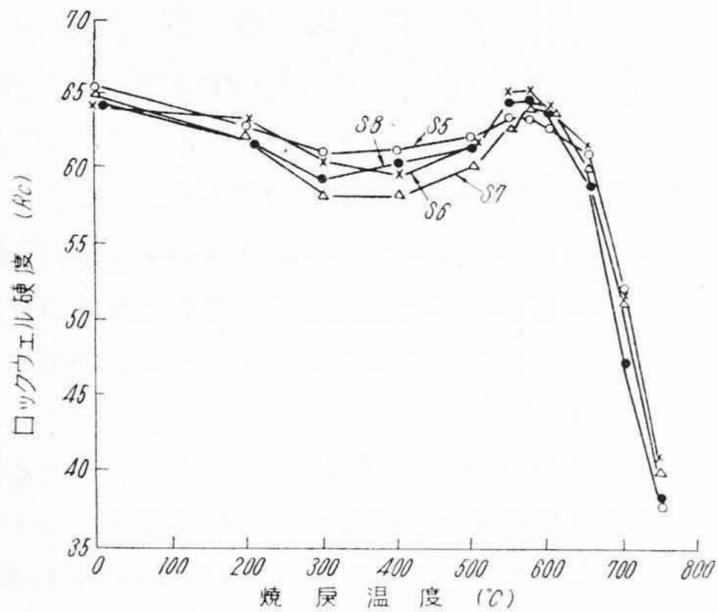


第 5 図 Cr 量異なる試料の焼入温度と硬度との関係
Fig. 5. Relation between Quenching Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Chromium Content

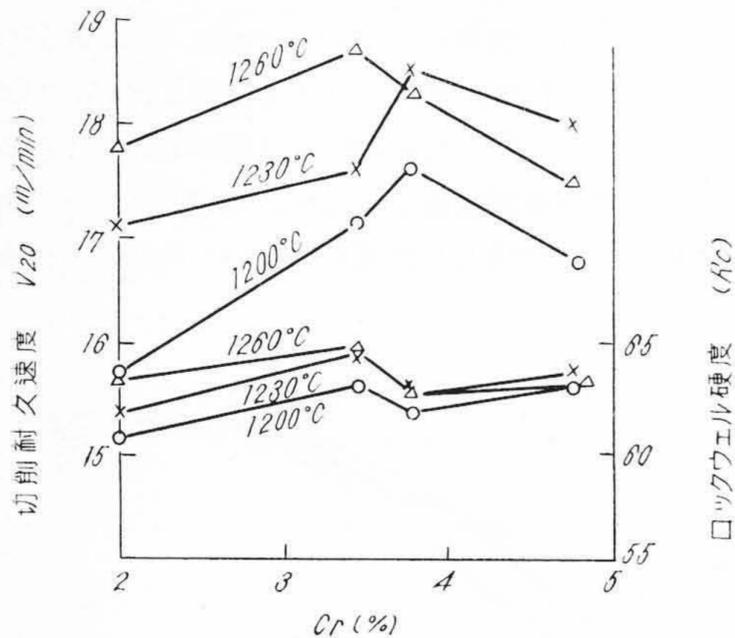
第 2 表 試料の化学成分及び変態点

Table 2. Chemical Composition and Transformation Point of Test Pieces

試料	化 学 成 分 (%)					加 熱 変 態*		冷 却 変 態*			
	C	Cr	W	Mo	V	加 熱 変 態*		炉 冷 (5°C/min)		空 冷	
						開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)
S 5	0.71	2.02	6.21	0.53	1.94	830	865	820	720	740	580
S 6	0.71	3.48	6.61	0.68	1.52	840	870	775	710	305	210
S 7	0.67	3.72	6.40	0.60	1.21	845	870	780	750	335	245
S 8	0.69	4.73	7.00	0.44	1.56	865	890	765	715	235	145



第 6 図 Cr 量異なる試料の焼戻温度と硬度との関係
 Fig. 6. Relation between Tempering Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Chromium Content (Quenching Temperature 1,260°C)



第 7 図 Cr 量と硬度及び切削耐久力との関係
 Fig. 7. Relation between Hardness, Cutting Durability and Chromium Content

焼戻の硬度に及ぼす影響を調べた。その結果焼戻温度 550°C の場合は何れも焼戻 1 回で僅か硬度を減少し 2 回繰返えすと僅か増加する。575°C の場合は 1~2 回で最高それ以上は漸次減少する。

次に前述と同様各切削工具試料を 1,200°C, 1,230°C, 1,260°C より焼入し, 575°C に焼戻を行い切削試験を行つた。その結果を第 7 図に示す。硬度は Cr 約 3.5% の場合最も高い。切削耐久力は焼入温度 1,200°C 及び 1,230°C の場合 Cr 約 4%, 1,260°C の場合は Cr 約 3.5% で最高を現わす。尚各切削工具の顕微鏡組織を観測したが, Cr 量低い場合 V 量がやゝ高いため微細なマルテンサイトを呈する。Cr 4% の試料は V 量低いためやゝ針状マルテンサイト組織を呈する。

[V] タングステンの影響

W 3~9% の影響を見るため第 3 表に示す如き試料を調製した。尚変態点の測定結果をも併記した。C 量が多少異なるため余り明瞭な関係を見ることが出来ないが, 加熱変態の開始及び終了温度はこの範囲の W 量によつては余り変りないようである。炉冷の場合の冷却変態も余り大差ないが, W 量を増す程僅か高い方に移動する傾向にある。又空冷の場合の Ar'' 点は W 量を増す程高い方に移動する。

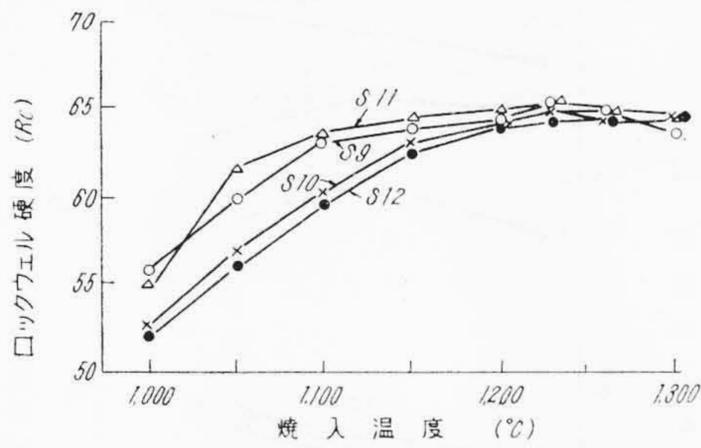
次に各試料の 1,000~1,300°C の焼入温度による硬度の変化を第 8 図に示す。焼入による最高硬度は焼入温度 1,200~1,300°C に於ては余り大差ない。而して何れも 1,230°C に於て最高硬度を示す。次に各試料の焼入温度 1,260°C の場合の焼戻温度と硬度との関係を第 9 図に示す。焼戻による最高硬度は W 約 5% の場合最も高く; W 6% の場合これに次ぐ, 而して W 約 3.4% の試料は最も低い。而して焼戻による最高硬度を示す温度は W 5% 以上は殆ど変りない。次に 1,260°C から油中焼入した試料に就いて前述と同様繰返焼戻の硬度に及ぼす影響を調べた。焼戻 550°C の場合 W 約 3.4% の試料は焼戻 2 回で, 又 W 5~9% の試料は何れも 3 回で最高硬度を示す。又 575°C の場合 W 5% の試料は焼戻 2 回で最高硬度を示す。

次に前述と同様各切削工具試料を 1,200°C, 1,230°C, 1,260°C より油中焼入し, 575°C に焼戻を行い切削試験を行つた。その結果を第 10 図に示す。硬度は各焼入温度

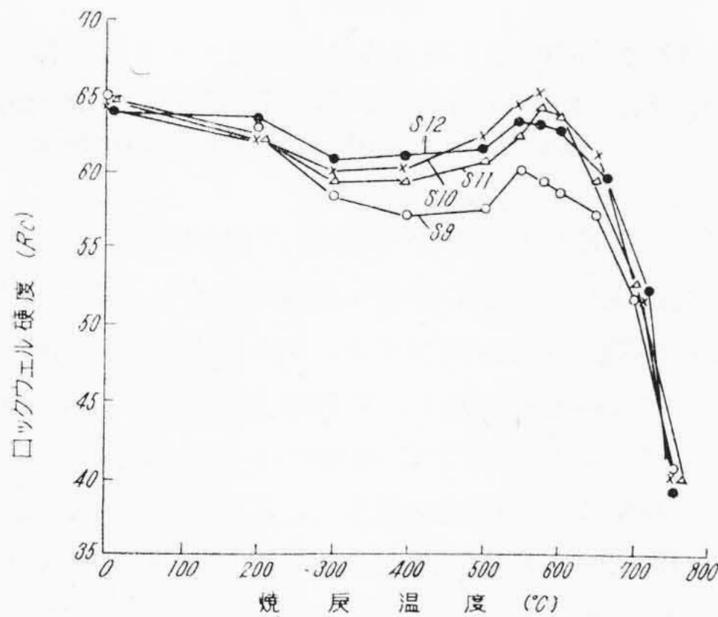
第 3 表 試料の化学成分及び変態点

Table 3. Chemical Composition and Transformation Point of Test Pieces

試料	化 学 成 分 (%)					加 熱 変 態*		冷 却 変 態*			
	C	Cr	W	Mo	V	加 熱 変 態*		炉 冷 (5°C/min)		空 冷	
						開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)
S 9	0.66	3.56	3.37	0.40	1.33	830	860	750	700	270	190
S 10	0.62	3.92	5.04	0.69	1.57	850	875	780	725	255	165
S 11	0.67	3.70	6.29	0.57	1.40	830	860	755	710	310	225
S 12	0.60	3.78	8.87	0.34	1.50	845	870	785	730	340	240



第 8 図 W 量異なる試料の焼入温度と硬度との関係
Fig. 8. Relation between Quenching Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Tungsten Content



第 9 図 W 量異なる試料の焼戻温度と硬度との関係
Fig. 9. Relation between Tempering Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Tungsten Content

共 W 約 5% で最高を示す。一方切削耐久力は初め W 量を増す程増大し, W 約 6% で最高を現わし, それ以上はかえつて減少する。尙 W 約 9% の試料の耐久力低いのは C 量低いためと考えられる。

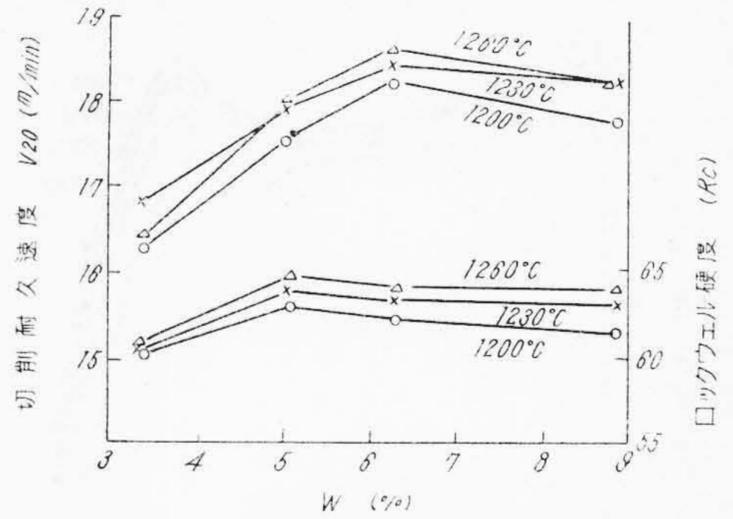
〔VI〕モリブデンの影響

Mo 0.1~1.0% の影響を見るため第 4 表に示す如き試料を調製した。尙変態点の測定結果をも併記した。

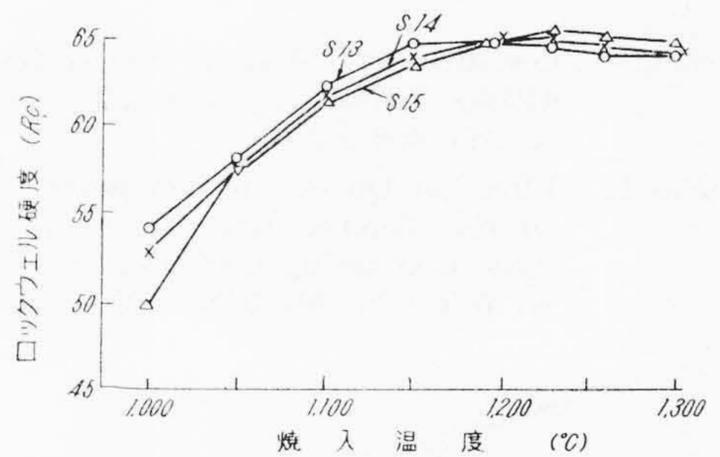
第 4 表 試料の化学成分及び変態点

Table 4. Chemical Composition and Transformation Point of Test Pieces

試料	化 学 成 分 (%)					加 熱 変 態*		冷 却 変 態*			
	C	Cr	W	Mo	V	加 熱 変 態*		炉 冷 (5°C/min)		空 冷	
						開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)
S 13	0.63	3.79	6.15	0.11	1.36	840	870	780	730	300	200
S 14	0.67	4.01	6.97	0.49	1.74	845	875	780	730	310	200
S 15	0.70	3.91	6.74	0.90	1.45	860	890	810	765	260	180



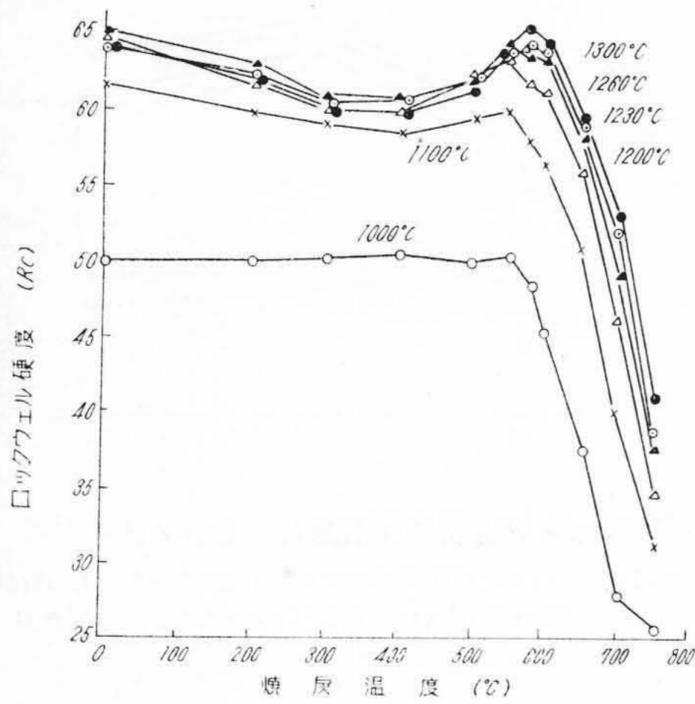
第 10 図 W 量と硬度及び切削耐久力との関係
Fig. 10. Relation between Hardness, Cutting Durability and Tungsten Content



第 11 図 Mo 量異なる試料の焼入温度と硬度との関係
Fig. 11. Relation between Quenching Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Molybden Content

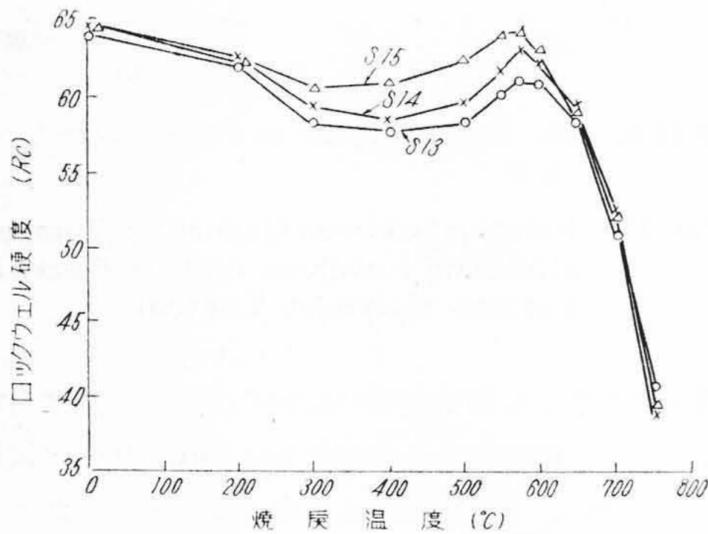
Mo 量を増す程加熱変態の開始及び終了温度は高い方に移動する。炉冷による冷却変態は Mo 0.9% の試料の場合や、高い。一方空冷による場合はかえつて低い。

次に各試料の 1,000~1,300°C の焼入温度による硬度の変化を調べた。その結果を第 11 図に示す。各試料共焼入温度を上昇する程硬度を増大し, Mo 0.1% 及び 0.5% の場合は 1,200°C で, 又 0.90% の場合は 1,230°C でそれぞれ最高硬度を示す。而して 1,150°C までは Mo 量低い程焼入硬度は僅か高いが, 1,200°C 以上は逆に Mo 量高い程硬度は高い。各試料の焼入温度の焼戻硬度



第 12 図 C 0.70%, Cr 3.91%, W 6.74%, Mo 0.90%, V 1.45% 試料の焼入温度の焼戻硬度に及ぼす影響

Fig. 12. Effect of Quenching Temperature on the Temper Hardness of Test Piece Containing C 0.70%, Cr 3.91%, W 6.74%, Mo 0.90%, V 1.45%

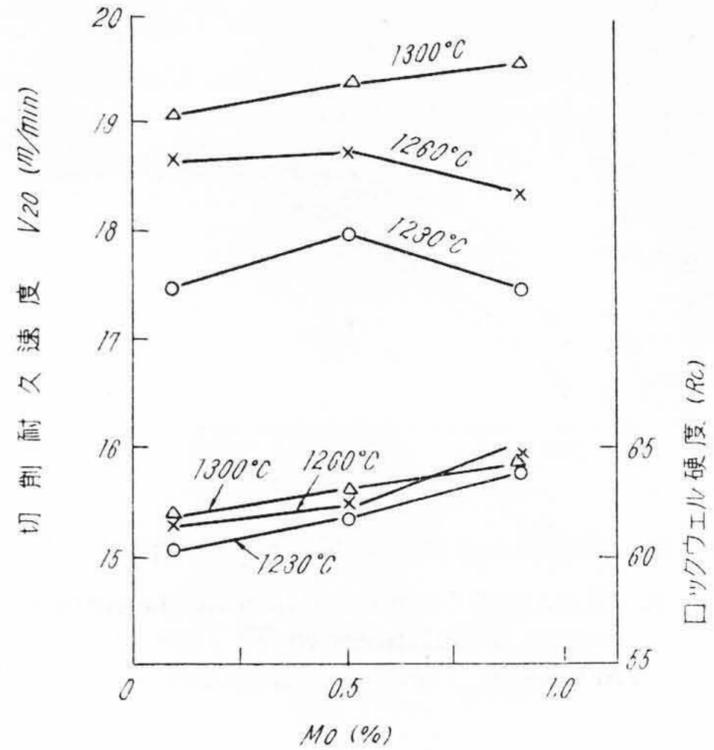


第 13 図 Mo 量異なる試料の焼戻温度と硬度との関係 (焼入温度 1,260°C)

Fig. 13. Relation between Tempering Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Molybden Content

に及ぼす影響を調べた。今 Mo 0.90% の試料に就いての結果を示すと第 12 図の如くである。前述と同様焼入温度を上昇する程焼戻による最高硬度を増大する。而してその最高硬度を示す焼戻温度は焼入温度を上昇する程やゝ高い方に移動する。これが理由も亦前述の通りである。

次に各試料の焼入温度 1,260°C の場合の焼戻温度と硬度との関係を第 13 図に示す。焼戻による最高硬度は Mo 量を増す程増大する。而して Mo 量を増す程焼戻軟化に対する抵抗を増大する。次に 1,260°C から油中焼入した試料に就いて前述と同様繰返焼戻の硬度に及ぼす影響



第 14 図 Mo 量と硬度及び切削耐久力との関係
Fig. 14. Relation between Hardness, Cutting Durability and Molybden Content

を調べた。焼戻温度 550°C の場合 Mo 0.1% 及び 0.5% の試料は 1 回の焼戻の際僅か硬度を減少し、2 回繰返すと再び僅か硬度を増加する。Mo 0.9% の試料は焼戻 1 回でやゝ硬度を増加し、2 回以上繰返えすも殆ど変りない。又焼戻温度 575°C の場合は Mo 0.1% の試料に於ては焼戻 1 回で硬度を減少し、2 回以上で殆ど変りない。Mo 0.5% の場合は殆ど変りなく、Mo 0.9% の場合は 2~3 回で最高硬度を現わし、それ以後は硬度を減少する。

次に前述と同様各切削工具試料を 1,230°C, 1,260°C, 1,300°C より焼入し、何れも 575°C に焼戻を行い、切削試験を行つた。その結果を第 14 図に示す。硬度は各焼入温度共 Mo 量を増す程増大する。切削耐久力は 1,230°C 及び 1,260°C の場合は Mo 0.5% で、又 1,300°C の場合は Mo 0.9% で最高を現わす。尙前述と同様各 Mo 量共焼入温度を上昇する程切削耐久力を増大する。尙各切削工具の顕微鏡組織を観察したが、何れも微細なマルテンサイト組織を呈する。然し焼入温度 1,300°C の場合はやゝ針状マルテンサイト組織を呈する。

〔VII〕 バナジウムの影響

V 0.2~2.0% の影響を見るため第 5 表に示す如き試料を調製した。又変態点の測定結果をも併記した。

V 量を増す程加熱変態の開始及び終了温度は高い方に移動する。又炉冷の場合の冷却変態の開始温度も V 量を増す程高い方に移動する。同様空冷の場合も Ar'' 点は V 量を増す程概ね高い方に移動する。

次に各試料の 1,000~1,300°C の焼入温度による硬度の変化を第 15 図に示す。焼入硬度の最高を示す焼入温度

第5表 試料の化学成分及び変態点

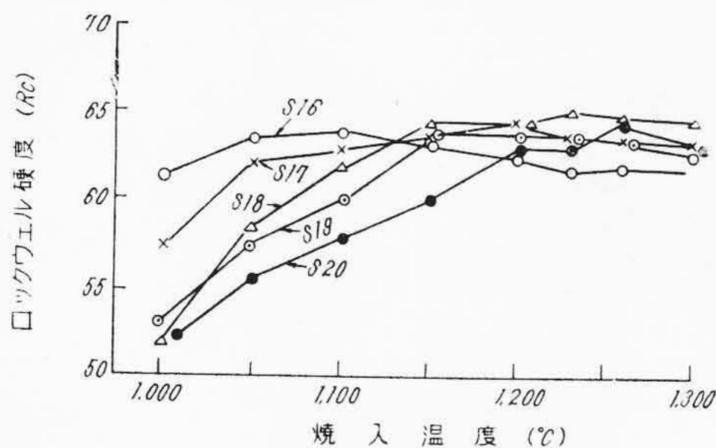
Table 5. Chemical Composition and Transformation Point of Test Pieces

試料	化 学 成 分 (%)					加 熱 変 態*		冷 却 変 態*			
	C	Cr	W	Mo	V	加 熱 変 態*		炉 冷 (5°C/min)		空 冷	
						開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)
S 16	0.68	4.02	5.68	0.97	0.20	835	860	745	720	185	115
S 17	0.66	3.91	6.35	0.42	0.62	840	870	770	725	250	180
S 18	0.67	3.72	6.40	0.60	1.21	845	870	780	750	335	245
S 19	0.65	4.05	7.50	0.36	1.59	845	875	785	715	290	180
S 20	0.71	3.91	6.88	0.59	2.04	850	880	810	745	355	230

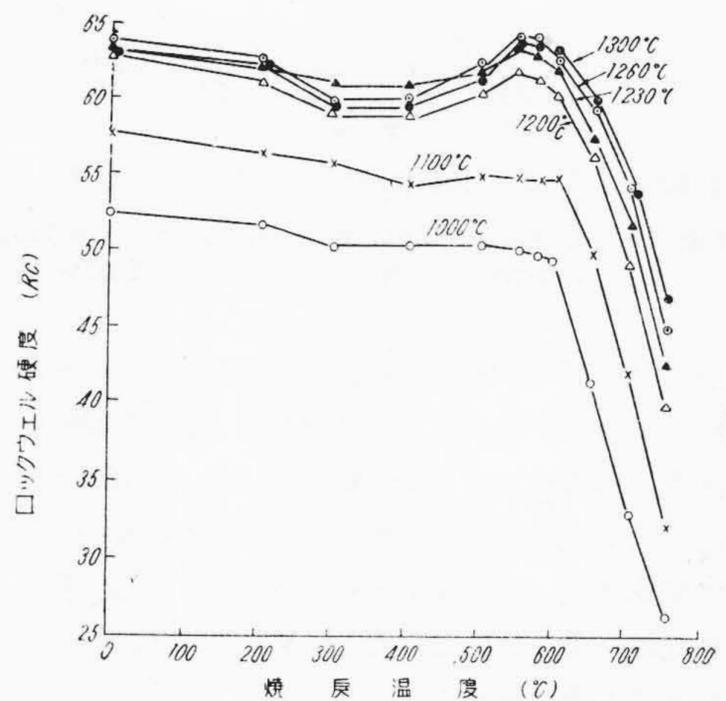
はV量を増す程高い方に移動する。これによりV量を増す程焼入温度を上昇することの必要が首肯される。

次に各試料の焼入温度の焼戻硬度に及ぼす影響を調べたが、今 V 2% の試料に就いての結果を示すと第16図の如くである。焼入温度を上昇する程焼戻による最高硬度を増大する。焼入温度 1,200~1,300°C に於ては余り大差ない。又その最高焼戻硬度を示す焼戻温度は殆ど変わりなく、何れも 550°C である。次に各試料の焼入温度 1,260°C の場合の焼戻温度と硬度との関係を第17図に示す。焼戻による最高硬度は V 0.6~1.2% に存し、それ以上V量高いとかえつて低下する。而して焼戻による最高硬度を示す温度は V 量を増す程概ね低い方に移動する。これが理由も前述の通りである⁽⁵⁾⁽⁶⁾。次に 1,260°C から焼入した試料に就いて前述と同様繰返焼戻硬度に及ぼす影響を調べた。その結果 550°C 焼戻の場合は何れも焼戻1回で僅か硬度を減少し、2回以上は再び硬度を増加し2~3回で極大を示す。575°C の場合は3回附近までは硬度に余り変りなきもそれ以上繰返すと僅か減少する。

次に各切削工具試料を 1,200°C, 1,230°C, 1,260°C より焼入し、何れも 575°C に焼戻を行い切削試験を行った、その結果を第18図に示す。硬度は各焼入温度共V量約0.6%の時最も高くそれ以上はかえつて減少する。切

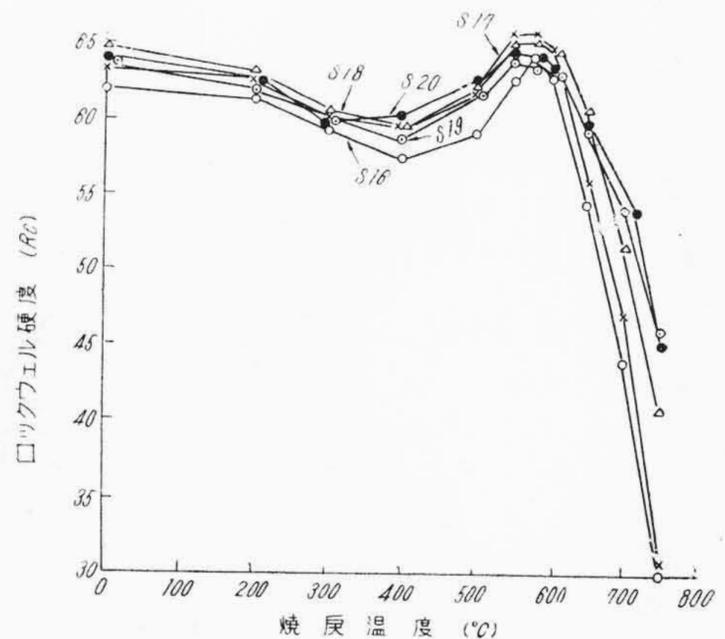


第15図 V量異なる試料の焼入温度と硬度との関係
Fig. 15. Relation between Quenching Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Vanadium Content



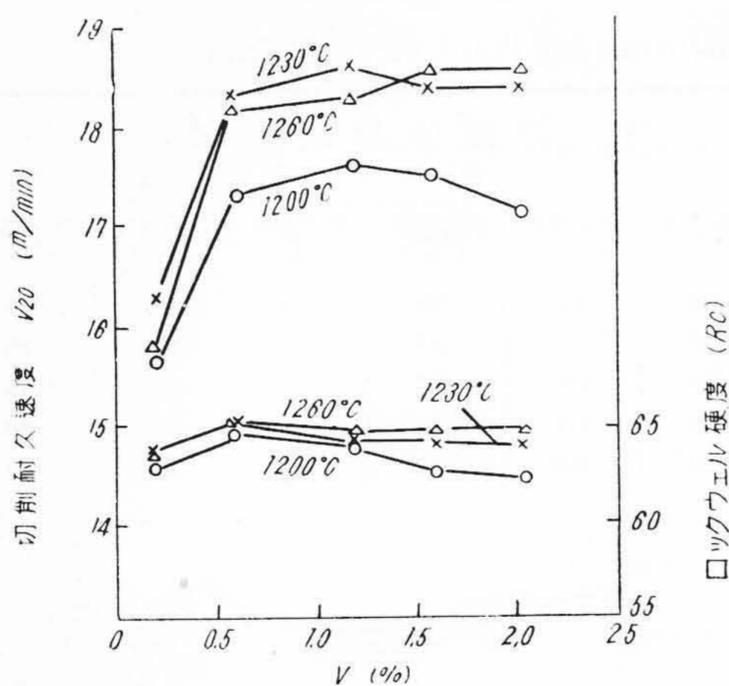
第16図 C 0.71%, Cr 3.91%, W 6.88%, Mo 0.59%, V 2.04% 試料の焼入温度の焼戻硬度に及ぼす影響

Fig. 16. Effect of Quenching Temperature on the Temper Hardness of Test Pieces Containing C 0.71%, Cr 3.91%, W 6.882%, Mo 0.59%, V 2.04%



第17図 V量異なる試料の焼戻温度と硬度との関係 (焼入温度 1,260°C)

Fig. 17. Relation between Tempering Temperature and Hardness of Test Pieces of Various Vanadium Content (Quenching Temperature 1,260°C)



第 18 図 V 量と硬度及び切削耐久力との関係

Fig. 18. Relation between Hardness Cutting Durability and Vanadium Content

削耐久力は V 約 0.6% までは急激に増大し、それ以上は緩慢に増大する。而して 1,200°C 及び 1,230°C の場合は V 約 1.2% で、1,260°C の場合は V 1.6~2.0% で最高を示す。即ち焼入温度を上昇する程最高の耐久力を示す V 量は高い方に存することが窺知される。尚各切削工具試料の顕微鏡組織を見るに V 量高い方は微細なマルテンサイト組織を示す。

[VIII] 結 言

上述の研究結果を要約すると次の通りである。

- (1) C 0.7%, Cr 4.0%, W 7%, Mo 0.5%, V 1.5% を標準成分として C 0.4~1.0%, Cr 2.0~5.0%, W 3.0~9.0%, Mo 0.1~1.0%, V 0.2~2.0% の箇々の元素の影響を調べた。
- (2) 変態点の生起状況、焼入温度及び焼戻による硬度の変化を求め、更に繰返焼戻の影響を実験し、その効果を確認した。
- (3) 実地切削試験を行い、各元素の切削耐久力に及ぼす影響を求め、組成並びに熱処理の影響を確認した。
- (4) その結果この種低タングステン・バナジウム高速鋼の適当な組成を明かにした。即ち C 0.6~0.8%, Cr 3.5~4.5%, W 6.0~8.0%, Mo 0.5~1.0%, V 1.5~1.8% 又熱処理としては 1,260~1,300°C, 焼戻を 550~575°C に施行するのがよい。尚工具の種類によつては焼入温度は 1,230~1,260°C を選ぶ必要がある。

尚熱間用ダイス鋼としてこの鋼種を使用することも薦められる。この場合には焼戻温度は約 600°C が適当である。

参 考 文 献

- (1) 小柴: 日立評論 25, 316 (昭 17)
- (2) 小柴: 鉄と鋼 33 (昭 22) No. 1~3, 22
- (3) 小柴: 鉄と鋼 32 (昭 21) No. 7~9, 9
- (4) 小柴: 日立評論 25, 240 (昭 17)
- (5) 小柴: 日本金属学会誌 10 (昭 22) No. 3~6, 6
- (6) 小柴: 日本金属学会誌 11 (昭 22) No. 7~8, 14

