相よりも非常に大きく、低温度程著しい。Co の $\Delta R/R$ は Fe の加はるに従ひ或る温度では増加し或る温度に於ては減少する。

Fig. 13 Specific Resistance-Concentration Curves for Fe-Co Alloys.

磁場のない時の比電気抵抗対温度曲線を示せば Fig. 12 の如くである。圖に於て横軸は温度、縦軸は比抵抗 ρ で Ω で現してある、尚1目盛が $10 \times 10^{-6} \Omega$ になつてゐる。凡ての曲線は強磁性金屬特有のものでよく知られてゐるものである。これ等の曲線から -195° , 0° , 200° , 400° , 600° , 800° 及び 1000° の ρ を求め Co 含有量に對して

畫がけば Fig. 13 の如くなる。これ等の曲線は多くの研究者⁽⁶⁾ によつて得られたもので本質的に同じである。

IV. 總 括

Fe-Co 二元系合金につき $-195 \sim 1150^\circ$ の温度範圍に於て最高 1600 Oersteds の縦磁場に於ける電気抵抗の變化を測定して次の結果を得た。

(1) 磁氣-抵抗曲線及び磁氣-抵抗對温度曲線の特性は體心立方格子を有する α -相、面心立方格子を有する γ -相、及び六方稠密格子を有する δ -相との3部分に分けられ、曲線は各相に於てそれぞれ互に類似してゐる。

(2) α -固溶體範圍の磁氣-抵抗對濃度曲線は濃度軸に對して凹形をなしてゐる。

(3) 抵抗變化の量は γ -相に於て他の相より非常に大きい。例へば 90% Co を含む合金の -195° に於ける電気抵抗は 1500 Oersteds の縦磁場の作用によつて 3.8% 増加する。この量は本系合金中最大のものである。

終りに臨み本研究の遂行に當つて終始御懇篤なる御指導を忝うした本多名譽教授及び増本教授兩先生に對して謹んで拜謝する。又この研究の一部は齋藤報恩會の補助によつてなされたもので茲に同會に對し深謝する。

(6) A. Kussman B. Sharnow, A. Schulze, Z. tech. Phys., 13 (1932), 449.

低炭素及び高炭素高速度鋼に及ぼすコバルトの影響

小 柴 定 雄*

Sadao Kosiba : The Effect of Cobalt on Low Carbon and High Carbon High Speed Steel. From two series of high speed steel containing various amounts of cobalt, whose carbon contents are extremely low or high, I have measured the tempering hardness after quenching and the durability, and then have observed the change of micro structure. The results of the investigation are as follows:— In the case of the steel containing about 0.2% C, the temper hardness is not fully attained unless the cobalt content becomes higher than about 10%. When the carbon content reaches 1.4%, the quenching hardness of steel is considerably low, but the tempering hardness is high, and increases until cobalt content reaches about 20%. The highest durability is obtained at 20% Co while carbon content goes down to 0.2%, and at 1.3~1.7% Co while carbon content rises to 1.4%. The complex carbide is extremely fine in the former, but it is coarse and numerous in the latter. The hardness is higher in the case of the latter, but the durability is higher in the former when the cobalt content is higher than 15%. Moreover, a series of comparative experiments is carried out of two kinds of high speed steel containing about 18% Co one of which contains about 0.3% C and another, about 0.8%. From the study of the change of hardness and durability due to different heat treatment, it is apparent that the steel of low carbon content shows higher durability as in the case of the former experiment.

(Received April 12, 1934)

I. 緒 言

高速度鋼に Co を添加して耐久力を高めることは既に 1912 年に知られ⁽¹⁾, その後多くの人々によつて種々の研

究が行はれてゐる。Oertel⁽²⁾ は Co 0~9.5% の影響に就いて實驗し, Wallquist⁽³⁾ は V 約 1.5% の高速度鋼に Co を添加すると切削耐久力を著しく向上することが出来る

(1) W. Oertel, A. Grützner, Die Schnelldrehstähle, (1931).

(2) W. Oertel, Stahl u. Eisen, 47 (1927), 2036.

(3) G. Wallquist, Metals & Alloys, 1 (1929), 241.

* 日立製作所安來工場

と述べてゐる。又 d'Arcambal⁽⁴⁾ も Co 5~10% の高速度鋼の要求が著しく増加したことを報じてゐる。菊地氏⁽⁵⁾ は Co 約 15% を含む低 C 高速度鋼の耐久力大なることを述べてゐる。Houdremont, Schrader⁽⁶⁾ は普通高速度鋼に於ては Co 約 17% までは Co 含有量を増す程耐久力を増すことを説いてゐる。著者も Co 高速度鋼の種々の熱処理による硬度及び耐久力に就いて実験^{(7), (8)} を行つたが Co 約 18% までは Co 量を増す程耐久力を増大することを明らかにした。一方 C 量を殆ど含まない W, Co, Fe 合金は所謂時効硬化合金^{(9), (10), (11), (12)} として熱処理によつて著しく硬度を増加し工具材料としても注目せられ、米國等に於ては實用⁽¹¹⁾ されてゐる様である。然し從來の高速度鋼に於ける C 量を極端に低下し、且つ普通に含まれる W 量の程度で Co の如何程にて硬化性を發揮し得るやに就いては菊田博士と著者との研究^{(13), (14), (15)} 以外には殆どなく、又一方極端に高 C にした場合に高速度鋼の炭化物の大きさ、分布並に硬化能に於て Co が如何なる影響を及ぼすかは未だ明らかでない。ましてこれら高速度鋼の熱処理の影響に就いては餘り研究の發表を見ない。

それ故著者はこれらの點を確めるため先づ C 約 0.2 及び 1.4% の 2 種の高速度鋼に及ぼす Co の影響を研究した。尙更に Co 約 18% を含む C 0.3 及び 0.8% の 2 種の高速度鋼に就いて種々の熱処理による硬度及び顯微鏡組織を觀測し且つ實地切削試験を施行し、その比較検討を行つた。

II. 實驗方法

試料は從來⁽¹³⁾と同様タンマン電氣爐にて熔製し 10mm 角の金型に鑄造後 850° に焼鈍した。硬度試料は 10×10×10mm³ でバイトは 10×10×50mm³ とした。各種熱処理による硬度はロックウェルで 3 個所測定し平均値を採つた。

切削試験には前述⁽¹³⁾の 6 呎精密旋盤を用ひた。バイ

(4) A.H. d'Arcambal, Trans. Amer. Soc. Mech. Eng., 53 (1931), 101.

(5) 菊地, 鐵と鋼, 26 (1940), 361.

(6) E. Houdremont, H. Schrader, Kruppsch. Monat., 13 (1932), 1.

(7) 小柴, 本誌, 5 (1941), 295.

(8) 小柴, 本誌, 5 (1941), 351.

(9) W. Köster, W. Tonn, Arch. Eisenhüttenwes., 5 (1931), 431.

(10) W. Köster, Arch. Eisenhüttenwes., 6 (1932), 17.

(11) W.P. Sykes, Metal Progress, 23 (1933), 29.

(12) W.P. Sykes, Metal Progress, 32 (1937), 649.

(13) 菊田, 小柴, 本誌, 7 (1943), 354.

(14) 菊田, 小柴, 本誌, 7 (1943), 408.

(15) 菊田, 小柴, 本誌, 7 (1943), 10 號參照.

トの双形^{(16), (17)} は切削角 80°, 前部間隙角 5°, 横逃げ角 0° である。被切削材料は C 0.27%, Si 0.19%, Mn 0.42%, Ni 3.52%, Cr 1.31% 及び Mo 0.43% の Ni-Cr-Mo 鋼で焼入焼戻してブリネル硬度 350 にしたものである。切削耐久力の判定⁽¹⁸⁾ も前述と同様の方法を採用した。

III. 低炭素及び高炭素高速度鋼に及ぼす Co の影響

(1) 試料

Cr, W, V 及び Mo 量略々一定な C 約 0.2 及び 1.4% の高速度鋼に及ぼす Co 0~30% の影響を見るため第 1 表に示す如き試料を調製した。尙比較の爲 C 量約 0.8% の普通高速度鋼に於ける Co の影響をも見た。その化學成分は第 2 表に示した。

第 1 表

試料	C	Cr	W	V	Mo	Co
X-1	0.21	3.50	18.89	1.75	1.01	0.11
2	0.23	3.45	18.35	1.78	1.11	2.25
3	0.24	3.40	18.29	1.70	1.12	5.29
4	0.21	3.44	18.50	1.74	1.15	11.99
5	0.23	3.50	18.30	1.68	1.08	16.01
6	0.23	3.43	18.01	1.70	1.14	18.83
7	0.25	3.52	18.29	1.72	1.09	24.42
8	0.27	3.43	18.10	1.75	1.10	28.27
Y-1	1.36	3.62	18.30	1.78	1.04	0.53
2	1.46	3.59	18.29	1.69	1.10	1.96
3	1.40	3.40	18.63	1.73	1.18	5.68
4	1.46	3.55	18.73	1.75	1.11	9.64
5	1.43	3.48	18.55	1.68	1.00	12.90
6	1.40	3.45	18.82	1.70	1.08	16.85
7	1.51	3.44	18.79	1.74	1.13	23.79

第 2 表

試料	C	Cr	W	V	Mo	Co
Z-1	0.76	4.00	19.10	1.94	1.91	0
2	0.74	4.06	18.05	1.95	0.99	2.22
3	0.81	4.09	18.69	1.89	1.00	4.50
4	0.84	4.00	17.99	1.75	1.16	10.87
5	0.90	4.16	19.18	1.88	1.10	13.67
6	0.83	3.94	18.95	1.80	1.05	21.44
7	0.83	3.63	19.36	2.00	1.08	24.93

(2) 焼入温度と硬度

C 0.2% の場合の焼入温度 1250°, 1290° 及び 1330° と硬度, C 1.4% の場合の焼入温度 1210°, 1250° 及び 1290° と硬度との關係を第 1, 2 圖に示した。但し焼入はシリット電氣爐を用ひ 1 分保持油中に冷却した。C 0.2% の場合は Co 約 5% までは焼入硬度は極めて低いが,

(16) 菊田, 小柴, 本誌, 4 (1940), 203.

(17) 菊田, 小柴, 本誌, 4 (1940), 262.

(18) 小柴, 日立評論, 25 (1942), 240.

10% 以上は急激に増加し、各焼入温度共 Co 約 20% に於て最高を示す。Co 20% 以上は減少し、焼入温度を上昇する程著しい。尙 Co 約 10% までは焼入温度を上昇する程硬度は高いが、15% 以上は反轉し焼入温度高い程硬度を減少する。これらの現象に就いては Köster⁽¹⁰⁾ の W, Co, Fe 合金の時効現象の研究より推考することが出来る。勿論高速度鋼の場合は Cr, V 及び Mo 等の他の元素を含む爲 W, Co, Fe 合金とはその析出物も異なり必ずしも一致するものではないがその基礎的概念は同様と見られる。Co 5% 以下の焼入硬度の低いのは焼入温度及び

第 1 圖 C0.2% 高速度鋼の Co 量-焼入温度-硬度曲線

第 2 圖 C1.4% 高速度鋼の Co 量-焼入温度-硬度曲線

常温を通じ地は α -鐵をなす爲で焼入温度高い程硬度を僅か増加するは α -鐵中に溶解する複炭化物を増す爲と考へられる。Co 10% 附近で焼入硬度の稍々高いのは焼入温度で $\gamma + \alpha$ の混合よりなり常温に焼入した状態で γ は α に變り複炭化物を溶解した麻留田的組織を生じ、焼入温度で α 状態をなしてゐたものは常温でも前述の如く α で結局 α -鐵と麻留田的組織よりなる爲である。又 Co 15% 以上硬度の著しく高いのは焼入温度に於て γ 状態を呈しこれが常温に焼入すると複炭化物を過飽和に溶解した α -相即ち麻留田的組織をなす爲である。而して Co 約 30% も多く含有すると焼入温度及び常温を通じ γ の状態を呈する爲硬度は極めて低いのである。

次に C1.4% の場合は Co 約 5% 附近で焼入硬度の最高を現しそれ以上は減少する。而して焼入温度 1210° 以上温度を上昇する程焼入硬度を減少する。この種高 C 高速度鋼は後述する如く多量の複炭化物を有し、これが大洲田中に溶解し焼入によつて多量の麻留田を残留する。又焼入温度を上昇する程大洲田中に固溶する複炭化物の量を増し、且つ残留大洲田を増す爲硬度を減少するのである。

(3) 焼戻温度と硬度

各焼入温度の試料の焼戻温度と硬度との關係を調べたが、焼入温度 1290° の場合の結果を第 3, 4 圖に示した。

第 3 圖 C0.2% を含む Co 量異なる焼入高速度鋼の焼戻温度と硬度との關係 (焼入温度 1290°)

第 4 圖 C1.4% を含む Co 量異なる焼入高速度鋼の焼戻温度と硬度との關係 (焼入温度 1290°)

第 5 圖 C 約 0.8% を含む Co 量異なる焼入高速度鋼の焼戻温度と硬度との關係 (焼入温度 1300°)

は次の如く考へられる。即ち Co 5% 以下の場合は前述の如く焼入状態で複炭化物を溶解した α -鐵をなし W, Co, Fe 合金と同様 600~650° 附近までは複炭化物の析出は起らない。650° 以上は複炭化物を析出する爲急激に硬度を増すのである。又 Co 10% の場合も前述の如

尙比較の爲 C 約 0.8% の場合の Co 量による焼戻温度と硬度との關係を第 5 圖に示した。C0.2% の場合 Co 約 5% まではその焼戻曲線は略々同様で 650° 附近までは餘り硬度の變化なくそれ以上は急激に増加し約 750° 附近で極大を示す。Co 約 10% の時は 500° 附近より硬度増加を現し約 700° で極大を示す。Co 15% 以上は焼戻による最高硬度を著しく増大し約 20% の場合その最高硬度は最も高い。而して Co 約 25% までは Co 含有量を増す程極大硬度を示す温度は稍々低い方に移動することが判る。Co 約 30% の場合は 500° 附近より漸次硬度を増加し 800° に於ても尙硬度を増加する。然しその硬度は他の場合に比較して極めて低い。これらの現象に就いて

く焼入状態で多少の過飽和麻留田と α -鉄よりなり従つて焼戻により兩者より複炭化物を析出し、その極大硬度を示す温度は α -鉄のみからの析出の場合より低い。而してその硬度は高い。Co 15~25% に於ては焼入状態で複炭化物を過飽和に溶解した麻留田の組織をなす爲これが焼戻によつて 500° 附近より硬度増加を現し 600° 附近で極大硬度を示すのである。Co 約 30% の場合には焼入状態で γ 状態をなし、 γ に溶解してゐた複炭化物を 500° 附近より析出し硬度を増大するのである。C 1.4% の場合には孰れも 500° 附近より急激に硬度を増加し Co 約 17% までは Co を増す程焼戻による極大硬度を現す温度を稍々低い方に移動する。又焼戻による極大硬度は Co 約 13% で最高を示す。Co 約 25% の場合は極大硬度は稍々低く且つその温度も稍々高い方に移動する。この種高 C 高速度鋼に於ては複炭化物の含有量多く又 Co 含有量多い程大洲田に溶解する複炭化物の量を増し焼戻によつて著しく硬化するのである。尙 C 0.8% の場合には Co 含有量を増す程概ね焼入硬度を減少するが、焼戻による極大硬度は Co 約 20% で最高を現し、しかもその温度は寧ろ高い方に移動するのである。即ち低 C 高速度鋼の場合とその傾向が相反するのである。

第 6 圖 X-3 試料の焼入温度-焼戻温度-硬度曲線

第 7 圖 X-6 試料の焼入温度-焼戻温度-硬度曲線

度も高い。これは前に述べた理由により明らかである。

Co 20% の場合には焼入温度によつて大差ない。C 1.4% の場合には Co 5 及び 25% 兩者共焼戻による極

第 8 圖 Y-3 試料の焼入温度-焼戻温度-硬度曲線

第 9 圖 Y-7 試料の焼入温度-焼戻温度-硬度曲線

大硬度は焼入温度を上昇する程高い。但し Co 25% の時は 1250° と 1290° とは殆ど大差ない。又その極大硬度を示す温度も孰れも殆ど變りない。

(4) 焼戻時間の影響

低 C 及び高 C の試料をそれぞれ 1300° 及び 1250° より油中焼入し、

600°, 650° 及び 700° に於ける焼戻時間と硬度との關係を調べた。C 0.2% の場合の結果を第 10~12 圖に、C 1.4% の場合の結果を第 13~15 圖に示す。C 0.2% の焼戻温度 600° の場合には Co 約 5% までは焼戻時間により硬度の増加は極めて少なきも Co 10% になると稍々硬度の増加も多くなり、15% 以上はその影響著しく、25% になると最初 8 時間位までは殆ど直線的に増大しそれ以上は緩慢になる。更に Co 30% 近くなると硬度の増加は再び極めて緩慢になる。これらの理由は前に示した焼戻温度と硬度との關係からも明らかで前に述べたと同様に説明することが出来る。又 650° 及び 700° に於ける曲線圖に就いても同様の説明が出来る。尙これら 3 種の温度に於ける焼戻時間と硬度との關係曲線から明らかなる如く、Co 5% 以下は孰れも時間と共に硬度を増加するも 10% 以上は焼戻温度を上昇する程短時間で極大硬度に達する。但し Co 約 30% の場合は各温度共 8~10 時間で極大を現す。これらの理由も前に述べた通りである。C 1.4% の場合焼戻温度 600° の時には孰れも最初急激に硬度を増加し Co 約 10% までは Co を増加する程最高硬度を示す時間は短い方に移動し 10~17% に於ては殆ど變りなく最初 3 時間で極大硬度に達する。又

Co 24% に於ては最初 6 時間までは急激に増加しそれ以上は緩慢である。尚 Co 量を増加する程焼戻による極大硬度は高い。焼戻温度 650° の場合には Co 約 10% まで

(5) 切削 耐 久 力

C 0.2 及び 1.4% の切削工具試料の熱処理と硬度を第 3 表に、その切削試験の結果を第 16, 17 圖に示した。尚

第 10 圖 Co 量異なる 0.2% C 高速度鋼の 600° に於ける焼戻時間と硬度との関係 (焼入温度 1300°)

第 11 圖 Co 量異なる 0.2% C 高速度鋼の 650° に於ける焼戻時間と硬度との関係 (焼入温度 1300°)

第 12 圖 Co 量異なる 0.2% C 高速度鋼の 700° に於ける焼戻時間と硬度との関係 (焼入温度 1300°)

第 13 圖 Co 量異なる 1.4% C 高速度鋼の 600° に於ける焼戻時間と硬度との関係 (焼入温度 1250°)

第 14 圖 Co 量異なる 1.4% C 高速度鋼の 650° に於ける焼戻時間と硬度との関係 (焼入温度 1250°)

第 15 圖 Co 量異なる 1.4% C 高速度鋼の 700° に於ける焼戻時間と硬度との関係 (焼入温度 1250°)

は最初 1 時間で、13% 以上は 2~3 時間で極大硬度に達する。700° の場合には孰れも最初 1 時間で極大硬度に達しそれ以上は時間と共に減少する。而して Co 含有量を増す程焼戻軟化の抵抗大である。

第 3 表

試料	焼入 硬 度	焼 戻 (1)		再 び 625° 再 焼 戻 (2)	再 び 625° 再 焼 戻 (3)
		温 度	硬 度		
X-1	25.8	700	43.3	—	—
2	25.8	700	44.2	—	—
3	26.3	700	45.1	—	—
4	40.6	650	52.9	—	—
5	50.1	600	62.2	65.0	64.5
6	52.9	600	67.7	67.8	67.5
7	51.0	600	62.3	67.5	66.9
8	32.9	750	37.8	—	—
Y-1	52.7	625	65.5	66.5	—
2	52.6	625	66.1	67.3	—
3	57.0	625	67.6	67.8	—
4	54.3	625	67.2	68.3	—
5	54.0	600	67.1	68.8	—
6	47.3	600	67.6*	68.9	—
7	48.0	600	66.6	69.7	—

+ X 試料 1300°, Y 試料 1250°

* 2 面繰返焼戻の硬度

第 16 圖 C 0.2% 高速度鋼の Co 量と硬度及び切削耐久力

第 17 圖 C 1.4% 高速度鋼の Co 量と硬度及び切削耐久力

示す。C 0.2% の場合には Co 10% 以下は硬度が低く切削不能にして焼戻 2 及び 3 回共 Co 約 20% で最高を現す。

比較の爲の C 0.8% の場合の結果を第 4 表及び第 18 圖に示す。但しバイトは C 1.4% の場合は 1250° より、C 0.2 及び 0.8% の場合は 1300° に 1 分保持 (浸漬時間を 3 分 30 秒) 油中焼入し各適當温度に焼戻した。切削耐久力は孰れも 2 回試験の平均値を示す。

又 Co 30% 附近に於ては前述の如く硬度極めて低く切削に堪へ得ない。写真 1, 2 は C 0.2% の場合の Co 0.11 及び 5.29% の時のバイトの組織を示し、孰れも地は α -

第 4 表

試料	焼入 硬 度	焼 戻 (1)		再び同温 度焼戻 (2)	焼 戻 (3)	
		温 度	硬 度		温 度	硬 度
Z-1	66.0	575	66.2	65.5	—	—
2	66.2	550	65.4	65.3	—	—
3	65.0	575	66.3	66.0	—	—
4	65.0	575	67.1	67.2	600	66.9
5	62.7	575	65.5	66.4	610	66.5
6	58.5	600	63.5	68.3	625	68.0
7	46.3	625	57.9	69.0*	650	67.4

* 3 回繰返の硬度

第 18 圖 C 約 0.8% 高速度鋼の Co 量と硬度及び切削耐久力との関係
相をなし微粒複炭化物を析出してゐるのが見られる。従つて硬度は前述の如く著しく低いのである。写真 3 は Co 約 16% を含む場合で地は麻留田の組織をなし、微細な複炭化物粒子を多量に析出してゐる。従つて硬度も高く耐久力も高いのである。写真 4 は Co 約 30% を含んだ場合のバイトの組織を示し地は前述の如く γ -

相を呈し硬度が低く異常組織をなし従つて耐久力も低い。C 1.4% の場合には切削耐久力は Co 含有量を増加する程初め急激に増加し焼戻 1 回の場合は Co 約 13%、焼戻 2 回の場合は約 17% で最高を示す。それ以上は却つて減少する。写真 5, 6, 7 及び 8 は C 約 1.4% の Co 量約 0.5, 5, 10 及び 13% の場合のバイトの組織を示したもので孰れも針狀麻留田と粗大な複炭化物とよりなる。尙 C 0.2 及び 1.4% の高速度鋼の比較を見るに Co 約 15% 以上に於ては C 量低い方耐久力大なることが確認される。又 C 0.8% の場合は Co 約 15% までは比較的急激に耐久力を増すもそれ以上は緩慢となり Co 約 20% で最高を示す。これらの研究結果により高速度鋼の C 量を増す程有効なる Co 含有量は低い方に移動することが判る。而して前述の通り Co 約 15% 以上に於ては C 量低い方概ね耐久力大である。従つて従來の高 Co (14~16%) 高速度鋼の C 量 0.6~1.0% となつてゐるのは不適當であることが首肯出来る。

IV. Co 約 18% を含む C 0.3 及び 0.8% 高速度鋼の熱処理による性質の變化

上述の研究により C 約 0.8% 以下の C 量に於ては Co 約 18% 附近が適當なることを確めたので第 5 表に示す如き Co 約 18% を含む炭素量異なる 2 種の高速度鋼を高周波誘導電気爐で熔製し 150kg 鋼塊を造り、これを 16mm 角に鍛鍊した。硬度試験の試料は 16 × 16 ×

写真 1 X-1 Co 0.11%
1300° 焼入, 700° 焼戻
× 500

写真 2 X-3 Co 5.29%
1300° 焼入, 700° 焼戻
× 500

写真 3 X-5 Co 16.01%
1300° 焼入, 625° 焼戻 (3 回)
× 500

写真 4 X-8 Co 28.27%
1300° 焼入, 750° 焼戻
× 500

写真 5 Y-1 Co 0.53%
1250° 焼入, 625° 焼戻 (2 回)
× 500

写真 6 Y-3 Co 5.68%
1250° 焼入, 625° 焼戻 (2 回)
× 500

写真 7 Y-4 Co 9.64%
1250° 焼入, 625° 焼戻 (2 回)
× 500

写真 8 Y-5 Co 12.90%
1250° 焼入, 625° 焼戻 (3 回)
× 500

16mm³である。写真 9, 10 は兩者の焼鈍のまゝの顕微鏡組織を示す。複炭化物粒子は高 C の場合粗大である。

第 5 表

試料	C	Si	Mn	Cr	W	V	Mo	Co
A	0.80	0.02	0.42	4.43	21.37	2.05	0.78	18.36
B	0.28	0.09	0.20	3.89	24.68	0.77	0.95	18.52

写真 9 A. 焼鈍のまゝ
×500写真 10 B. 焼鈍のまゝ
×500

(1) 変態点の測定

A 及び B 試料の変態温度を知るため本多式熱膨脹計を用ひ測定を行つた。その結果は第 19 圖に示す。兩者

(1).....緩徐冷却(1°/min)
(2).....空中冷却

第 19 圖 A 及び B 鋼の熱膨脹曲線

共加熱變態は比較的廣い範圍に亘つて生起し、且つ兩者共加熱變態の開始及び終了温度は殆ど變りない。而して冷却の際の變態温度は緩徐及び空中冷却共低 C の場合の方高い。尙低 C の場合も高 C の場合と同様 900° 以上の高温に於ては大洲田組織を呈することが判る。

(2) 焼入温度及び保持時間と硬度

第 20 圖 Co 約 18% を含む C 0.3 及び 0.8% 高速度鋼の焼入温度と硬度との關係

1000~1350°の焼入温度による硬度の變化を第 20 圖に示した。但し保持時間を 1 分(浸漬時間を 3 分とした)とし油中に焼入した。C 0.8% の場合は 1250°で最高硬度を現しそれ以上は急激に減少する。C 0.3% の場合は

1200°以上は緩慢なるも尙増加の傾向を示す。これらの理由は前述の如く前者は 1250°附近で焼入による麻留田の量最も多い爲硬度最も高く、それ以上は残留大洲田を増加する爲減少するのである。後者の低 C の場合は複炭化物を過飽和に溶解した α 晶即ち麻留田的狀態を呈するのである。

次に 1200~1350° の數種の焼入温度に於ける保持時間と硬度との關係を求めた。その結果は第 21 圖に示す。

第 21 圖 A 及び B 試料の焼入温度と保持時間及び硬度との關係

C 0.8% の場合には焼入温度 1200° の時は保持時間によつて餘り變化なきも、1250° 以上は保持時間の増加と共に稍々硬度を減少する。1350° に於ては特にその影響著しい。これは前述の如く焼入温度を上昇する程大洲田結晶粒を發達せしめより多く複炭化物を固溶し、焼入によつて多量の大洲田を残留する爲である。低 C の場合には各焼入温度共保持時間によつて殆ど變りない。その理由は前述の通りである。写真 11, 12 は兩試料の 1300° よ

写真 11 A. 1300° 焼入のまゝ
×500写真 12 B. 1300° 焼入のまゝ
×500 写真 13 B. 1300° に 5 分保持焼入
×500

り油中焼入したまゝの組織を示したもので前者は稍々粗大な大洲田組織をなし、後者は複炭化物を過飽和に溶解した麻留田の組織を示す。写真 13 は低 C の場合の 1300° に 5 分保持した場合の組織で写真 12 と比較して餘り變りない。従つて硬度も大差ないのである。

(3) 焼戻温度と硬度

1000~1350° の数種の焼入温度による焼戻温度と硬度との関係を第22圖に示した。C 0.8% の場合には焼

第22圖 A及びB試料の数種の焼入温度による焼戻温度と硬度との関係

入温度を上昇する程焼戻による極大硬度を増大するが、1350°の時は稍々低い。而して極大硬度を示す焼戻温度は焼入温度を上昇する程高い方に移動する。これは焼入温度を上昇する程大洲田中に溶解する複炭化物の量を増しその大洲田を安定ならしめ且つ残留大洲田を増す爲である。而して1350°になると結晶粒粗大となり極大硬度を減少するのである。C 0.3% の場合に於ては焼戻による極大硬度は焼入温度を上昇する程増大し、1300°以上は緩慢である。而してその極大硬度を示す温度は餘り變りない。この低C高速鋼の場合には1000°の時を除いては孰れも600°に於て最高硬度を示す。これは焼入状態で前述の如く複炭化物を過飽和に溶解した α -晶即ち麻留田の組織を示しこれが焼戻によつて複炭化物を析出する爲である。尙1300°以上の焼入温度に於ては焼戻による最高硬度は低Cの方稍々高い。而して低Cの場合には高Cの場合に比較して高温まで高硬度持続性を有することが判る。寫眞14, 15はC 0.8及び0.2% 試料

寫眞14 A. 1300° 焼入
600° 焼戻(3回) ×500

寫眞15 B. 1300° 焼入
600° 焼戻(2回) ×500

の1300°より焼入し、600°に焼戻(前者は3回、後者は2回繰返す)した場合の組織を示したものである。前者は稍々粗大な針状麻留田と粗大な複炭化物粒子よりなり、後者の複炭化物粒子は前者に比して微細である。

(4) 焼戻温度と加熱時間との関係

兩試料を1300°より油中に焼入しこれを550°, 600°及び650°の各温度に焼戻しその焼戻時間と硬度との關

係を求めた。その結果は第23圖に示す。兩者共焼戻温度高い程最高硬度に短時間で達するもその最高硬度は低い。焼戻温度550°の場合には兩者共時間と共に増加するも、600°の場合には高Cの場合には約3時間で、低Cの場合には約2時間で最高硬度に達する。650°の場合には前者は1時間、後者は30分で最高に達し、而して前述の如くその硬度は後者の方高い。

第23圖 A及びB試料の550°, 600°及び650°に於ける焼戻時間と硬度(焼入温度1300°)

(5) 連続焼戻と繰返焼戻の影響

焼入温度1300°, 焼戻温度600°に一定とし連続焼戻と繰返焼戻との比較を行つた。第24圖の左圖は兩試料の

第24圖 A及びB試料の連続及び繰返焼戻による硬度の變化(焼入温度1300°, 性戻温度600°)

連続焼戻時間と硬度との関係を示したもので高CのA試料に於ては30~120分の連続焼戻を行ふも硬度に殆ど變りなく且

つその値も焼入硬度に比較して僅かに高い。これに對し低CのB試料に於ては連続焼戻時間を増す程稍々硬度を増加する。而して焼入の際の硬度に比して著しく高い。又右圖は1回の焼戻時間を60分とした場合の焼戻回数と硬度との関係を示したものである。高Cの場合には焼戻2回で、又低Cの場合には1回で殆ど最高に近い硬度を現す。1回の焼戻時間を30分及び120分として繰返した場合も略々同様の曲線圖を示す。これらの圖より高Cの場合には焼戻時間長くても焼戻1回では充分なる焼戻硬化の現象を示さない。2回以上繰返してはじめて最高硬度に達するのである。一方低Cの場合には短時間でも1回の焼戻で著しく焼戻の硬化現象を現し2回以上繰返しても餘り變りない。而してその硬度の値もC量低い方前述の如く高い。これはC量高い場合には前述の如く複炭化物の結晶粒も大きくこれが大洲田に固溶するとその大洲田を安定にするのである。これに反しC量低い場合には大洲田に固溶する複炭化物の結晶粒は比較的微細にして、而して焼入によつてこれら複炭化物を過飽和に溶解した麻留田の状態をなし、従つて1回の焼戻

によつてこれら複炭化物の析出を生じ著しい硬化現象を呈するものと考へられる。

(6) 切削耐久試験

バイトの大きさは $16 \times 16 \times 100 \text{ mm}^3$ で切削角は^{(16), (17)} 75° の剣バイト型を使用した。被切削材料は $\text{C } 0.25\%$, $\text{Si } 0.22\%$, $\text{Mn } 0.36\%$, $\text{Ni } 3.25\%$, $\text{Cr } 0.67\%$ の NiCr 鋼で焼入焼戻してブリネル 360 にした。

先づ 1250° , 1300° 及び 1350° の 3 種の焼入温度に 1 分保持 (浸漬時間 6 分) 油中焼入し、 600° に 1 時間焼戻した。その焼入温度による硬度及び切削耐久力との関係を

第 25 圖 A 及び B 試料の焼入温度と硬度及び切削耐久力との関係 (焼戻温度 600°)

示した。兩者共硬度は焼入温度を上升する程増大する。耐久力も同様焼入温度を上升する程増大する。これは焼入温度を上升する程大洲田中に複炭化物の固溶する量多く、従つて焼戻による硬度も高く且つ高温に於ける硬度持続性大なるためである。

次に焼入温度を 1330° 一定とし、 550° , 600° 及び 650° の 3 種の焼戻温度による切削耐久力の變化を測定した。その結果は第 26 圖に示す通りである。

第 26 圖 A 及び B 試料の焼戻温度と硬度及び切削耐久力との関係 (焼入温度 1330°)

兩者共焼戻温度 550° では硬度低く且つ耐久力も低く、 600° に於て最高の耐久力を示し 650° に於ても 600° に匹敵する耐久力を現す。

次に同一熱処理のバイトに就いて低 C 及び高 C 高速度鋼の耐久力の比較を行つた。その結果を第 6 表に示した。明らかに各熱処理共低 C の方高 C の場合より耐久

力の優ることが判る。これが理由は低 C の場合は前述の如く高温度まで高硬度保持性を有し焼戻軟化に對する抵抗が大であると同時にその顯微鏡組織より明らかに複炭化物粒子は比較的微細で且つ均一に分布してゐる爲に附が良好で従つて耐久力を増すものと考へられる。

第 6 表

熱 處 理 (焼入/焼戻)	切削速度 (m/min)	切 削 時 間*	
		A	B
$1250^\circ/600^\circ$	37.5	3分 10秒	5分 36秒
$1300^\circ/600^\circ$	37.5	4 44	6 38
$1350^\circ/600^\circ$	37.0	6 12	7 32
$1330^\circ/550^\circ$	36.5	7 1	11 3
$1330^\circ/600^\circ$	41.2	4 35	7 14
$1330^\circ/650^\circ$	46.5	3 2	4 38

* 切込みの深さ 1.0 mm, 送り量 0.5 mm

V. 結 論

上述の研究結果を要約すると次の通りである。

- (1) 18-4-2 型の C 約 0.2 及び 1.4% の高速度鋼に及ぼす Co 0~30% の影響を硬度、顯微鏡組織及び實地切削試験により研究した。
- (2) C 0.2% の場合は焼入温度 1250° , 1290° 及び 1330° , C 1.4% の場合には 1210° , 1250° 及び 1290° の 3 種の温度による焼入硬度及び焼戻硬度の變化を測定し且つその理由を理論的に説明した。
- (3) 焼戻温度 600° , 650° 及び 700° に於ける焼戻時間と硬度との關係を詳細吟味しその Co の影響を明らかにした。
- (4) C 0.2% に於ては Co 約 18~20%, C 1.4% の場合は約 13~17% で最高の耐久力を現す。尙 C 0.8% の場合と關聯し C 量高い程有効且つ適當なる Co 含有量は低い方に移動することを確認した。
- (5) Co 約 15% 以上に於ては C 0.2% の場合の方 1.4% の場合より耐久力が高い。
- (6) Co 約 18% を含む C 約 0.3 及び 0.8% の 2 種の高速度鋼を實地試製し種々の熱処理による硬度及び耐久力の比較検討を行つた。
- (7) C 0.3% の場合と 0.8% とはその焼戻機構を異にし、前者の方後者より耐久力大なることを確めた。又その顯微鏡組織を観測しその理由を明らかにした。而して低 C の場合には複炭化物の結晶粒子は微細且つ均一なるに對し、高 C の場合には粗大な複炭化物粒子を多量に存する。

終りに臨み本研究を遂行するに當り終始懇篤なる御指導と御鞭撻を賜はりたる日立製作所安來工場長菊田多利男博士に對し衷心より深厚なる敬意と感謝の意を表する。