

タングステン資源の活用について(I)

河合正吉*

UEBER DIE ANWENDUNG DES WOLFRAMHILFSMITTELS (I) DER LABORATORIUMSVERSUCH UEBER DIE WOLFRAMHALTIGEN BAUSTAEHLE

Masayosi Kawai

ZUSAMMENFASSUNG:—Es ist wohl bekannt, dass die Wolframvorkommen im Grossostasien sehr reich ist. Unter dem heutigen Verhältnis ist es unumgänglich notwendig den Plan zu machen, dass man einmal positiv diesen Wolframhilfsmittel verschiedentlich anwendet und andersmal negativ andere Hilfsquellen damit erspart. Zum Beispiel muss man das Wolfram für die Baustähle verwenden und das Nickel sowie das Molybdän ersparen.

Diesen propädeutische Versuch hat dieser Anschauung ungefähr gewiss gemacht; und als das wichtige Ergebnis ist gegeben worden die Tatsache, dass das für die Baustähle rationell zu legierende Wolframingewicht zwischen die effektive Untergrenze 0.5% und die praktische Obergrenze 1.0% liegt. Und vom Standpunkt der Stahlherstellung muss man fordern, dass besonders für die Baustähle man anstatt des üblichen Ferrowolfram das relativ niedrigprozentige Ferrowolfram von etwa 30 bis 40% W herstellen muss, das den Schmelzbetrieb wegen kleineren spezifischen Gewichts und des niedrigeren Schmelzpunktes leichter macht.

I. 緒 言

ニッケル節約鋼としては、今日の處、主としてクロム-モリブデン鋼が研究され、既に實用に供せられつゝある状況である。然らばクロム-モリブデン鋼が何が故に採用されたかと云ふに、著者の考ふる處では、それが他の鋼種に比し比較的優秀なる性質を具有し、然も早くより獨逸に於て研究され實用に供せられつゝあつた事實と、ニッケルの節約鋼への轉換の機運が現れた當時、モリブデンの貯藏が相當にあつた事に依るものとしてゐる。然し源無き貯藏のみ頼る事は極めて危険であり、貯藏は豫備として意味を有するに過ぎない。従つてクロム-モリブデン鋼の全面的採用は、我が國に於ては間に合せの手段に過ぎない事は、著者の早くより強調して來た處である。獨逸、米國等に於ては各資源に對して所謂「不足度係數」を定め、或資源に依る他の資源節約効果を不足度係數に依る計算を以て判定し、各資源の均衡に萬全を期してゐるが、以つて他山の石となすべきである。

大東亞地域に於けるモリブデン及タングステン資源を概括すれば、前者が極めて貧弱なるに反し、後者は全世界の過半を占めるものと云ふ事が出来る。タングステンは今日迄は、主として工具鋼乃至熱間工具にのみ合金元素として利用されてゐたに過ぎないが、將來大東亞地域の資源活用の見地から、積極的には更に大なる利用範圍を見出し、消

極的には他の不足資源の節約を計る事が重要である。

この考への實行の可能性を確める爲に、クロム-タングステン鋼及クロム-マンガン-タングステン鋼に就て實驗室的な研究を施行し、引續き行つた工業的研究の豫備試験たらしめんとしたのである。

II. モリブデン及タングステン 資源の賦存情況

極めて貧弱な資料によりモリブデン及タングステン資源に就て概観する事とする。

蓋し獨逸がクロム-モリブデン鋼を採用したのは、それが優秀なる性質を有する以外に、第1表の如く、諸國のモリブデン資源に確固たる基礎を有する事に想を致さなければならぬ。

第1表 モリブデン産額比率

年次	總額	米國	墨西哥	諾威	朝鮮	ベル	濠大陸	支那	其他
1936	8917t	87.4	6.0	4.7	0.5	0.1	0.1	—	1.2
1938	16300t	92.6	3.0	2.7	—	0.5	0.3	0.7	0.2

翻つて大東亞地域に於けるモリブデン産出情況は如何。第2表には我が國に於ける産額は省略してあるが、何れにしてもその資源は極めて貧弱であり、然も上表中兩産地共に未だ敵性地域に屬してゐる情況である。

第2表 1938年大東亞モリブデン産額

産地	支那	濠大陸	計
産額t	120	59	179
世界比率%	0.7	0.3	1.0

他方タングステンは周知の通り、その資源が大東亞地域

* 三菱製鋼會社長崎製鋼所

に偏在し、世界産額の70%以上を産出する。(第3表及第4表参照)。

第3表 6%酸化タングステン精錬産額比率

年次	總額	支那	ビルマ	米國	ボルネオ	ポリネシア	馬來	アルゼンチン	濠洲	佛印	其他
1937	3 8000	47.1	15.6	8.4	5.4	4.7	3.2	2.8	2.4	1.7	8.7
1938	3 7000	36.2	9.2	7.5	7.6	6.8	2.8	2.8	2.7	1.9	22.5

第4表 1938年大東亞タングステン産額(總額25072t)

産地	支那	ビルマ	馬來	佛印	泰	濠洲	大	タスマニア	ニューカレドニア	印度
順位	1	2	3	5	7	4	6	8	9	
世界比率%	70.4					3.6				

モリブデン及タングステン資源の賦存状況を概括すれば兩者共に殆ど太平洋の沿岸地方に偏在し、然もその東岸地域にモリブデン鑛、西岸地方にタングステン鑛の多額の産出を見るものと云ふ事が出来る。

かく觀じれば、タングステンは今日迄は主として工具鋼乃至熱間工具にのみ合金元素として活用されてゐたに過ぎないが、大東亞地域に於ては、他の地域に比し、鑛産資源の乏しき事を考慮すれば、將來大東亞地域に於ける資源活用の見地から、積極的には更に大なる利用範囲を見出し、消極的には他の不足資源の節約を計る事が、如何に重要なかが容易に了解されるであらう。

III. 含タングステン鋼に関する 今日迄の研究

今日迄のタングステンに関する研究を見るに、獨、米、蘇等に於ける研究は、寧ろ如何にしてタングステンを節約するかと云ふ點に集中されてゐた。これはタングステン資源の賦存状況を考慮すれば寧ろ當然である。従つてタングステンを構造用鋼に使用するが如き事は、必要缺くべからざる場合を除いては諒外であり、殊に高速度鋼に就ては、獨逸、米國等に於てはタングステン節約鋼に關してタングステン量を10%以下に下げんとする試み、モリブデンを以て置換する研究、更に蘇聯に於ては極端な場合として、タングステンの大部分をクロムに依つて置換せんとする試みが企てられてゐる。かくしてタングステンの主たる消費域をなす高速度鋼に於てすら、その研究の宣傳的效果に依り、タングステンの効果の過小視される傾向が次第に濃厚となり、我國に於てもこれに倣つて、低タングステン高速度鋼の研究が盛んに行はれてゐる状況である。

さてタングステンを構造用鋼に適用せんとする試みは、上述の如く獨、米等の諸國が資源上の制限により、これを

省なかつた事がその研究の進まなかつた本質的な原因と考へられるが、更にこの機運を助成したものは經濟的因子であらう。

元來合金元素の効果を論ずる場合には、その原子當量を單位とする事が合理的である。普通タングステンの効果はモリブデンの効果の1/2と云はれてゐるが、タングステンの原子量がモリブデンのその略2倍なる事を考慮すれば、その効果は略同等と云ふべきである。然るに普通合金元素の効果を云々する場合には、重量單位が採用されるから、同重量でもタングステンが稍高價であると云ふ經濟的の不利が倍加せられるのである。然し今日の状況に於ては、かかる經濟的條件は克服し、資源上の條件を活用して、含タングステン鋼の利用範囲を擴張すべく、これが研究を完成し、實用化を計る事は、誠に刻下の急務なりと思惟せられる次第である。

IV. 長崎製鋼所に於ける含 タングステン構造用鋼の研究

含タングステン構造用鋼としては、モリブデンとの類似性から、

- i) クロム-タングステン鋼
- ii) クロム-マンガン-タングステン鋼
- iii) 低ニツケル-クロム-マンガン-タングステン鋼等を実用鋼種として採用すべきものと考へられる。

長崎製鋼所に於てはニツケル節約鋼の要が唱へ初められた頃より、同時にモリブデン節約の要を痛感し、構造用鋼への含タングステン鋼の適用を考慮し、先づクロム-タングステン鋼及クロム-マンガン-タングステン鋼の研究に着手した。即ち先づ8kg高周波爐に依り試験試料を熔製し、小型試料に依り質量効果、機械的試験、滲炭試験、タングステン含量の影響を調査し、その實用成分の範囲を推定し、續いて2t高周波爐で、強靱鋼並びに肌焼鋼を熔製し、工業的試験を行ひつゝある状況である。以下小鋼塊に依る實驗室的研究結果を報告し、その結果に關する考察を述べる事とする。

猶新鋼種の實驗室的研究を始めに當つて特に注意すべき事柄は、從來この種の試験が質量効果の研究に無力であつたと云ふ事である。然るに特に構造用鋼に就て合金元素の効果を調査する場合、質量効果に關する事柄を缺如すればその價値は半減すると云ふも過言ではない。故に本研究を開始するに當り、特にこの點に關して深甚な注意を

拂つた次第である。小試験片に依り質量効果を調査する方法として、著者は曩にS曲線を求める方法を提案したが、本方法はその結果を得る爲には相當長時間を必要とするから、今回は最も簡便な方法として、後述する冷却當徑法と一端焼入法とを採用して、含タングステン鋼の質量効果を論ずると共に、かかる方法が新鋼種の研究及従來の鋼種の質量効果の吟味に極めて有力なる事を示さんとしたのである。

V. 豫 備 實 験

クロム-タングステン鋼及クロム-マンガン-タングステン鋼の性質の大體を知る爲に、第5表の如き成分の試料を熔製し、各種の試験を行つて見た。

1. 成分及變態點

各試料の成分及加熱時の變態點は第5表の通りである。特に裝入材の不良の爲 燐量が比較的高いが、これは寧ろ試験値が安全側の數値を與へるものと考へる事が出来る。變態點に關しては、タングステンは Ac_1 を僅に高める効果を有する事が知られる。

第5表 試料の成分及變態點

符 號	成 分 %							變態點 °C	
	C	P	S	Mn	Si	Cr	W	Ac_1	Ac_3
204-A	0.19	0.041	0.009	0.70	0.44	1.33	0.64	765	855
205-A	0.19	0.036	0.011	1.01	0.42	1.35	0.83	765	865
206-A	0.29	0.029	0.020	0.65	0.12	1.43	0.97	770	845
207-A	0.29	0.057	0.011	1.03	0.14	1.38	0.91	770	840

2. 可 鍛 性

8 kg 鋼塊を 25 mm 丸棒に鍛延したが、その間何等の異状も認められなかつた。

3. 質量効果判定法

(1) 冷却當徑法——各種の大きさの鋼材の質量効果はその中心部が各熱處理に對して示す機械的性質に依つて判定せられる。依つて偏析の影響を度外視すれば、小試験片の焼入の際の冷却を大鋼片の中心部の冷却に近似せしむれば、後者の質量効果を容易に判定する事が出来る。今 20 mm 丸棒に對し次の4種類の冷却法を選び、

- i) 小型爐に依る爐冷 C_{F20}
- ii) アスベスト紐に依る被覆空冷 C_{C20}
- iii) 空 冷 C_{A20}
- iv) 油 冷 C_{O20}

各冷却法に對し添附の記號を用ひるものとする。例へば

C_{F20} は 20 mm 丸棒の爐冷を意味するものである。さてこの冷却速度を各種の大きさの鋼片の中心部の冷却速度と比較するに、直徑夫々 110 mm, 400 mm, 550 mm のものをそれぞれ空冷、油冷、水冷した場合の冷却速度に略々等しい。この様な場合に C_{F20} の空冷當徑は 110 mm 油冷當徑は 400 mm 水冷當徑は 550 mm と稱する事とする。これ等を總稱して冷却當徑と稱する事とする。つまり 20 mm 丸棒の各冷却法に對する冷却當徑を求めて置けば、冷却當徑に等しい徑の鋼片の質量効果を簡便に求める事が出来、他方合金元素の質量効果に及ぼす影響も、實驗室で熔製し得る小鋼塊に依つて調査し得るのである。第6表に各冷却法に對する冷却當徑を掲げる。

第6表 20mm 棒の冷却當徑

冷却法	空冷當徑	油冷當徑	水冷當徑
C_{F20}	110mm	400mm	550mm
C_{C20}	50	190	280
C_{A20}	20	90	160
C_{O20}	—	20	60

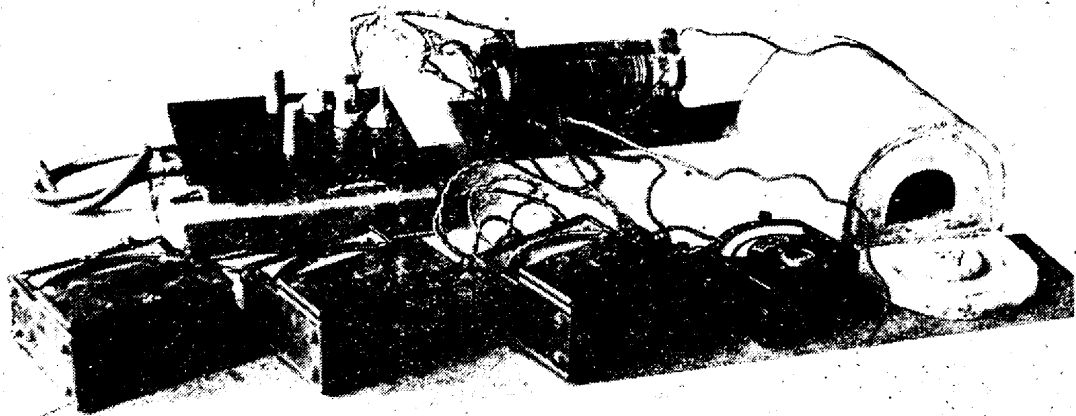
尙 上表の相當關係は現在の實驗程度では餘り嚴密なものではないから、先づ見當を付ける程度に應用するものとする。

(2) 一端焼入法¹⁾——第1圖の如き装置に依り 20 mm 丸棒の一端を水冷し、他端を空冷に近似せしむる様試料の長さを十分大に取れば、水冷端より空冷端に至る間の各部分は、その中間の冷却を受ける事となり、各部分はその冷却速度に従つて、それぞれの冷却組織を示し、それぞれの機械的性質を有する事となる。各部分の冷却は變態熱の影響を受けて、鋼種の焼入感度に依り異なるが、第1次の近似として、この影響は省略する事とする。然る時水面上 X なる高さの丸棒中心に於ける冷却速度を測定し、他方 R なる徑の丸棒を水冷したる場合の中心の冷却速度とを比較するに、両者が相等しい場合には略

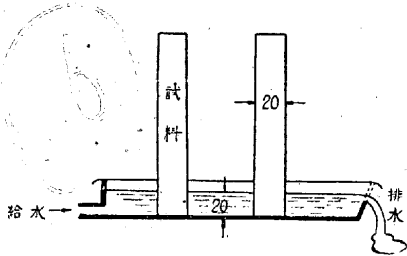
$$X + 10 = (a/2)R \quad R < 150$$

なる關係が成立し、a は 1 に近い。但し單位は mm に取るものとする。依つて X なる高さの中心部の硬度、組織を観察すれば、徑 R mm なる鋼棒の質量効果が知られると同時に、X に對する硬度分布より各鋼種の焼入感度を判定する事が出来る。尙 20 mm の試験片より角棒を切出し、水面上 X なる點に切缺を附して衝擊試験を行へば、質量効果の判定を更に確實にする事が出来る。

¹⁾ 小松一男：長崎製鋼所研究報告，56；63；65，昭和15年11月 非公刊。



第1圖 一端焼入試験装置



試験装置本体

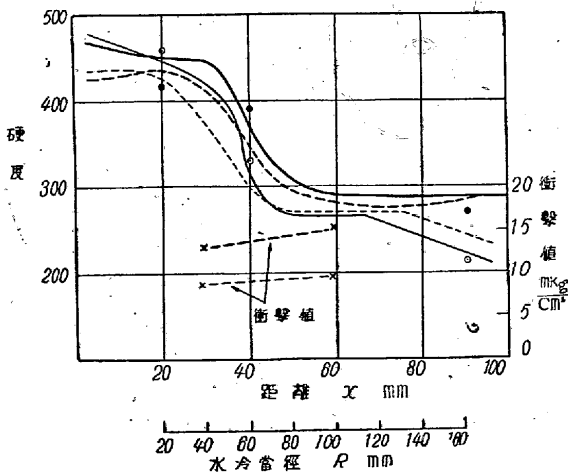
4. 肌焼鋼

(1) 質量効果——肌焼鋼に対しては質量効果は餘り問題

第7表 肌焼鋼の質量効果

符號	水冷當徑 mm	焼入溫度 °C	機械的性質					硬度 H _B
			降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 縮 %	衝擊值 %	衝擊值 kgm/cm ²	
204-A	20	900	131.7	142.9	8.8	24.1	5.8	429
	60	〃	100.0	106.5	8.8	26.5	6.5	331
	160	〃	57.2	70.7	24.7	53.0	6.0	212
205-A	20	〃	140.8	144.0	6.0	16.4	4.3	401
	60	〃	116.9	122.1	14.0	42.7	6.1	388
	160	〃	71.2	86.0	9.0	40.5	5.2	262

但し試料は焼入の儘



— 204-A } 一端焼入
 — 205-A }
 ⊙ 204-A } 機械的試験片
 ● 205-A }
 --- 200°C 焼戻

第2圖 一端焼入試験結果

とならないが、上述の質量効果判定法をチェツクする意味で質量効果を調べて見た。その結果を第7表及第2圖に示す。第7表の機械的性質は1次焼入を行つたのみであるから、その儘では意味がない。抗張力及硬度に對してマンガンの影響が顯著に現れてゐる。一端焼入試験に於てもマンガンの影響は同様に著しい。第7表のブリネル硬度數をヴァイカース硬度數に換算して、第2圖の水冷當徑に相當する位置にプロットすれば、一端焼入硬度曲線と良く一致し、兩判定法の冷却當徑の見積りに矛盾の無い事が分る。一端焼入に於て試料を 200°C に焼戻するも、硬度曲線には殆ど變化なく、同試料に就て上述の方法に依り、衝擊試験を施行したるに、X に對する衝擊値の變化は極めて緩慢であつた。

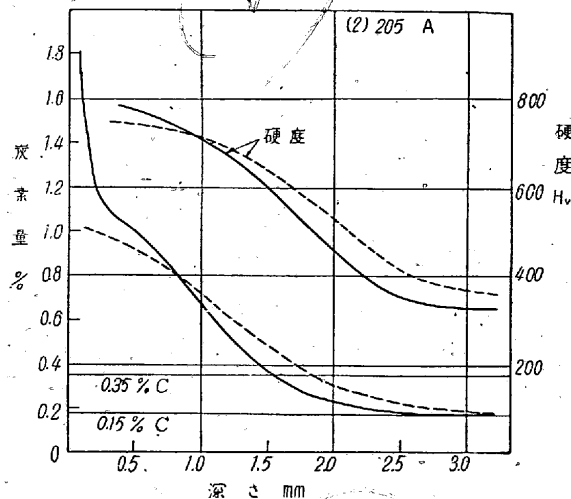
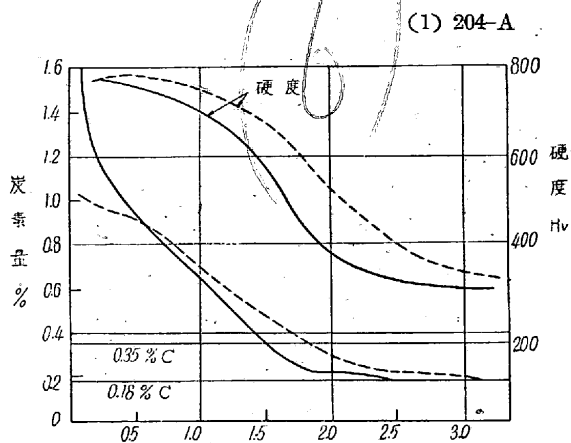
(2) ニッケル-クロム鋼及クロム-モリブデン鋼に對する規格との比較——各試料の A_{C1}, A_{C2} の高き事を考慮して、1次及2次焼入溫度はそれぞれ 900°C 及 800°C とし、油冷後 200°C に焼戻した。その結果を第8表に掲げる。試料の徑は 20 mm ではあるが、相當優秀な成績を示してゐる。

第8表 他の鋼種との比較鋼

鋼種	機械的性質(規格)					熱處理°C		
	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 縮 %	衝擊值 %	衝擊值 kgm/cm ²	硬度 H _B	1次	2次 焼戻
ニッケル-クロム鋼*	>60	>85	>15	>45	>8	—	850/900 O.Q.	730/800 O.Q.
肌焼鋼 第8種	>75	>90	>15	>40	>5	—	〃	750/800 O.Q.
204-A	81.0	93.3	24	51	10.5	269	900 O.Q.	800 200 O.Q. A.C.
205-A	84.8	98.5	25	53	21.4	302	〃	〃 〃

* 實際上の規格ではない。

(3) 滲炭試験——各試料を G.T. 滲炭剤により 925°C に



—— 滲炭の儘 - - - - 擴散焼鈍

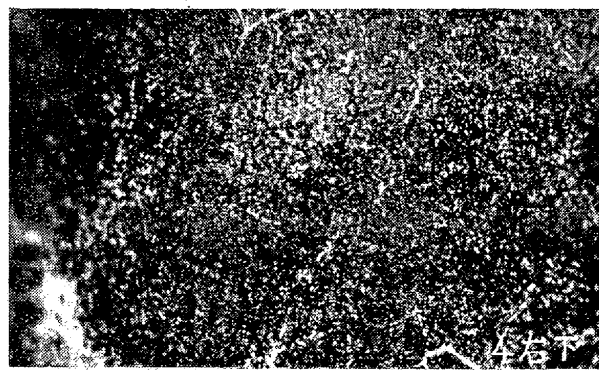
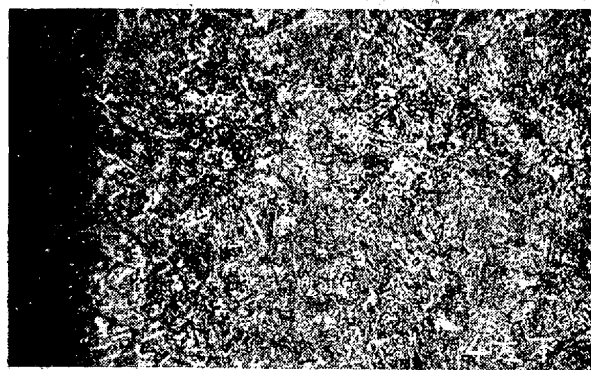
第3圖 滲濃度及硬度分布



×100

(イ) 滲炭の儘

×1000



×100

(ロ) 擴散焼鈍後

×1000

第4圖 滲炭層の顯微鏡寫眞

6h 滲炭したもの(試料は 20mm 丸棒)を表面より 0.2mm 宛の分析試料を採取し、これを分析した結果を第3圖の實線で示す。即ち表面約 0.2mm は過剰滲炭されてゐるが、これは第4圖(イ)に於て表層に粒狀炭化物の現れてゐる事と一致する。此を 1000°C に 2h 擴散焼鈍を行へば、第3圖(破線)及第4圖(ロ)の如く、過剰滲炭部は脱炭乃至は擴散されて略々消失する。炭素量 0.35% 迄の部分の有効滲炭層と名付ければ、擴散焼鈍に依り、有効滲炭層の厚

さは略々 0.4mm 程度増加する事が分る。

次に滲炭の儘の試料及擴散焼鈍を施した試料を、1次焼入 900°C、2次焼入 800°C で焼入し、200°C に焼戻した場合の硬度分布を求めた。(第3圖参照)兩試料に於て表層は炭素量が著しく異なるにも拘らず略々同一硬度を示し、内部では同一炭素量に對する硬度は略々同一値を取り、分析結果と良く一致した結果が得られた。これを要するに滲炭に關してはクロム-モリブデン鋼の場合と大差はない。

(4) 總括——以上の結果よりクロム-タングステン鋼及クロム-マンガン-タングステン鋼は優秀なる肌焼鋼として採用し得る事は略々確實である。

5. 強靱鋼

(1) 質量効果——試料の關係上判定法としては冷却當徑法のみを適用した。

i) 低温焼戻——空冷當徑のみに就て比較した。その結果を第9表に示す。

第9表 強靱鋼の機械的性質 (低温焼戻)

符號	空冷當徑 mm	機械的性質						熱處理°C	
		降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	衝擊値 kgm/cm ²	硬度 HB	焼入	焼戻
296-A	20	86.6	95.2	18.0	40.5	4.9	293	860	200
	50	73.3	90.4	20.0	36.9	4.0	269	〃	〃
	110	42.3	66.3	28.0	54.9	6.8	187	〃	〃
207-A	20	103.3	116.7	14.0	42.7	2.7	341	〃	〃
	50	100.8	115.7	13.5	40.5	3.4	331	〃	〃
	110	82.6	94.2	18.5	44.8	2.5	269	〃	〃

強度に関しては試料 207-A が遙に勝り、マンガンの効果が顯著であるが、マンガンは他方に於て著しく靱性を阻害する事が分る。これは空冷の際、マンガンはフェライトの析出を阻止するが、高温のペーナイト變態を阻止するに無力なる事を示すものである。試料 206-A に於ては、質量効果大なる爲、フェライトの析出が起り易く、強度は比較的小となる。結局これ等の鋼種は自硬鋼として採用する事は不適當である。

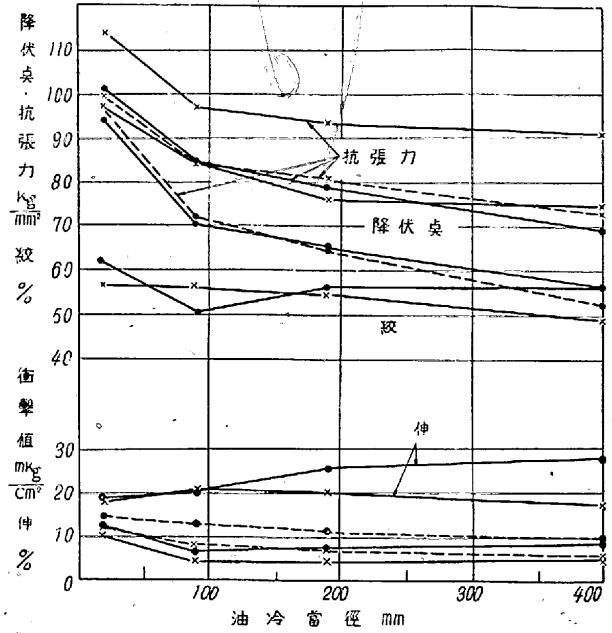
ii) 高温焼戻——油冷當徑に依り質量効果を調査する事とする。その結果を第10表に與へる。重複するがこれ

第10表 強靱鋼の機械的性質 (高温焼戻)

符號	空冷當徑 mm	機械的性質						熱處理°C	
		降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	衝擊値 kgm/cm ²	硬度 HB	焼入	焼戻
206-A	20	94.1	101.3	19	62	12.5	311	860	600〃
		88.3	96.7	22	64	14.6	293	〃	650〃
	90	70.7	84.9	21	51	6.8	255	〃	600〃
		—	72.0	—	—	13.0	210	〃	650〃
	190	65.5	73.7	26	57	7.5	235	〃	600〃
		—	65.0	—	—	11.5	185	〃	650〃
400	56.8	69.1	28	57	8.3	187	〃	600〃	
	—	63.0	—	—	9.5	165	〃	650〃	
207-A	20	107.1	114.3	19	57	9.9	331	〃	600〃
		89.1	98.7	20	59	12.5	302	〃	650〃
	90	84.5	96.7	21	57	4.5	293	〃	600〃
		—	84.0	—	—	8.5	255	〃	650〃
	190	76.9	93.5	20	55	4.5	277	〃	600〃
		—	81.0	—	—	7.0	245	〃	650〃
400	75.7	91.5	18	49	5.0	277	〃	600〃	
	—	74.0	—	—	6.0	220	〃	650〃	

を第5圖に再現する事とする。100mm 程度迄は強度の減少が急激であるが、それ以後の變化は極めて緩慢である。衝擊値に就ても同様な事が云はれる。

(2) 他の鋼種との比較——比較鋼種としては第11表の



● 206-A × 207-A — 600°C 焼戻 650°C 焼戻

第5圖 強靱鋼の質量効果特性曲線

如きものを選ぶ事とする。

第11表 比較鋼種の化學成分

符號	鋼種	化學成分%					
		C	Mn	Cr	Ni	Mo	W
A	クロム-モリブテン鋼	0.33	0.70	1.10	—	0.20	—
B	ニッケル-クロム鋼	0.30	—	1.10	2.30	—	—
C	ニッケル-クロム-タングステン鋼	0.31	—	1.20	4.10	—	1.00
D	クロム-モリブデン鋼	0.31	0.65	1.35	—	0.22	—

比較は油冷當徑に關して第10表の値を採り、質量効果を考慮して行ふものとする。(第12表参照)

第12表を通覽するに、特に質量効果の小なる場合、他の鋼種に比して衝擊値が小である。これは實驗試料に燐の多い事も一因と考へられる。即ち質量大となるに従つて、大鋼片の中心より採取した試験片には、燐が富化するものと考へられるが、これが衝擊値の差異が質量大となるに従つて、次第に減少する原因とも考へられるのである。

(3) 概括——以上の結果を概括すれば、次の如き結論が得られる。即ちクロム-タングステン鋼及クロム-マンガン-タングステン鋼は強靱鋼として略々クロム-モリブデン鋼及ニッケル-クロム鋼に匹敵するが、衝擊値稍々低き傾向を示す。

VI タングステンの效果

以上の結果より含タングステン鋼が構造用鋼として使用し得る可能性が認められたから、本實驗に於ては第13表に於ける試料 231-A の如き成分を底に取り、タングステ

第 12 表 他の鋼種との比較表

曲冷 當徑 mm	符號	機械的性質					熱處理°C	
		降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	衝擊値 kgm/cm ²	焼入	焼戻
20	A	79.5	94.0	21	67	21.5	850	610 A.C
	B	65.0	83.0	21	65	16.0	"	600 "
	C	91.0	108.0	19	61	16.0	"	"
20	206-A	94.1	101.3	19	62	12.4	860	600 O.C
	A	88.3	96.7	22	64	14.6	"	650 "
	207-A	107.1	114.3	19	57	9.9	"	600 "
100	A	89.1	98.7	20	59	12.5	"	650 "
	A	61.5	80.0	18	63	22.0	850	610 A.C
	B	59.0	74.5	21	63	14.0	"	600 "
90	206-A	70.7	84.9	21	51	6.8	860	600 O.C
	A	—	72.0	—	—	13.0	"	650 "
	207-A	84.5	96.7	21	57	4.5	"	600 "
200	A	—	84.0	—	—	8.5	"	650 "
	B	63.0	71.0	27	54	11.0	850	600 A.C
	206-A	65.5	73.7	26	57	7.5	860	600 O.C
190	A	—	65.0	—	—	11.5	"	650 "
	207-A	76.9	93.5	20	55	4.5	"	600 "
	A	—	81.0	—	—	7.0	"	650 "
520	D	36.3	65.4	21	45	7.1	890	640 A.C
	206-A	56.8	69.1	28	57	8.3	860	600 O.C
	A	—	63.0	—	—	9.5	"	650 "
400	207-A	75.7	91.5	18	49	5.0	"	600 "
	A	—	74.0	—	—	6.0	"	650 "

ンの効果を調査して、その實用添加量の範囲を求める事とした。即ちタングステンが有効成分として働く下限と、経済的な上限とを決定せんとしたものである。

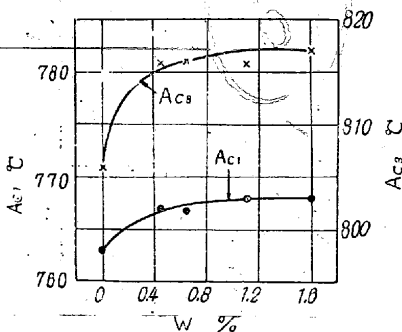
1. 成分及變態點

試料の成分を第 13 表に示す。燐量は豫備試験の場合と同様に高目である。猶試料 237-A は炭素量が稍々低目であるが、機械試験値を比較する際注意を要する。

第 13 表 タングステンの效果研究資料の成分及變態點

符號	化學成分%							變態點°C	
	C	P	S	Mn	Si	Cr	W	Ac ₁	Ac ₃
234-A	0.31	0.042	0.014	0.66	0.10	1.17	—	763	—
235-A	0.31	0.043	0.020	0.66	0.11	1.10	0.44	767	—
236-A	0.31	0.044	0.014	0.65	0.10	1.13	0.65	767	—
237-A	0.28	0.041	0.016	0.64	0.13	1.23	1.11	768	—
238-A	0.32	0.039	0.020	0.64	0.13	1.26	1.59	768	—

變態點に関しては、豫備試験の場合と同様に Ac₃ がタングステン量と共に僅に上昇する。(第 6 圖参照) Ac₃ に就ても同様な効果が見られる。

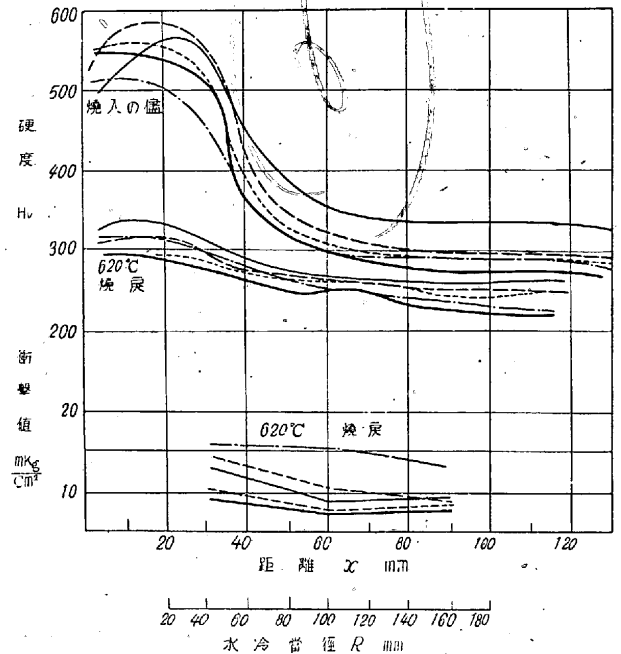


第 6 圖 變態點

2. 質量效果

質量效果に関する試験は試料不足の爲、一端焼入のみを行つた。第 7 圖には焼入の儘と 620°C に焼戻した場合の硬度分布、及 620°C に焼戻した場

合の衝擊値分布とを示す。先づ硬度分布に関しては、試料 237-A の炭素量比較的lowきを考慮すれば、タングステンの増加と共に質量效果は小となり、然もタングステン量 1.6% に至るも、猶質量效果を減少せしめる効果は飽和してゐないものゝ様である。衝擊値に関しては、[硬度の場合と



第 7 圖 一端焼入の際の硬度及衝擊値分布

同様に、試料 237-A が異常値を示してゐるが、質量小なる場合、特にタングステンの効果が著しく、質量大となるに従つて、衝擊値の差は僅少となつてゐる。然し衝擊値と硬度との積を考へれば、タングステンの効果は凡ての場合を通じて好影響を示してゐる。以上の結果よりタングステン添加量の實用範囲を見積れば

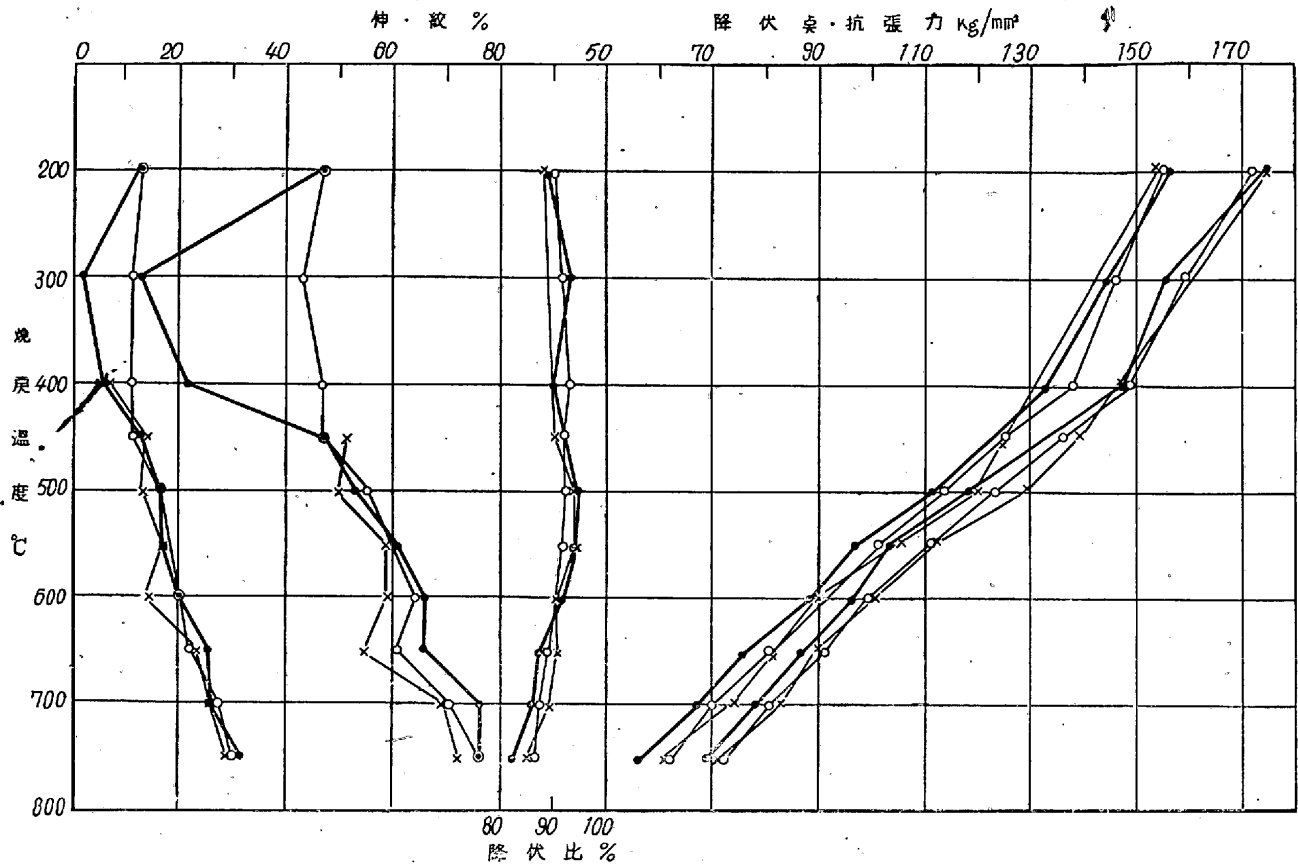
最低有效量 ~ 0.5% W

最高實用量 ~ 1.0% W

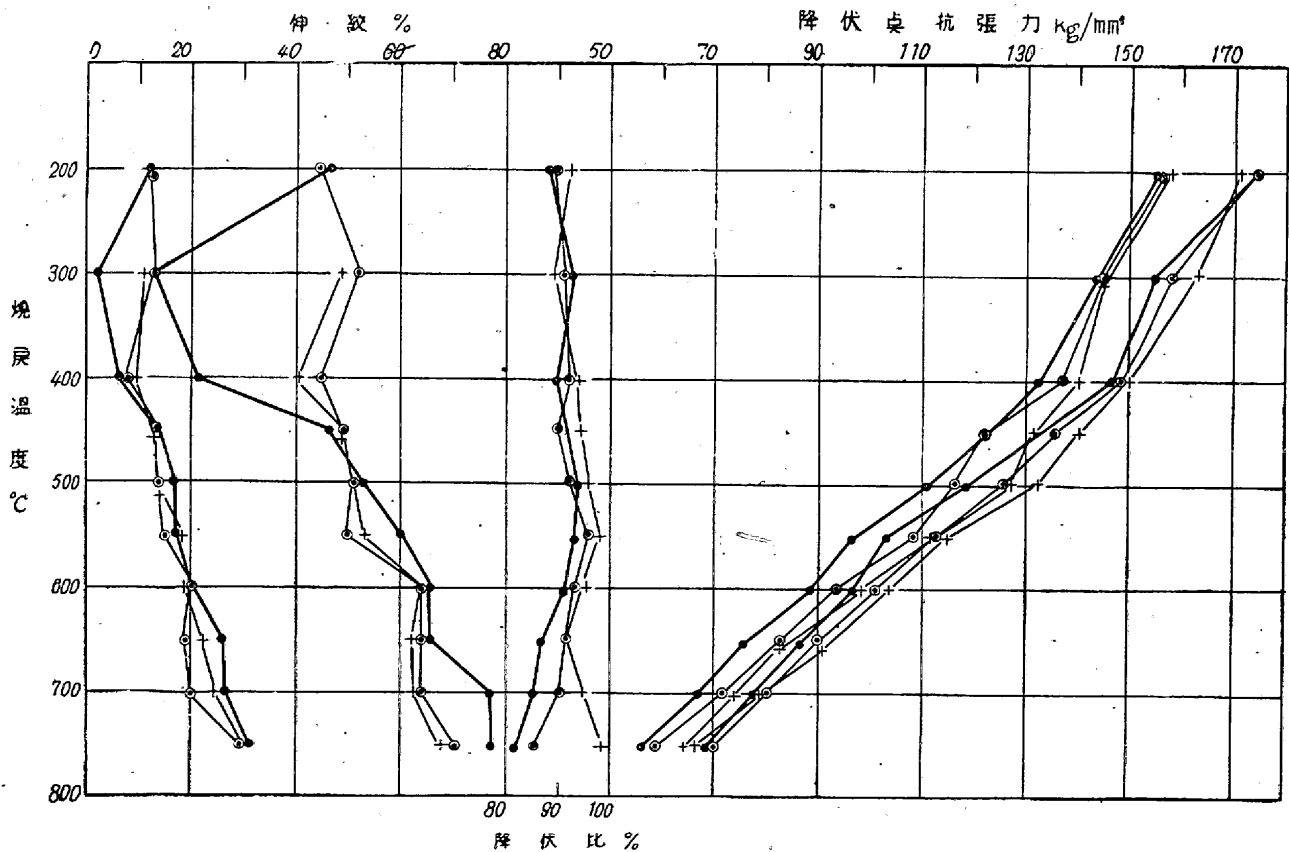
とする事が合理的と考へられる。

3. 焼戻性能曲線

18 mm 徑の試料を 860°C より油冷し、各温度に焼戻して性能曲線を求め、これを第 8, 第 9, 第 10 圖に示す。これ等の結果に就て主なる點を挙げれば、タングステンは擴張力及降伏點を高め、特に降伏比を上昇せしめる効果が最大である。同時に伸、絞等は低温焼戻の場合を除けば、稍々低下の傾向を示す。クロム鋼が 300~400°C で著しい焼戻脆性を示してゐるが、タングステンはこれを防止する効果を有する事、モリブデンと同様である。(低温焼戻脆性の

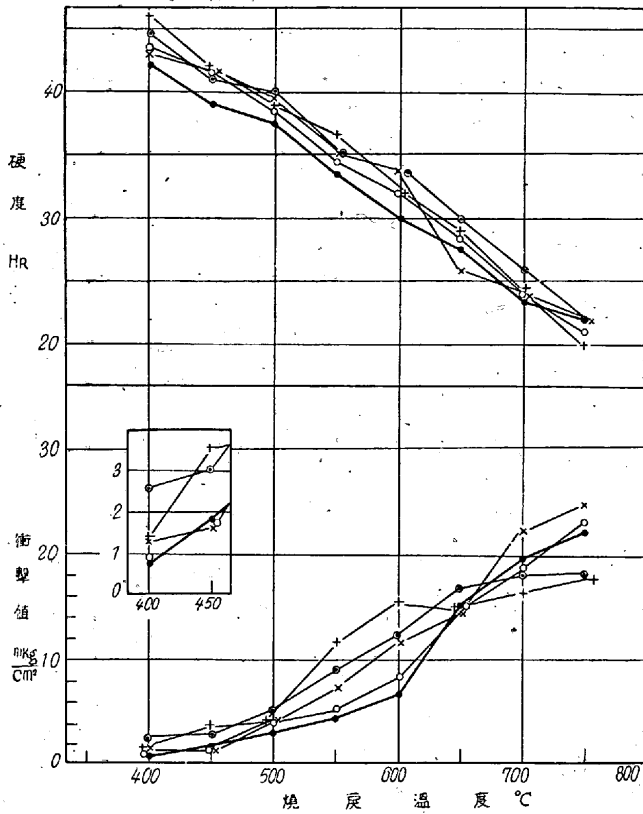


●—● 234-A ○—○ 235-A ×—× 236-A 860°C O.Q. 18mm 徑
第 8 圖 燒 戻 性 能 曲 線 (1)



●—● 234-A ⊙—⊙ 237-A +—+ 238-A 860°C O.Q. 18mm 徑
第 9 圖 燒 戻 性 能 曲 線 (2)

26X30 = 8.32



860°C O.Q. 20mm 径

第10圖 焼戻性能曲線(ハ)

防止効果) 衝撃値に関しては、650°C 以下では、これを改善する効果が大きく、例へば 600°C に於ては 234-A と

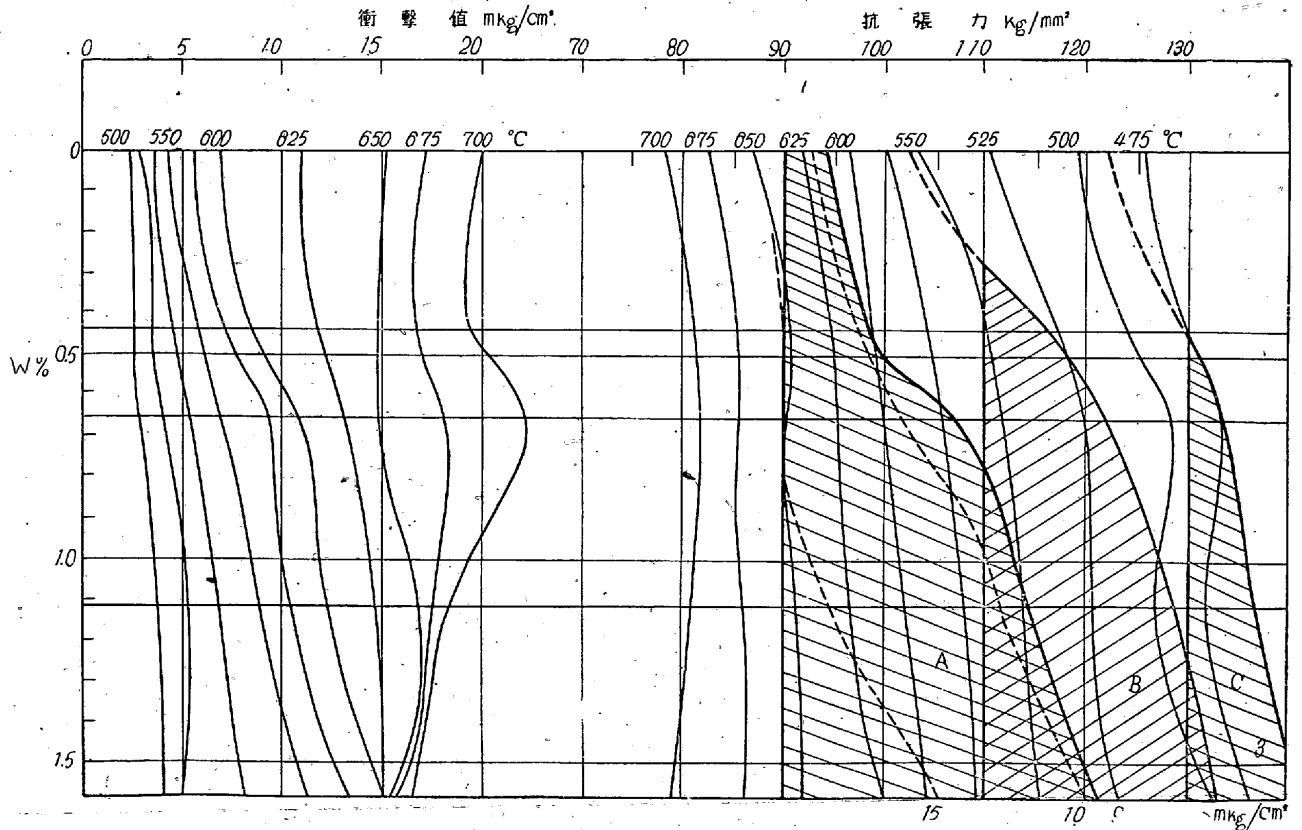
238-A との衝撃値の差は 9kgm/cm² に達してゐる。これは同時に前述の低温焼戻脆性と、普通に焼戻脆性と呼ばれる高温焼戻脆性とを防止する効果とも關聯するものである。

4. 規格とタングステン量

以上の焼戻性能曲線に及びずタングステンの影響を見易くする爲に、次の如き假想的な規格との比較を行ふ事とする。但し多くの場合、規格に合格する焼戻温度範囲が問題となり、その温度範囲の上下限は、それぞれ抗張力及衝撃値に依つて限定されるから、規格としてこの2者のみを擧げる事とする。即ち

- i) 抗張力 90kg/mm² 以上, 衝撃値 9kgm/cm² 以上
- ii) 抗張力 110kg/mm² 以上, 衝撃値 5kgm/cm² 以上
- iii) 抗張力 130kg/mm² 以上, 衝撃値 3kgm/cm² 以上

との比較を行ふ。先づ横坐標にタングステン量を取り、縦坐標に抗張力及衝撃値を採り、第11圖の如く、抗張力及衝撃値に關して等温線を描く。先づ規格との比較は後廻しにして、等温線に就て一瞥すれば、タングステンの効果は明瞭に理解される。即ち抗張力、衝撃値の2者に就て 600°C 以下ではタングステンの効果が著しいが、これを過ぎれば、その効果は殆ど消失する。次にタングステン對抗張力面上に



第11圖 規格とタングステン量との比較圖

i) 抗張力=90 横坐標に平行なる直線)

衝撃値=9 曲線)

で囲まれた領域 A

ii) 抗張力=110

衝撃値=5

で囲まれた領域 B

iii) 抗張力=130

衝撃値=3

で囲まれた領域 C

を求めれば、規格に依るタングステンの効果に対する見積りが可能である。即ち第 11 圖の如く、i) なる規格に対しては凡ての場合に合格焼戻温度範囲が存在するが、0.5% W 以下の場合には、その温度範囲が極めて僅少である。

然し 0.7% W を超えれば、タングステンに依る温度範囲の増加は緩慢となる。ii) なる規格に対しては、0.3% W 以下では焼戻温度範囲は存在せず、又焼戻温度範囲は存在しても、0.5% W 以下では實際上殆ど問題とならない。又 iii) なる規格に対しては、その要求が相當酷なる爲、焼戻温度範囲は 0.5% W に至つて始めて現はれる。ii), iii) 何れの場合でも焼戻温度範囲はタングステン量と共に増大するが、その上昇の程度は比較的緩慢である。以上の結果よりタングステン量の下限は略々

最低有效量~0.5 W

となるが、上限は必然的に決定する譯には行かない。唯 0.7~0.8% W 附近よりタングステン増加の影響が著しくない事と、經濟上の條件とより、構造用鋼に対する上限は

最高實用量~1.0 W

と見てよい。

VII 展 望

以上の如く、含タングステン鋼は、構造用鋼として使用し得る事は略々確實であるが、次に含タングステン鋼に伴ふ利点を總括的に考察し、含タングステン鋼の將來を展望する事とする。クロム鋼もクロム量の増加のみに依つても相當な成績が得られてゐる。即ち例へば 1% クロム鋼に若干量のタングステンを加へる代りに、クロム量を増加した方が、質量効果等に関しては、或は有利な結果が得られるかも知れない。焼戻脆化の防止はクロムを増加しても、勿論不可能であるが、クロム鋼はクロム鋼としての適當な熱処理を受ければ、タングステンを加へた場合と同様な結果に到達し得る事も亦可能であらう。又クロムを底とした合

金鋼としては、クロム-バナジウム鋼が既に實用に供せられ、優秀な構造用鋼としては定評があり、特に發條用鋼等に對してはクロム-バナジウム鋼獨特な分野を拓きつゝある状況である。

然し茲に特に注意しなければならない事は、或る特殊鋼が一般的な構造用特殊鋼として生産される場合には、その生産が特殊鋼生産の大部分を占め、その戻屑は特殊鋼生産の重要な資源をなすと云ふ事柄である。高クロム鋼の戻屑の如きは、特殊鋼生産用原料としては極めて劣等な品位に屬し精鍊上の大なる障害を生ぜしむるのみならず、又莫大なクロム量が酸化精鍊中烏有に歸して了ふのである。又クロム-バナジウム鋼も、これが一般的な構造用鋼として使用される爲には、大東亞地域に於けるバナジウム資源がこれを賄ひ得るや否やは現在の處疑問であり、然もクロムと同様戻屑中の高價なバナジウムは酸化精鍊中、完全に失はれて了ふのである。(鋼滓中より回収する事は度外視する)。かく觀じ來れば、ニツケル、モリブデン、タングステン等は、何れも高クロム鋼中のクロムの一部を置換する元素と考へられ、然もこれ等の元素は戻屑中を殆ど損失なしに循環する事が出来るのである。この意味に於てニツケル、モリブデンに乏しい大東亞地域に於て、これに代り得るのは唯タングステンのみである。含タングステン鋼はその性能に於て、構造用鋼としては、現在の處ニツケル-クロム鋼及クロム-モリブデン鋼に對する決定的な優點は見出せないが、比較的低温度(600°C 以下)の焼戻に對し衝撃値の高い事、降伏比の高い事等はその特徴と考へる事も出来る。高温強度の大なる事も、從來熱間工具として使用されてゐた事から、當然豫想される。又航空機用連桿として、常識的にニツケル-クロム-タングステン鋼が使用されてゐるが、これを十分吟味すれば、タングステンの利点を更に他の場合にも利用し得るかも知れない。

次に構造用鋼以外に眼を轉ずれば、更に大なる利用範囲が見出される。高速度鋼に於ては低タングステン高速度鋼の研究が盛でもあり、モリブデン高速度鋼の優秀なる事が盛に喧傳されてゐるが、これ等に關する研究報告を一覽すれば、代用高速度鋼も理想的な熱處理條件の下では確かに優秀な成績を示すが、一般に熱處理に對する感受性が大であり、研究を實際操業に移す場合、大なる困難を伴ふのである。現在の状態では高速度に關して問題となるのは、タングステンではなく、寧ろコバルトである。現在の處コバルトの代用元素は存在しないが、コバルト節約の一方法

として寧ろ現在の研究方針と反對にタングステンの増加を試みるべきである。第3種高速度鋼程度のものならば、タングステンを23%程度に高めれば、十分である事が既に知られてゐる。

耐熱鋼としてシリクロム鋼にタングステンを加へる事も考慮され、又高クロム-マンガン鋼にタングステンを添加して、バルブ用鋼の製造も研究されつゝあり、この方面に於けるタングステンの利用も極めて意味深いものと考へられる。

最後に含タングステン構造用鋼熔製の際、タングステン鐵に就て注意する必要がある。大體靜止熔鋼中に於ける合金元素の擴散速度は極めて小であり、普通の熔解作業では、熔鋼中に於ける元素の一樣化は、主として熔鋼の運動に依る攪拌作用に依つて行はれるものである。然るに普通使用されてゐるタングステン鐵は熔鋼に比して極めて重く、熔融點は極めて高く、2000°C乃至それ以上である。従つて熔鋼中にこれを投入すれば、溫度比較的低下した爐底に沈下する。その結果熔融點の高い事と相俟つて、熔融に比較的長時間を要し、同時に攪拌作用を受ける事少く、極端なる場合には熔融不完全に歸因する偏析を生ずる事がある。依つて比重が比較的小であり、熔融點の低い構造用鋼

製造用タングステン鐵として、30乃至40%W程度のものが製造されん事を要望する次第である。

VIII 總 括

大東亞地域に於けるタングステン産出は、周知の通り、極めて豊富である。積極的にはこの資源を大いに活用し、消極的には、他の不足資源の節約を計る様な方策を立てる事が必要である。この意味に於て、含タングステン構造用鋼の研究は喫緊の問題であり、他方これに依つてニツケル及モリブデンの節約が可能である。

實驗室的研究に依り、この着想を略々確める事が出来たのである。この際最も重要な事柄として、構造用鋼へのタングステン添加適量は

最低有效量—0.5% W

最高實用量—1.0% W

が合理的であると云ふ結論が得られた。

尙熔解上の見地から、タングステン鐵の比重を減じ、熔融點を低下せしむる爲に

30~40% W

のタングステン鐵の製造されん事を要望した。