

# 熱間工具鋼の研究

(昭 22, 4 月日本鐵鋼協會講演大會に於て發表)

出口喜勇爾\*・渡邊誠一郎\*

## STUDY ON THE HOT-DIE STEELS

*Kiyoji Deguchi & Seiichiro Watanabe*

We studied on the hot-die steels as follows: (1) The various mechanical properties, not only at the room temperature, but also at the high temperature, especially the high temperature impact hardness, of the low C-high W-Cr-V steel. (2) The influences of C and V of this steel on the mechanical properties. (3) The influences of W. From these data we could confirm that W content may be lowered to about half amount, if C content is kept at about 0.5%. (4) Furthermore the various mechanical properties at the room and the high temperature of about 0.7% C, medium Cr, low Cr, Cr-V, low Cr-Ni-Mo, medium Cr-Ni-Mo and high Cr-Ni-W steels. (5) The mass effects of these steels by the test pieces  $\phi 90\text{mm} \times 90\text{mm}$  height.

### I 緒 言

本研究は最初次の2要求によつて始められたものである。即ち

(1) 某所より送附されたる破損した輕合金押出用スリーブの破損原因の調査, 同時にかかるスリーブ材として適當且經濟的なる鋼種の穿鑿。

(2) 特殊耐熱鋼の小物鍛造品を大量生産するに際し最も適當せる鍛造型材の検討。

扱て上記(1)には従來低C-高W-Cr-Vの熱間ダイス鋼<sup>1)</sup>が使用されて居たが, これは勿論(2)に對しても適當するであらうと思はれる。本研究に於ては先づこの低C-高W-Cr-V鋼の常溫並に高温に於ける諸性質を調べ, 次にこれに含有されるC, W, Vの影響を検討した, 但しCの影響の中, その基礎的研究の方は可成り量が多い爲に, これだけを別に纏めて續報とした。又Wの影響であるが, 本邦の資源的状況に鑑みWを出來得る限り節約する爲に, どの程度迄これを低下しても代用出来るかを綜合的諸試験結果から判定した。最後に代表的なる鍛造型鋼としてC, Cr, Cr-V, Cr-Ni-Mo, Cr-Ni-W鋼に就ての諸性質をも比較試験した。

### II 試料の調製

試験用高周波誘導爐によつて8或は20kg鋼塊を熔製して試験に供した。これら試料の化學成分, 變態溫度及焼入溫度を第1表に示す。但しI試料に於て必要量の試

片を得る爲に20kg鋼塊を2本或は20kgと8kg鋼塊を熔製しなければならなかつたものが多いが, その兩鋼塊間の成分の差異は極く僅少の爲, こゝにはその一方のみを示す。

### III 試験方法

元來熱間工具鋼はそれが使用される場所, 大きさ, 形状, 高温加工される材料の種類, 同加工方法, 使用中に到達する最高溫度等が廣範圍に涉つて變化して居る爲に, その化學成分及熱處理のみならずその試験方法も又それぞれの場合に應じて最適なるものを選ばなければならない。然しこゝでは化學成分に關する基礎的諸性質を相對的に比較するのが目的である爲に, 一般には先づ焼戻溫度による常溫機械的性質の變化を調べ, 次に高温に於ける硬さ及靱さを検討する爲に, 焼入後500及600 $^{\circ}$ に焼戻したものとそれぞれ焼戻溫度迄の各溫度に於ける高温機械的性質を試験する事とし, 更に又必要に應じ焼入溫度の検討とか質量効果試験その他の諸試験を行った。

高温諸試験の中, 高温抗張, 衝擊試験方法は耐熱鋼の研究<sup>2)</sup>に於ける場合と同様である。又高温に於ける硬さは高温抗張力によつて或る程度迄判定されなくてもないと思はれるがこれを直接測定するにしくはない。よつて本研究では本多佐藤式高温衝擊硬度計<sup>3)</sup>を用ひ, 打撃

\* 日本特殊鋼株式會社

錠には 3.642kg の鉛の重錘をとりつけて試験した。この場合打撃錠の先端の 10mm 鋼球によつて打刻された試片 (φ48mm×15mm 厚) 表面の窪痕直径とブリネル

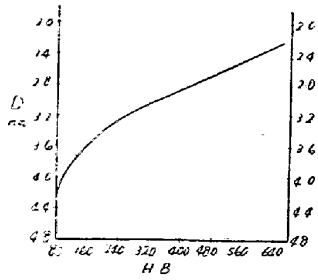


Fig 1

線の関係をなす。

質量効果試験は 20kg 鋼塊を据込鍛造後旋削して φ90mm×高さ 90mm の圓筒状試片 2 個を作り、所定の焼入を行つてから、圓筒の主軸に直角にその中心に於て、高速切斷機により十分注水冷却し乍ら、真二つに切斷し、断面の硬度分布を測定した。2 回試験した平均値を示す。

#### IV. 試験結果

##### (1) 低 C-高 W-Cr-V 鋼に就て

高級鍛造型又は輕合金壓搾押出スリーブ用としての低 C-高 W-Cr-V 鋼の熱処理による諸性質の變化に關し

ては菊田博士の報告<sup>5)</sup>があり、又これと高 C、高 C-C 高 C-高 W-Cr 鋼の熱処理による諸性質の變化を比較したものに小柴、永島兩氏の報告<sup>6)</sup>がある。本研究に於てはこの鋼の W 節約が主目的であるが、その爲に先づこれの常温のみならず高温の諸性質を検討したのである。

##### (i) C の影響

高 W-Cr 鋼に及ぼす C の影響の基礎的研究は前述の如く續報に譲るとし、こゝでは第 1 表に示した試料 1, 2, 3 に就ての試験結果を比較するに止める。

##### (A) 熱膨脹試験

本多式全熱膨脹計により測定せる熱膨脹曲線<sup>7)</sup>を第 2 圖に示す。これによれば C 0.4% 試料 No. 1 はこれよりも低 C 試料 No. 2, 3 に比し Ac<sub>1</sub> は低温度で然も急激に生起し、又冷却に際してはこれのみが二段變態をなして居る。尙参考の爲に添附した No. 1<sup>8)</sup> は Cr を含まざる點以外は No. 1 と殆ど同じ成分であるが、これでは二段變態をしない。又 No. 2 に比し No. 3 は C は極く僅かに多いが W 約 2% 多い爲に變態温度は少しく高く且變態は極めて徐々に然も少量生起して居るに過ぎない。

一般に變態温度が高く且その變態の生起狀況よりして焼入は相當高温で行はねばならない。各試料により變態温度が若干相違するが、何れも 1100° 油焼入とした。

第 1 表

No.	Chemical Composition %										Transformation Point °C		Quenching Temp. °C
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	W	Mo	V	Ac	Ar	
1	0.40	0.54	0.65	0.015	0.019	3.68		8.34		0.25	790~825	{670~695 280~350	
2	0.25	0.49	0.60	0.10	0.18	3.27		9.56		0.35	840~880	750~810	
3	0.28	0.49	0.28	0.22	0.24	3.11		11.38		0.23	870~920	795~840	
4	0.26	0.49	0.22	0.26	0.20	3.10		10.00			840~910	770~835	
5	0.57	0.23	1.54	0.15	0.16	2.92		4.45			775~805	345~265	860Oil
6	0.50	0.26	0.26	0.12	0.18	2.78		4.50			790~825	735~693	900 "
7	0.24	0.22	1.29	0.14	0.26	2.97		4.51			780~830	390~346	" "
8	0.30	0.30	0.30	0.15	0.12	2.83		4.43			790~820	745~680	890 "
9	0.51	0.38	1.54	0.15	0.17	2.83		1.57			745~785	230~ 80	860 "
10	0.50	0.23	0.44	0.12	0.24	2.92		1.45			790~825	715~665	890 "
11	0.30	0.28	1.38	0.15	0.18	2.88		1.49			765~810	425~350	880 "
12	0.31	0.29	0.30	0.14	0.20	2.95		1.43			785~820	{695~675 460~375	890 "
13	0.53	0.35	0.41	0.13	0.21	2.77		0.32			780~820	715~690	" "
14	0.53	0.46	0.69	0.19	0.21	0.66		0.42			740~780	655~615	860 "
15	0.51	0.29	1.12	0.10	0.11	3.09		1.69					950 "
16	0.52	0.26	0.29	0.22	0.34	2.91		4.72					1000 "
17	0.49	0.28	0.99	0.24	0.38	3.00		4.58					1050 "
18	0.67	0.36	0.90	0.22	0.35						730~760	670~640	820 "
19	0.52	0.30	0.81	0.18	0.30	1.30					760~790	680~655	850 "
20	0.51	0.50	1.40	0.21	0.24	0.90					750~775	650~640	830 "
21	0.53	0.37	0.99	0.16	0.31	0.93				0.22	755~785	680~650	860 "
22	0.53	0.38	0.96	0.10	0.19	0.40	1.44		0.29		720~775	480~400	820 "
23	0.50	0.33	1.05	0.13	0.19	0.97	1.79		0.35		730~765	330~420	" "
24	0.42	0.37	1.15	0.15	0.24	3.01	2.06	0.44			740~795	262~120	850Air

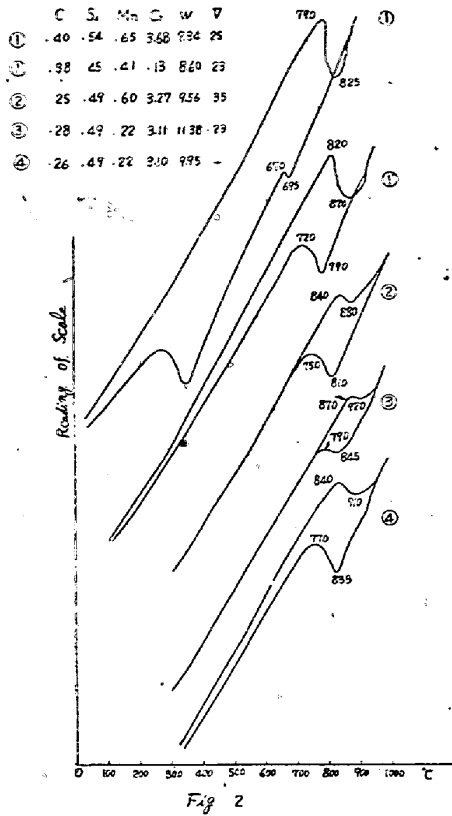


Fig 2

(B) 常温機械的性質

No. 1, 2 を 1100° 油焼入後 700° 迄の各温度に焼戻した場合の常温機械的性質を第 3 圖 (左) に示す。これ

によれば低 C 試料 No. 2 は焼戻抵抗が非常に大きく、焼戻温度 550° 迄は機械的性質が殆ど變化せず、600° に於て若干二次硬度を示して居る。高 C 試料 No. 1 は焼戻温度 550° 迄は抗張力を知る事は出来なかつたが、硬度及衝撃値の變化によれば、これは後述する所の「W-Cr 系以外の試料」に比しては焼戻抵抗が大である。然し No. 2 に比すれば各焼戻温度に於ける硬度数は大とは云へ焼戻抵抗は小さい。

(C) 高温機械的性質

1100° 油焼入後 500 及 600° に焼戻せる試料につきそれぞれ焼戻温度迄の各温度に於ける高温抗張、衝撃試験をした結果を第 3 圖中央 (500° 焼戻) 及右 (600° 焼戻) に示す。

500° 焼戻試料 試験温度による高温抗張力、降伏點の變化は No. 2, 3 共に少く、No. 2 に比し 3 は C 及 W が若干高い爲にその試験値は何れの温度に於ても少しく高い。C の高い No. 1 の値は No. 2, 3 に比し大であるが、試験温度上昇による低下は著しい。高温衝撃値は何れの温度に於ても C の高い試料程小さく又試験温度による變化は No. 1 が最も少い。

600° 焼戻試料 抗張力、降伏點は、550° 以下に於ては C の高い方が大であるが、試験温度上昇によるその低下割合が大なる爲に、この温度以外では却つて逆の

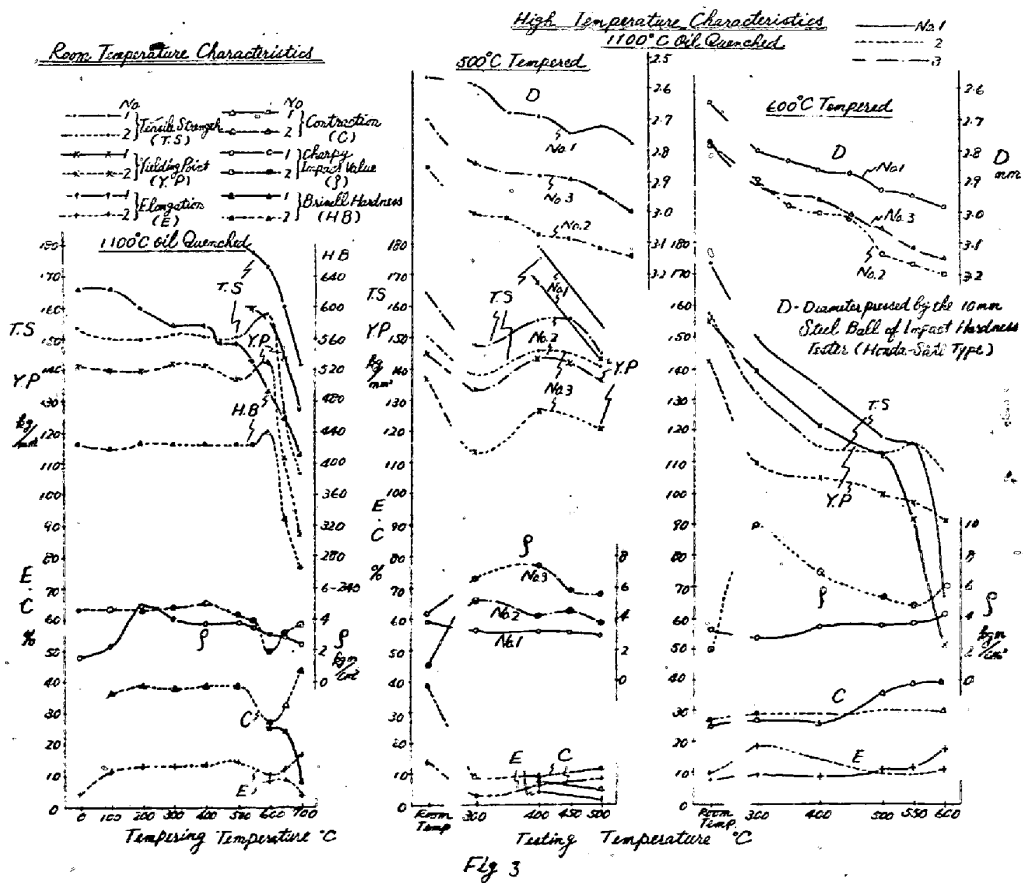


Fig 3

関係となる。又高温衝撃値は 550° 焼戻の場合と同様に高 C 試料の方が小さく且試験温度による変化は少い。

500° 焼戻試料では低 C 試料のみ試験温度 400~450° に於て、600° 焼戻試料では低 C も高 C も共に約 550° に於て、抗張力の増加を示して居る。

(D) 高温衝撃硬度

試験結果を第 3 圖に併記した、但し縦軸には前記窪痕徑を逆目盛にとつてある。これによれば 500° 焼戻試料では何れの試験温度に於ても C 量多い程高温硬度は大であるが、600° 焼戻試料では No. 2, 3 は殆ど等しい値を示すに對し C が高い No. 1 のみはこれらよりも相當大なる値を示して居る。

又試験温度による窪痕徑と抗張力の變化は必ずしも相對應して居らず、靜的測定による抗張力の變化と衝撃硬度の如き動的測定の結果とは平行しないことが知られる。

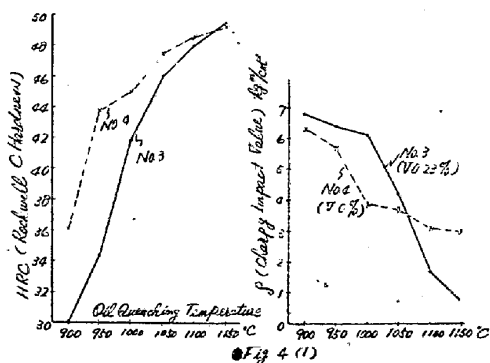
以上 No. 1, 2, 3 の諸性質を比較して見ると、No. 1, 2 は C が約 0.15% 相違し、No. 2, 3 は W が約 2% 相違して居るのであるから、この鋼では W 量の幾何かの變化よりも C 量の變化が強く影響する事が知られる。

(ii) V の影響

第 1 表に示せる No. 3 と V を含有せざる No. 4 とを比較する。これらでは W 含量に若干の差異があるが、この程度の高 W 鋼に於てこれ位の W の差であるから、V の影響を検討する事は出来る。No. 3 に比し 4 の方が變態温度は少しく低く且變態は急激に著しく生起して居る。

(A) 焼入硬度

第 4 圖 (1) は焼入温度による焼入硬度の變化を示す。



これによると、900~1150° 間では焼入温度が上昇するに従ひ兩試料共に硬度は増し衝撃値は低下する、然しこの變化の割合は V を含有する No. 3 の方が大きい爲に、焼入温度 1050~1100° 迄は No. 3 の方が硬度は低く且衝撃値は大きい、これ以上の焼入温度では兩者の

硬度には殆ど差異がなく衝撃値は No. 3 の方が却つて低い。これはオーステナイトに固溶し難き V 炭化物の爲と思はれる。

(B) 焼戻硬度

焼戻による硬度の變化を第 4 圖 (2) に示す。これによると 1000~1150° 油焼入したものを 600° 迄焼戻しても

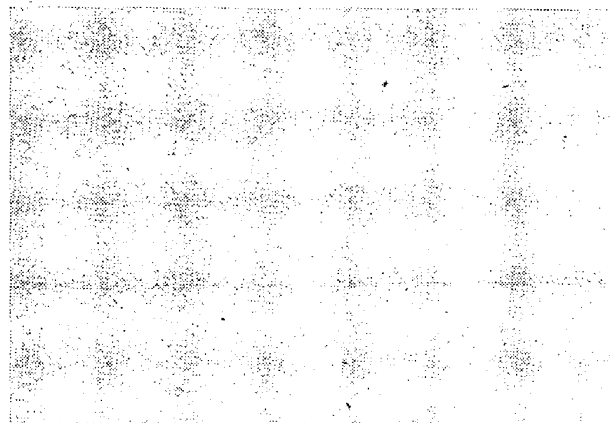
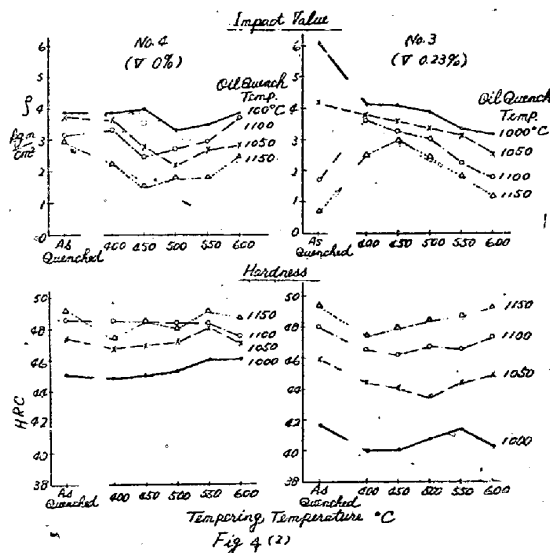


Photo. 1

No. 3, 1100° 油焼入のまゝ



Photo. 2

No. 4, 1100° 油焼入のまゝ

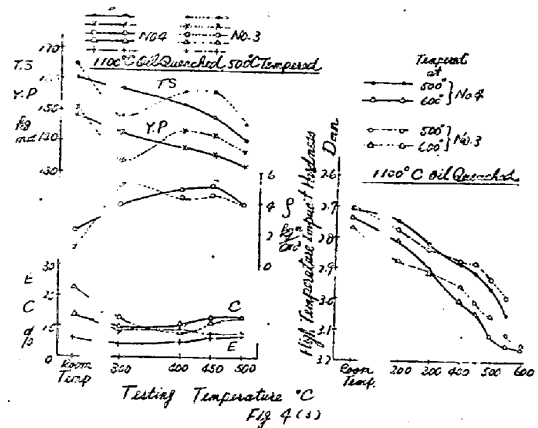
No. 4 では焼戻温度により餘り變化しないが No. 3 では 500~600° に於て低下する。これは矢張り焼入温度に於てオーステナイト中に固溶した V 炭化物が析出する爲と思はれる。但し V 炭化物は非常に微細に分布する爲に、寫眞第 1~5 に示す様に、顯微鏡組織上にこれを認める事は難しい。

(C) 高温機械的諸性質

第 4 圖 (3) は 500° 焼戻試料の高温機械的性質を示す。これによると、No. 3 では試験温度によるその増減が No. 4 に於けるよりも甚だしく、抗張力、降伏點は常溫及 350° 以上に於ては No. 3 の方が大で衝撃値はその逆の関係にある。高温衝撃硬度も又抗張力と相對應した變化を示し、350° 以上に於ては No. 3 の方が矢張り大である。

Photo. 3  
No. 3, 1100° 油焼入, 400 焼戻

Photo. 4  
No. 3, 1100° 油焼入, 500° 焼戻



以上により低 C の高 W-Cr-V 鋼に含有される V の効果は約 1050° 以上より焼入れ、約 500° 以上に焼戻した場合に表はれて硬度が増加する。又高温度に於ける硬さ及強さも V の添加により約 350° 以上に於ては増大する。

(2) 高 W-Cr 鋼の W 節約に就て

(i) W を約 1/2 に減少した場合

Cr を約 3%, W を 1/2 の約 4.5% 一定とし、C を約 0.5, 0.3, Mn を約 1.3, 0.3% としてこれらを組合はせた 4 種類の試料 No. 5~8 と No. 2 との高温諸性質の比較を第 5 圖に示す。

(A) 高温機械的性質

500° 焼戻試料 高温抗張力は W を半減した試料 No. 5~8 では C 及 Mn の多い程概して大きく、又何れも No. 2 よりは大であるが、試験温度上昇と共にその差は小さくなる。高温衝撃値は大體に於て抗張力の場合と逆の関係にあるが、絞は試験温度による變化の甚だしい試料があつて一元的關係は認め難い。唯標準の No. 2 は抗張力の小さい割合には絞の小さい點が他と

Photo. 5  
No. 4, 1100° 油焼入, 500° 焼戻

腐蝕 5% 硝酸アルコール溶液  
倍率 500 倍

その硬度は、V を含有せざる No. 4 では殆ど變化しないが、V を含有する No. 3 では焼戻温度 400~450° で少しく低下し、更に 500~600° で少しく増加して所謂二次硬度を示す。衝撃値の變化も又硬度とよく相對應し、

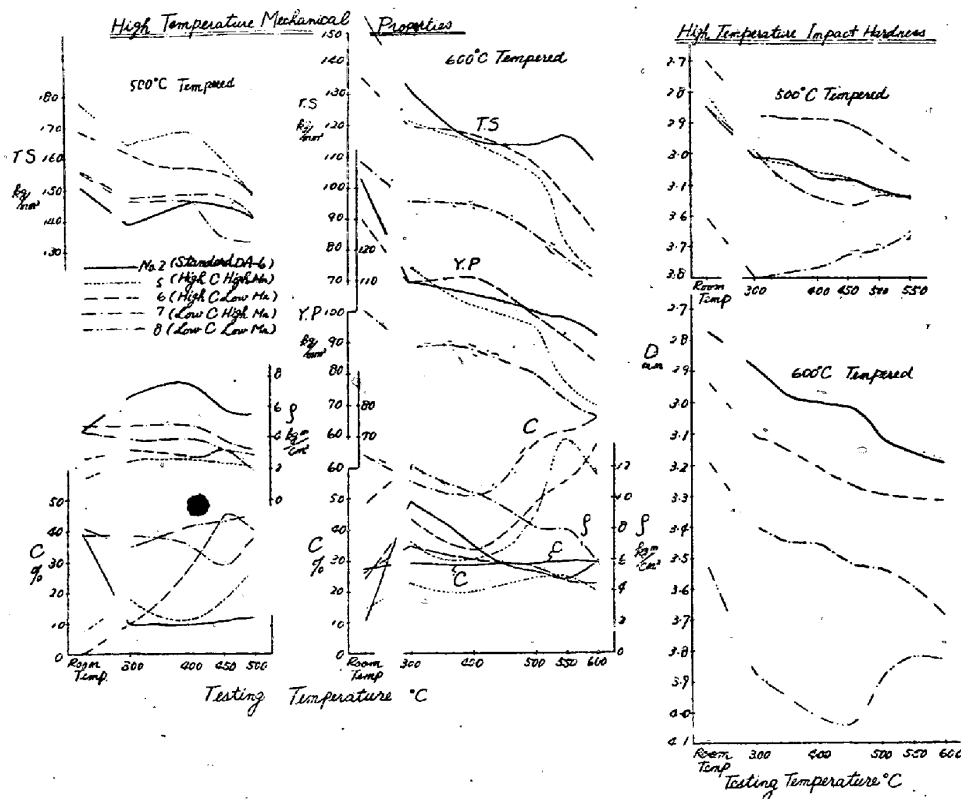


Fig 5

異なる。

600° 焼戻試料 高温抗張力及降伏点は概して No. 2 が最も大きく、又他の試料は No. 2 の様には 550° 附近にて明瞭なる抗張力の増加を示さない。高 C 高 Mn, 高 C 低 Mn, 低 C 高 Mn, 低 C 低 Mn (本試料の値は低いので圖に記入せず) の順に低くなって居るが、500° 位迄ならば高 C 試料 5, 6 は No. 2 に近い値を示す。絞は大體抗張力の場合と逆の関係にあり、高温衝撃値は No. 2 と No. 5, 6 は比較的近い値を示して居る。

(B) 高温衝撃硬度

500° 焼戻試料では No. 6 が最も大きく、No. 5, 7 は No. 2 と殆ど等しい値でこの次に位し、No. 8 はこれらよりも可成り低い。600° 焼戻試料では No. 2 が最も大きく、次に No. 5, 6 でこの兩試料は殆ど相等しい値を示し、次に No. 7 更に低く No. 8 の順序となる。

以上によつて見るに、500° よりも 600° に焼戻した場合の方が各試料間の高温諸性質の差異が判然と現はれる。これらを綜合するに高 W-Cr 鋼の W を半減した試料の中高 C 高 Mn 及高 C 低 Mn 試料 No. 5, 6 は大體に於て代用となし得るものと思はれる。

(ii) W を約 1/4 に減少した場合

Cr は矢張り約 3%, W は 1/4 の約 2% 一定とし、C 及 Mn は前項と同様にした試料 No. 9~12 と No. 2 との高温諸性質の比較を第 6 圖に示す。(圖省略)

(A) 高温機械的性質

500° 焼戻試料 高温抗張力は相互に著しい差異を認める事は出来ないが、概して高 C 試料 No. 9, 10 は No. 2 よりも大きく、低 C 試料 No. 11, 12 はこれと同程度である。高温衝撃値は No. 2, 低 C, 高 C の順に小さくなるが、絞は No. 2 が最も小さい。

600° 焼戻試料 高温抗張力は No. 2, 高 C, 低 C の順に明瞭に三段階に分れて小さくなって居り、Mn の影響が表はれて居ない。絞は No. 2 は他に比し相當小さく、No. 9, 10, 11, 12 と C 及 Mn 量の少くなるに従つて大きい値を示す。高温衝撃値は No. 12 が最も大きい、その他のものゝ間では餘り明瞭なる一元的關係が認められない。

(B) 高温衝撃硬度

500° 焼戻試料では No. 9 が最も大きく、他の試料間には大差がない。600° 焼戻試料では No. 2 が最も大きく、高 C 試料 No. 9, 10 はこれより可成り低く、低 C 試料 No. 11, 12 は更に低い値を示す。

以上を綜合するに W を 1/4 に減少した試料の中、前項の様に高 C 高 Mn 試料 No. 9, 高 C 低 Mn 試料 No. 10 のみが 500° 以下に於て使用するならば或は代用可能かと思はれる。然し 600° 焼戻試料に於て 500° 以上になると降伏點及高温硬度が No. 2 に比べると遙に低いによつて、500° 以上の使用には適せない事が知られる。

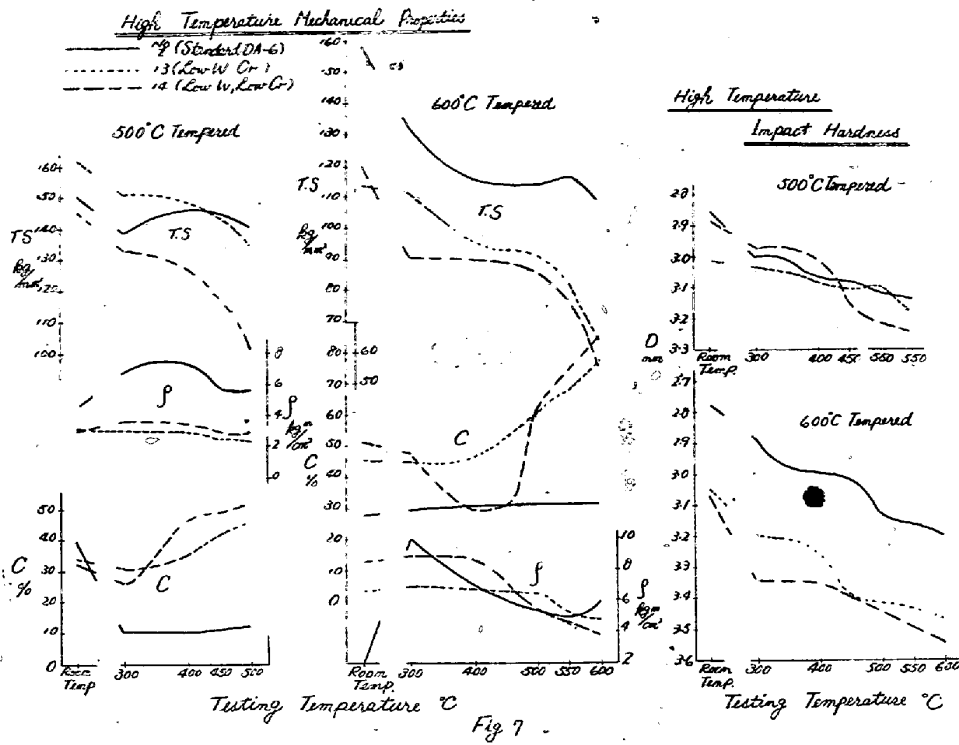


Fig. 7

(iii) Cr, W を更に減少した場合

Cr 或は W を更に減少して試験した中、代表的に No. 13, 14 の 2 試料を No. 2 に比較して第 7 図に示す。兩試料共に C は約 0.5% にして、No. 13 は Cr 約 0.3, W 約 3.0, No. 14 は Cr, W 共に約 0.5% である。

(A) 高温機械的性質

500° 焼戻試料 高温抗張力は No. 13 は No. 2 に近い値を示すが、No. 14 はこれよりも低く、特に試験温度上昇によるその低下が著しい。高温衝撃値は No. 13, 14 共に殆ど等しい値を示し、これは No. 2 よりは可成り低く、絞は共に高く出て居る。

600° 焼戻試料 高温抗張力は No. 13, 14 共に No. 2 よりは相当低く、絞は概して高いが、高温衝撃値は殆ど同程度である。

(B) 高温衝撃硬度

500° 焼戻試料では兩試料共に大差がないが、600° 焼戻試料では相当低い。

以上により Cr, W をこの様に低下したものは勿論代用にする事は出来ないと思はれる。

(iv) 高 W-Cr 鋼の代用可能材料の再検討

前述の試験結果により高 W-Cr 鋼の代用となし得る見込の No. 5, 6; 9, 10 に就き更に詳細にその性能を再検討すべく、20kg 鋼塊を再熔製した。No. 15 は W を約 1/4 に、No. 16, 17 は約 1/2 に減少したもので、No. 15, 17 は高 Mn, 16 は低 Mn である。尙 No. 10 に関する再検討結果は No. 9 のそれに近似して居り、

高 W-Cr 鋼の代用には No. 9 よりも更に無理と思はれるので、省略した。

(A) 焼入温度

前述した No. 5~14 では焼入温度は変態温度以上約 60~80° であつたが、Cr, W の比較的多いこれらの試料では、この焼入温度は再検討する必要がある。よつてこれら 3 試料を 1150° 迄の各温度より焼入した時の硬度

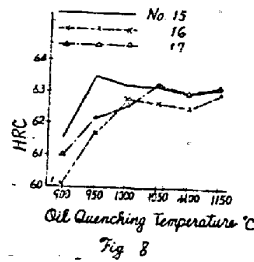


Fig. 8

を測定した所第 8 図の如くである。これによれば焼入温度 900° 以上でも尙若干硬度が増加する。No. 15 は 950°, No. 16 は 1000° No. 17 は 1050° 油焼

入とした。

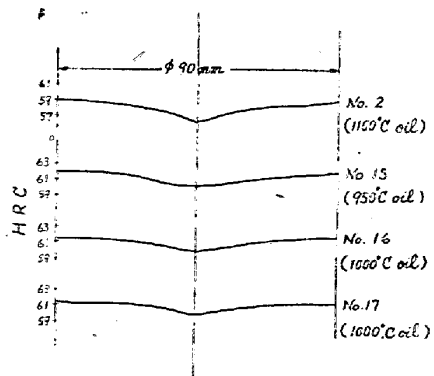


Fig. 9

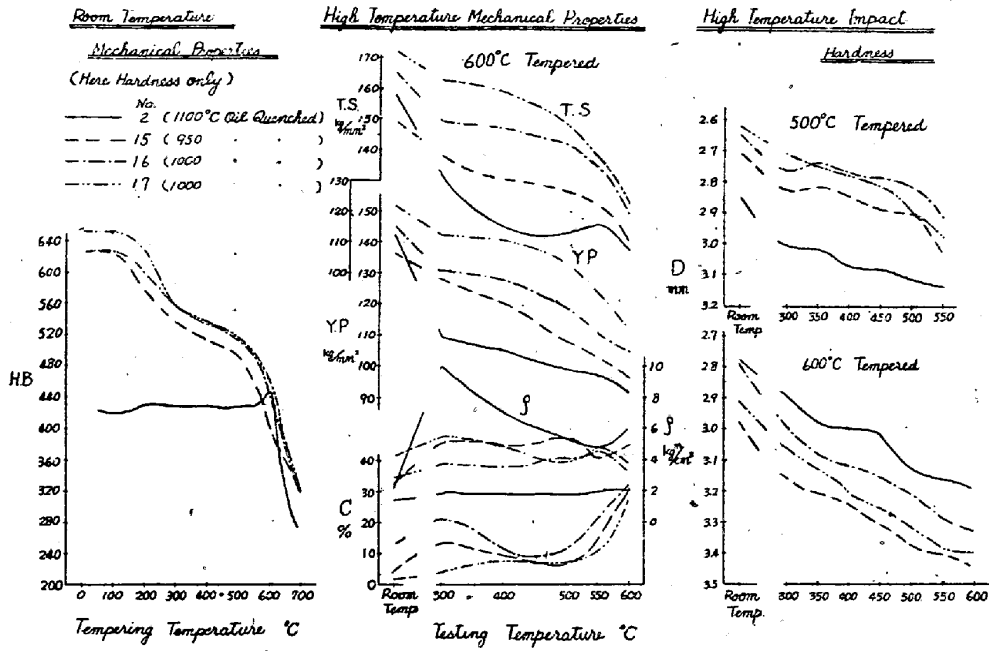


Fig. 10

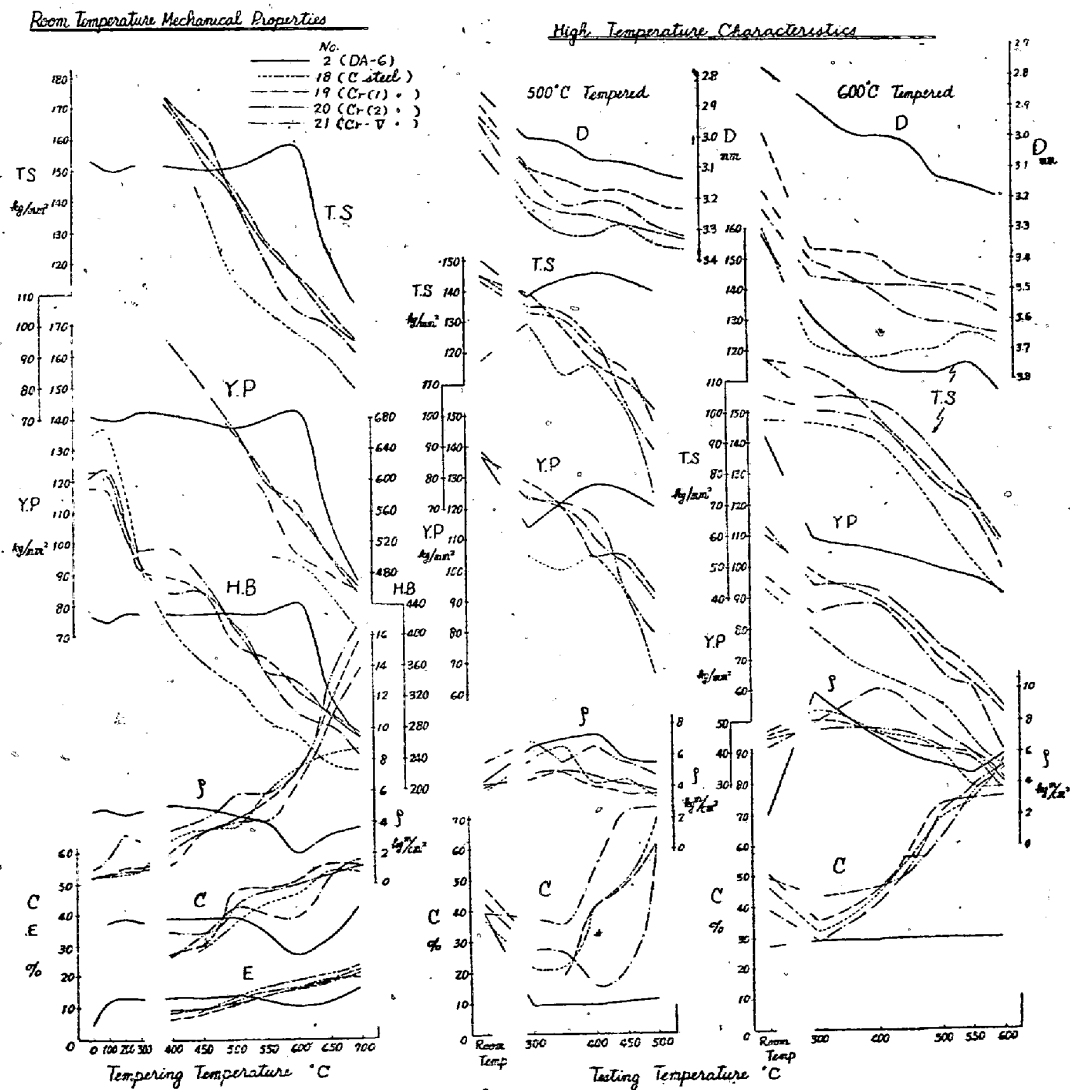


Fig. 11 (1)

(B) 質量効果



熱間工具として使用する場合には質量効果が重要な因子をなす。よつて No. 15~17 及標準の No. 2 の  $\phi$  90mm×長さ 90mm 試片をそれぞれ上記の温度より油焼入した場合の断面硬度の變化を第 9 圖に示す。これによれば何れもその中心部迄概してよく焼が入つて居り、その硬度数にも殆ど差異が認められない。

#### (C) 常溫焼戻硬度

常溫抗張試験に於ては各試料共に約 550~600° 以上に焼戻したものでなければ脆くて荷重が抗張力に到らない中に破斷する爲に試験値を比較する事は出来ない。よつてこゝでは第 10 圖左に示す如く焼戻硬度のみを比較した。これによれば W を 1/2 に減じた No. 16 と 17 とは殆ど等しき硬度を示し、W を 1/4 に減じた No. 15 はこれより低い値を示す。これに對し No. 2 は焼戻温度により硬度が殆ど變化せず、600° に於て二次硬度を示すが、この値が No. 16, 17 のそれと等しい。

#### (D) 高温機械的性質

500° 焼戻試料では脆くて高温抗張試験結果も甚だ不規則である爲に、600° 焼戻試料に就てのみ述べる。第 10 圖中央に示す如く高温抗張力は No. 17, 16, 15, 標準の No. 2 の順序で低くなつて居る、但し常溫の値は No. 15 よりも No. 2 の方が大きい。又絞及高温衝撃値は No. 2 が最も大きく、他の 3 試料間では著しい差が認められない。

#### (E) 高温衝撃硬度

500° 焼戻試料では No. 2 が最も小さく、他の 3 試料間では No. 15 が小さい。然るに 600° 焼戻試料では No. 2 が最大、No. 15 が最小の値を示す。

以上常溫硬度のみならず高温機械的性質及衝撃硬度をも併せ総合的に考察するに、W を 1/2 の約 5% に減少しても C を約 0.5% 含有すれば、Mn は高くても低くても概して高。W-Cr 鋼の代用にはなし得られるであらうが、W を更に 1/4 の約 2% に減少したものでは、それは無理であらうと思はれる。

### (3) Cr-W 鋼以外の熱間工具鋼に就て

型用鋼としては各種の成分のものが挙げられて居る<sup>10)</sup>が、こゝでは第 1 表に示す No. 18~24 をとつて常溫並に高温諸性質を試験した。No. 18 は C 約 0.7% の C 鋼 (舊陸海航空規格 1901), No. 19 は中 Cr 鋼 (イ 921), No. 20 は低 Cr 鋼 (イ 922), No. 21 は Cr-V 鋼 (イ 923) であつて、何れも低級鍛型用鋼である。次に No. 22, 23 の Cr-Ni-Mo 鋼は米國ヘッペンストール會社製型材<sup>11)</sup>と同じ成分のもので、No. 23 の方が Cr 及 Ni が少しく高い。Cr-Ni 系型材の代表的試料として試験した (以上は何れも日本金屬規格鍛造型鋼 1~4 及

6 種に規定されたものである), 又 No. 24 の Cr-Ni-W 鋼はイ 237 の C が高いもので、参考の爲に添附した。No. 24 のみは焼入は空冷である。

#### (i) 低級熱間工具鋼

No. 18~21 の常溫並に高温諸性質を第 11 圖 (I) に示す。参考の爲に No. 2 のそれをも併記した。

#### (A) 常溫機械的性質

各試料を焼入後 700° 迄の温度に焼戻した場合の機械的性質の變化を圖の左に示す。抗張試験値は焼戻温度の低い所では No. 2 以外に就ては測定出来なかつた。これによれば抗張力、硬度共に No. 18 の C 鋼が最も低く、他の Cr 及 Cr-V 鋼間では餘り差が認められず、伸、絞、衝撃値に於ては C 鋼も Cr 及 Cr-V 鋼も一元的の差異がない。唯焼戻温度 700° に於て C 鋼の衝撃値の上昇が他に比して少いのみである。これに對し No. 2 では焼戻温度による諸性質の變化が少き爲、強さ硬さは約 400~500° 以下の焼戻では No. 2 の方が低く、これ以上では高くなり、靱性に於てはその逆の關係にある。

#### (B) 高温機械的性質

500° 焼戻試料 抗張力、降伏點は常溫のそれと同様に C 鋼が最も低く、他の Cr, Cr-V 鋼の間では一元的の差がない。高温衝撃値は 4 試料共に大差がないが、絞は Cr-V 鋼が他に比し大きい。これを No. 2 と比較するに、No. 2 は抗張力が試験温度上昇により殆ど低下しない爲に、約 400° 以上では他に比し遙に大きく且衝撃値も大きい。但し絞は最も小さい値を示す。

600° 焼戻試料 矢張り抗張力、降伏點は C 鋼が他に比し小さく、Cr-V 鋼は Cr 鋼よりは若干大きい。絞は何れの試料も大差なく、衝撃値は Cr-V 鋼が他の 3 試料よりも大きい。No. 2 はこれらに比し強さは遙に大きい、衝撃値は大差なく、絞は最も小さい。

#### (C) 高温衝撃硬度

500° 焼戻試料に於ては No. 2, 中 Cr, 低 Cr, Cr-V, C 鋼の順に小さくなるが、600° 焼戻試料に於ては No. 2 は他に比し遙に大きく、C 鋼は可成り低い。Cr, Cr-V 鋼はその間にあり、それらの間では一元的の差異は認められない。

以上を綜合するに低級熱間工具鋼の性能は No. 2 の高 W-Cr-V 鋼には到底比すべくもないが、それらの間では C 鋼は常溫のみならず高温の強さ及硬さの點で他のものよりも判然と劣る。又 Cr-V 鋼は Cr 鋼に比し高温に於ける強さ及靱性の點で優るが、高温衝撃硬度の點では中 Cr 鋼に若干劣る。

#### (ii) Cr-Ni 系熱間工具鋼

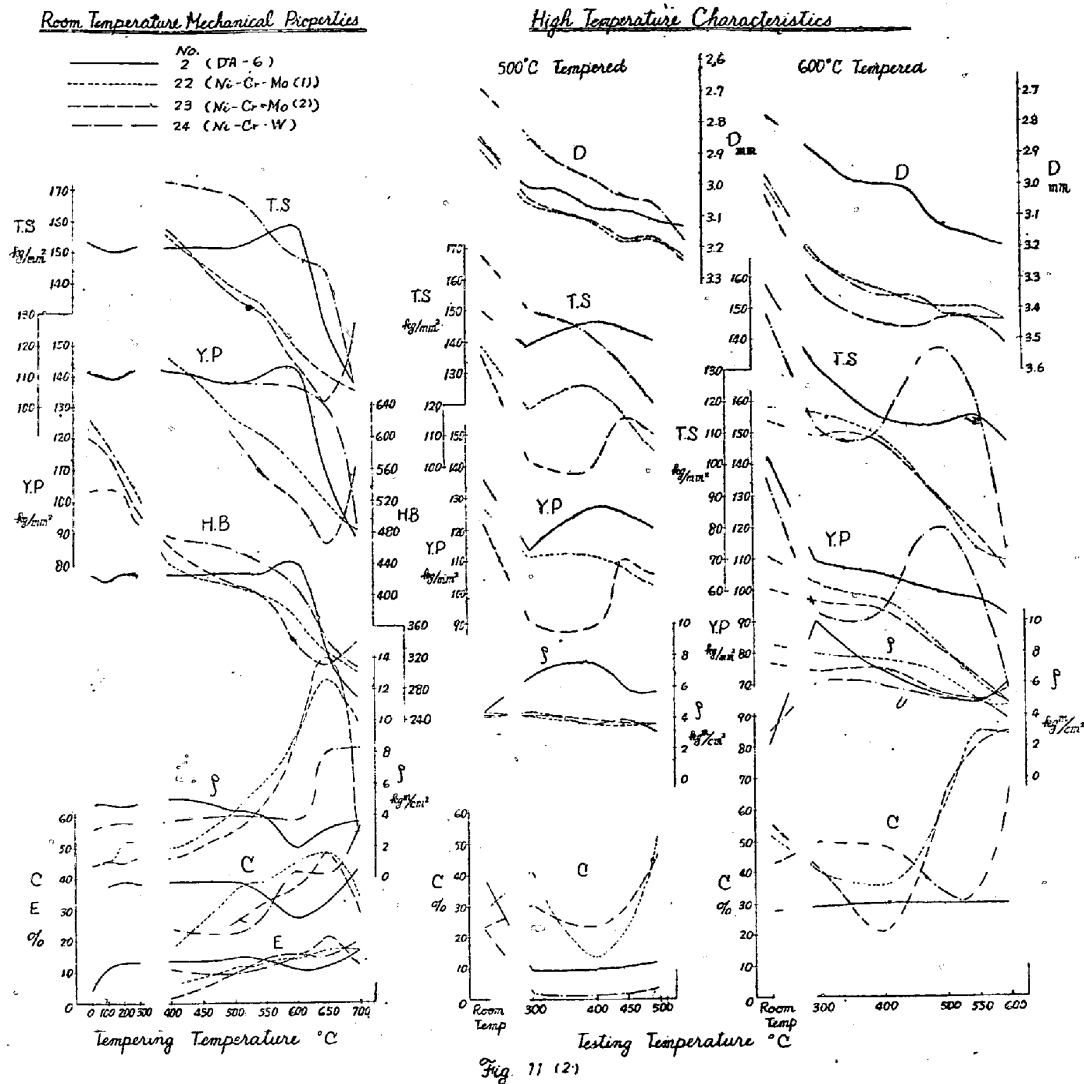


Fig. 11 (2)

No. 22~24 の常温並に高温諸性質を No. 2 のそれと比較して第 11 圖(2)に示す。

(A) 常温機械的性質

各試料を焼入後 700°迄の各温度に焼戻した場合の機械的性質の變化を圖の左に示す。抗張試験値は矢張り焼戻温度の低い所では No. 2 以外に就ては測定出来なかつた。No. 22 は 23 よりも Cr 及 Ni が少しく低く、焼戻温度 500~650°に於て抗張力、硬度は若干高いが、大體に於て近い値を示し、一元的の關係は認められない。唯 No. 23 は 650°に於て抗張力、降伏點及硬度の極小を、衝撃値の極大を示す。No. 24 はこれらの試料中では No. 2 に最も近似した値を示し、焼戻抵抗も No. 2 に次いで大きく、600~650°に於て二次硬度を示して居る。勿論 No. 22, 23 もその硬度變化よりして前記低級熱間工具鋼に比すれば焼戻抵抗は大きい。

(B) 高温機械的性質

500° 焼戻試料 No. 22 に對し 23 は抗張力が試験温度約 450° 以下では低いが、これは脆性範圍のこと故

精密に比較する事は難しい。伸、絞に於ても大差がない。No. 24 は No. 2 に對し約 400° 以下に於ては抗張力大であるが、試験温度上昇によるその低下割合が大なる爲にこの温度以上では低い値を示す。勿論兩試料共に No. 22, 23 よりは抗張力は大、絞は小であるが、衝撃値は No. 2 のみが他の 3 試料より離れて大きな値を示す。

600° 焼戻試料 抗張力、降伏點は No. 22, 23 共に殆ど等しき値を示し試験温度上昇と共に低下して居るが、No. 24 は 500° に於て著しく増加し、更に温度が上昇すると急激に低下するのに對し、No. 2 はこの兩者の中間の變化を示して居る。高温衝撃値は各試料共に大差がないが、絞は No. 2 は試験温度により殆ど變化しないのに對し、No. 22, 23 は約 400°, No. 24 は約 550° に於て極小を示して居る。

(C) 高温衝撃硬度

500° 焼戻試料に於ては No. 24, 2, 22, 23 の順にその差は僅かであるが硬度が低くなつて居り、600° 焼戻

試料では No. 2 のみ他よりも遙に硬度が大で、他の 3 試料間には殆ど差がない。

以上述べた所により、これらの試料は一般に焼戻抵抗が大きいが、その中でも Cr-Ni-W 鋼 No. 24 が No. 2 に次いで大きい。又高温機械的性質に於ては No. 2 に比し何れも試験温度による変化が著しいが、No. 24 は No. 2 に比較的近似した値を示す。唯 600° 焼戻試料の高温衝撃硬度は何れも No. 2 より相當低い。

### (iii) 質量効果

前に述べた方法により主なる試料の質量効果を試験した結果を第 12 圖に示す。これによれば No. 2 (DA-6) は前にも述べた様に概して中心迄よく焼が入る。No. 14 の低 Cr-低 W 鋼に於ては周縁より中心に向ふに従ひ抛物線的に徐々に硬度が低下し、その低下する量はロックウェル C で約 14 位である。所が No. 18 の C 鋼では周縁から約 1mm 位の極く薄い層だけが焼が入り最高硬度約 60 を示すが、それより中心に向ふに従ひ急激に硬度が低下して約 5mm 内部からは殆ど一定の硬度数約 40 を示す。次に No. 19 の中 Cr 鋼は概して中心部迄よく焼きが入るが、No. 2 と同様に中心に於て若干の硬度低下(約 4)を示す。然るに No. 21 の Cr-V 鋼では殆ど中心部迄硬度の低下する事なく焼が入つて居る。No. 22, 23 の Cr-Ni-Mo 鋼は概して中心迄よく焼が入るが、No. 23 の方が Cr 及 Ni が若干多い爲に焼がよ

く入つて居る。Cr 及 Ni の更に多い No. 24 につきさへも前記 Cr-V 鋼よりももつとよく焼が入つて居る。

以上の質量効果試験により、(1) Cr-V, Cr-Ni-W 鋼の様に試片の中心部迄殆ど同一硬度によく焼が入るもの、(2) 低 C-高 W-Cr-V 鋼, 中 Cr, Cr-Ni-Mo 鋼の様に概して中心部迄よく焼が入るが、中心に於て僅かに硬度の低いもの、(3) 低 Cr-低 W 鋼の様に内部に進むに従ひ徐々に硬度の低下するもの、(4) C 鋼の様に外周部の極く薄い層のみ硬化するもの、4 種に分けられる。

## V. 總括

以上述べた所を總括すれば次の如くである。

(1) 熱間ダイス鋼として使用される低 C-高 W-Cr-V 鋼 (C≒0.3, Cr≒3, W≒10, V≒0.3%) は焼戻抵抗が甚だ大で、焼戻温度約 600° 迄は機械的諸性質は殆ど低下しない。又高温抗張力、衝撃硬度も大きく、且温度上昇によるその低下が少いのみならず、高温に於ける靱性の温度による変化も少い、尙本鋼に於てはこれらの諸性質は W 量の幾何かの變化よりも C 量の僅かの變化に強く影響される。

(2) 低 C-高 W-Cr-V 鋼に含有される V の効果は約 1050° 以上より焼入れ、約 500° 以上に焼戻した場合に表はれて硬度が増す。又高温抗張力及衝撃硬度も V の添加により約 350° 以上に於ては増大する。

(3) 高 W-Cr 鋼に含有される W を節約する爲に W をどの程度に迄減少しても代用出来るかを C 及 Mn 量をも同時に加減したものに就き、常温のみならず高温諸性質及質量効果を併せて試験検討した結果、W を 1/2 の約 5% に低下しても C が約 0.5% 含有されれば Mn は高くても低くても概して代用出来る事を確かめた。

(4) 0.7% C, 中 Cr, 低 Cr, Cr-V 鋼の如き低級鍛型用鋼に就き常温のみならず高温諸性質を比較対照した所、勿論高 W-Cr-V 鋼には到底比すべくもないが、これらの間では C 鋼が他に比し判然と劣り、Cr-V 鋼は高温に於ける強さ及靱性の點で Cr 鋼に優るが、高温衝撃硬度の點では中 Cr 鋼に若干劣る。

(5) Cr-Ni-Mo 或は Cr-Ni-W 鋼の如き高級鍛型用鋼に就き同様に比較対照した所、一般に焼戻抵抗は大きく、その中でも Cr 及 Ni 含量の多い Cr-Ni-W 鋼のそれは高 W-Cr-V 鋼に近い。又高温機械的性質は何れも高 W-Cr-V 鋼に比し試験温度による増減が著しいが、Cr-Ni-W 鋼の方はこれに近い値を示す。唯 600° 焼戻試料の高温衝撃硬度は何れもこれよりは相當に低い。

(6) 代表的試料に就き φ 90mm × 高さ 90mm 試片の質量効果を試験した所、Cr-V, Cr-Ni-W 鋼は試片の中

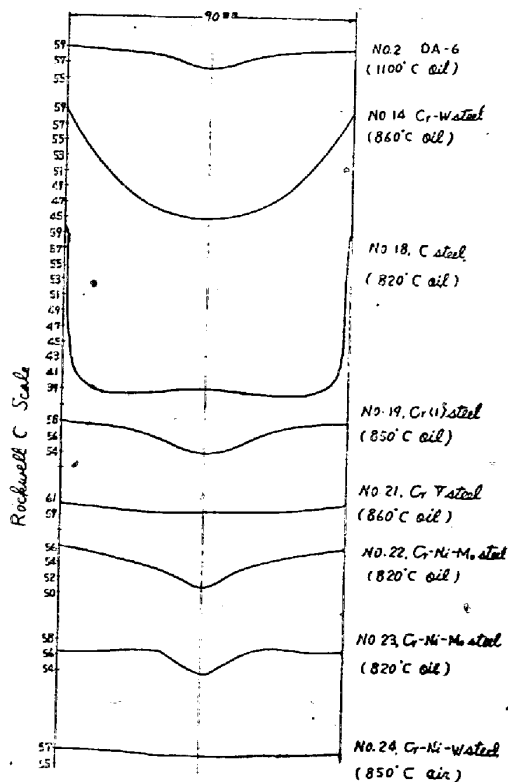


Fig 12

心迄殆ど同一硬度によく硬化して居り、高 W-Cr-V 鋼、中 Cr, Cr-Ni-Mo 鋼は中心迄概してよく硬化して居るが、中心に於て尙僅かに硬度が低く、低 Cr-低 W 鋼は内部に向ひ徐々に抛物線的に硬度が低下し、C 鋼では外周部の極く薄い層 (1~2mm) のみ硬化するに過ぎない。

終りに臨み御指導御鞭撻を賜りし渡邊社長、玉置研究部長、並びに村上武次郎先生に厚く御禮申し上げます。

(昭和 23 年 10 月密稿)

### 脚 註

- 1) 舊海軍規格名 DA-6, C 0.25~0.35, Si<0.35, Mn<0.6, P, S<0.030, Cr 2.0~4.0, W 9.0~11.0, V 0.3~0.5%, ボーラー製鋼會社の WKZ はこれに相當する。
- 2) 鐵と鋼, 29 (昭 18), 233.
- 3) 佐藤清吉, 金屬の研究, 1 (1924), 741.
- 4) E. Houdremont, Sonderstahlkunde (1935), 301.  
濱住松二郎, 輓近鐵鋼及特殊鋼 (昭 19), 351.
- 5) 日立評論, 23 (昭 15-9).

- 6) 〃 27 (昭 19-4), 217.
  - 7) 最高加熱溫度に於て切電爐冷, 冷却速度は 800° 附近で 20°/mn, 500° 附近で 10°/mn, 250° 附近で 5°/mn.
  - 8) No. 1' は緒言に於て述べた所の某所より送附されたる破損したスリーブである。
  - 9) 抗張試験の際材料が脆き爲荷重が抗張力に到らずして切斷。
  - 10) 吉川晴十, 鍛造 (實用機械工學), 81.  
堀岡米吉, 鍛鍊鍛造 上卷 (昭 19), 226.  
足立彰, 機械工作, 7 (昭 19), 333.  
W. Oertel, Maschienenbau, 5 (1926), 878, etc.
  - 11) 吉城肇蔚, 機械, 16 (昭 18), No. 9, 65.  
岡田一郎, 日本金屬學會誌, 8 (昭 19), 408.
- 第 3 圖中訂正  
600° 焼戻試料の高温試験に就て, No. 1 の 600° に於ける抗張力は 90kg/mm<sup>2</sup>, 全降伏點は 70kg/mm<sup>2</sup> に訂正す。

## 耐熱鋼の高温に於ける性質に就いて

(日本鐵鋼協會第36回講演大會 昭 23. 10 於大阪)

多賀谷正義\*・伊佐重輝\*\*

### THE PROPERTIES OF SOME HEAT RESISTING STEELS AT HIGH TEMPERATURE

Masayoshi Tagaya & Shigeteru Isa

Synopsis:— Several heat resisting steel wires of Fe-Cr and Fe-Cr-Al system were tested. This paper contains the following results of test and some discussion: The tensile strength, elongation and specific resistance at high temperature up to 1200°C. Variation of the tensile strength, elongation, number of repeated bending and specific resistance at room temperature after long time heating at 500°C, 600°C, 700°C & 800°C. Life Value at 1100°C and 1200°C.

#### (I) 緒 言

耐熱鋼の性質としては高温度に於ける強度, 耐酸化性, 熱膨脹, 高温脆化等が挙げられるが, 電熱用抵抗體としては以上の他に固有抵抗が重要な性質として附加されねばならぬ。従來電熱用抵抗體としては Fe-Cr-Al 系

合金がクロムの代用として用いられ、之れに關しては諸權威の種々の研究が發表されたが本實驗に於ては主として Fe-Cr-Al 系合金を用いて抗張力及伸, 屈曲値, 固

\* 大阪大學教授

\*\* 大阪大學工學部冶金學教室