

# 高温度に於ける各種鋼の衝撃値と鍛錬温度の關係に就て

(日本鐵鋼協會第 16 回講演大會講演 昭和 11 年 10 月)

菊田 多利 男\*

## ON THE RELATION BETWEEN THE IMPACT VALUE OF VARIOUS STEELS AT HIGH TEMPERATURES AND THEIR FORGING TEMPERATURES

Taruo Kikuta.

**SYNOPSIS:**—It is generally known that the forging temperatures of steels are presumed by their elongations of the tension test at high temperatures. From results of the tension and the impact tests on various heat-treated steels, we see that the elongation of steel changes almost similarly changed as the impact value. Hence, we measured the impact value of twenty-six kinds of steel at the high temperatures and presumed their forging temperatures from the results.

### I. 緒 論

炭素鋼の鍛延温度については、高温度に於ける抗張試験をなしその延伸率を求めて、その鍛延温度を大體決定した結果<sup>1)</sup>がある。此の高温度に於ける抗張試験は可なりの手数を要し試験材料も相當量必要である。一方鋼の衝撃値は抗張試験に於ける延伸率と密接なる關係あるもので、延伸率の大なる鋼はその衝撃値も一般に大となる、第 1 圖及び第 2 圖はその一例を示すもので、ニッケル・クロム鋼の場合について例證したものである。高温度に於ける鋼の延伸性がその鍛錬温度を決定し得るものとするれば、高温度に於ける鋼の衝撃試験をなしその値を求めれば、それにより

撃を受けても破壊し難いのである、従て高温度に於ける鋼の衝撃値を測定し行きその最高値を求めればそれより鋼の鍛錬温度が大體豫想出来るのである。

本論文に於ては炭素鋼のみならず、ニッケル鋼、ニッケル・クロム鋼、クロム鋼、不銹鋼、高速度鋼等各種の特殊鋼について高温度に於てその衝撃試験をなし、温度對衝撃値の曲線を畫き是等鋼の鍛錬温度を豫想し、なほそれによりて實地に各種鋼を鍛錬し、豫想した事が實際に附合することを確かめたのである。

### II. 測定の方法

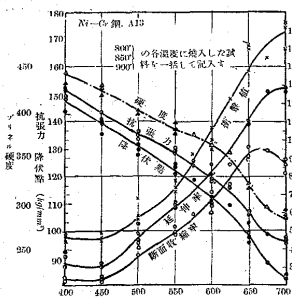
衝撃試験は 30 kgr.m のシャーピー式衝撃試験機を使用し試験片の大きさは 10mm 角、長さ 60mm で中央に 2×2 mm のノッチを切りたる標準寸法のものを用ゐた、試験片の加熱は試験機とは別に裝置されて居る電気抵抗爐を用ゐる窒素氣流中に於てこれをなした。この試験片を加熱する電気抵抗爐は衝撃試験機より約 1 m 離れて設置せられて居る故試験片が所定の温度にて 10 乃至 15 分間加熱せられた後、爐中より取出して衝撃試験機の臺上に乗せて錘打されるまでに試験片の温度は所定の温度より幾分降下する、この温度降下は試験前に各種鋼の試験片について豫め測定し置き實際測定の時に補正をなすことにした。

### III. 測定の結果

炭素鋼、工具鋼、特殊鋼等 25 種の鋼につき常溫より 1,000° 乃至 1,250°C の高温に於ける衝撃試験をなした。試料の種類可なりに多いのであるが以下順を逐ふて記載することにする。

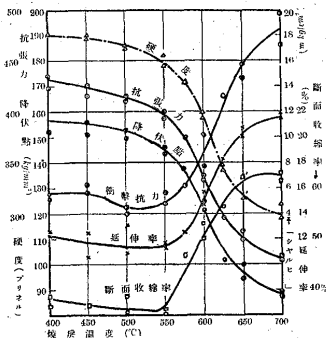
第 1 圖

C Si Mn P S Ni Cr  
0.32 0.28 0.49 0.034 0.006 3.42 1.06



第 2 圖 Ni-Cr-Mo 鋼 B. 46

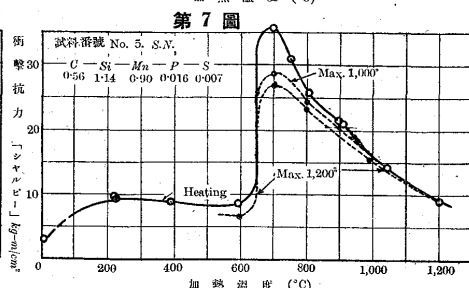
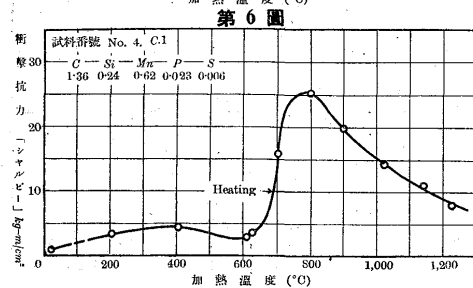
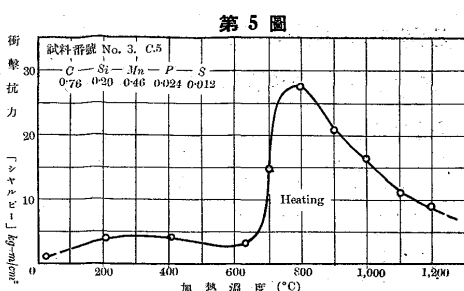
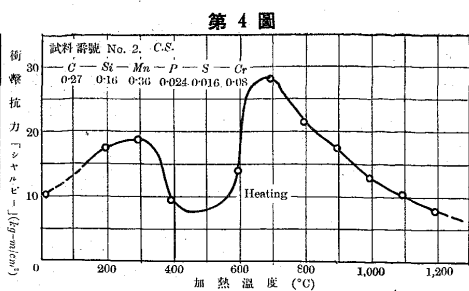
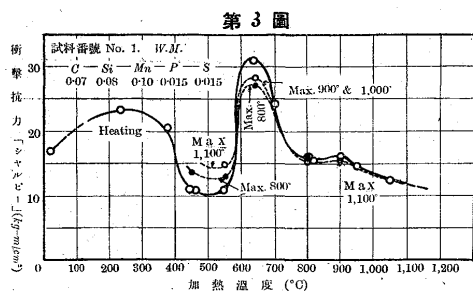
C Si Mn P S Ni Cr Mo  
0.32 0.33 0.50 0.020 0.020 2.92 2.92 0.57



ても鋼の鍛錬温度を豫想出来る筈である。又鋼の衝撃値は延伸率にのみ關係するものではなくその抗張力も亦幾分關係あるものである、つまり衝撃値は延伸率並びに抗張力のある函數の關係にあるのであつて影響の程度は延伸性の方が大部分である、即ち衝撃値の高きものは靱性が高く、打

\* 國産工業株式會社冶金研究所

<sup>1)</sup> 金屬の研究 I. 2, 175 (1924)



なり、時として鍛へ割れを生ずる  
又 750°C 以上の高温度にも完全なる鍛錬が出来ぬ。

炭素の含有量が多くなるに従ひ低い方の温度に於て起る最大値はその顯著の度合を低下し C 0.76

(1) 炭素鋼 炭素鋼として第1表の如き4種につき実験した、此の外炭素鋼に比し Si と Mn を多く含むスプリング鋼も一括本項に取纏めた。

第 1 表

試料番号	鋼の記號	鋼種	C%	Si%	Mn%	P%	S%
No. 1	W.M.	washed metal	0.07	0.08	0.10	0.015	0.018
2	C.S.	軟鋼	0.27	0.16	0.36	0.024	0.016
3	C5	中硬鋼	0.76	0.20	0.46	0.024	0.012
4	C1	最硬鋼	1.36	0.24	0.62	0.023	0.006
5	SN	發條鋼	0.56	1.14	0.90	0.016	0.007

是等の鋼について試験した結果を掲げると第3圖乃至第7圖の如くなる、各圖とも横軸は試験した温度を、縦軸は衝撃値を示して居る、第3圖は washed metal 即ち炭素含有量の極く少ない鐵に近き炭素鋼について試験した結果であるが、その曲線を見ると二つの最高値が顯著に現れて居る、その中低温に現れる最高値は温度の低下により抗張力の増大に依り衝撃値を増したものである。第二の高温で起る最高値は延伸性の増大により著しく衝撃値を増したものと考へられる、これより豫想するに此種低炭素鋼の鍛錬は 600°乃至 700°C の範囲内で行はるべきもので、これは實際現場にて施行される作業と全く一致する所である。450°乃至 550°C の温度範囲に於ては鋼は可なりに脆く

以上のものは極く僅かに最大値を現はすに過ぎぬ。又高温側に於て起る最大値も炭素量多くなるに従ひ次第に高い温度で起る様になる、なほ此の高温側にて起る最大値を通過して加熱された鋼の衝撃抗力は極低炭素鋼の場合の如く急激に落下せず漸進的である、これより 0.4% 以上の C を含む普通の炭素鋼及び高炭素鋼の抗張力は 800°C より高くなるに従ひ漸進的に減少するがその延伸性は餘り影響なく、従てかゝる鋼の鍛錬温度は 750°C 以上相當高く選擇してもよいと云ふことになる。これも實際作業と一致する處である。

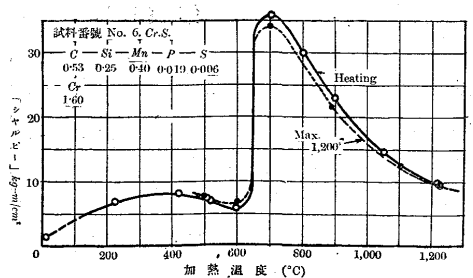
炭素鋼は以上の如くであるが No. 5 の發條鋼に就いても以上と同様説明がつく、但し高温側に於ける最高値が多少低い温度で起り、且つその生起の状態が顯著である。

(2) クロム鋼系 此の鋼系に屬するものは第2表に表示してある三種である、不銹鋼にもクロム鋼系のものである

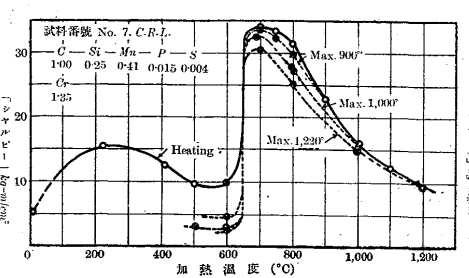
第 2 表

試料番号	鋼の記號	鋼種	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%
No. 6	CrS	クロム半硬鋼	0.53	0.25	0.40	0.019	0.006	1.60 Ni 0.03
7	CRL	ベイヤリ鋼	1.00	0.25	0.41	0.015	0.004	1.35 Mo 0.09
8	CRH	擔球盤用鋼	1.09	0.27	0.47	0.010	0.005	3.23

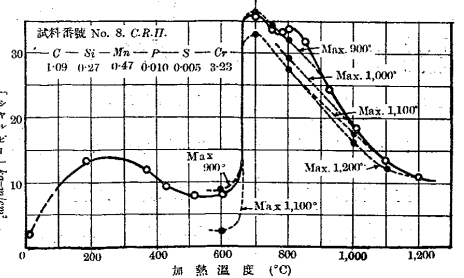
第 8 圖



第 9 圖



第 10 圖



るがこれは不銹鋼系の項で一括述べることにする。

結果を圖示すると第8圖乃至第10圖の如くなる、圖は前例と同様、縦軸に衝撃値をとり、横軸に溫度を示して居る。

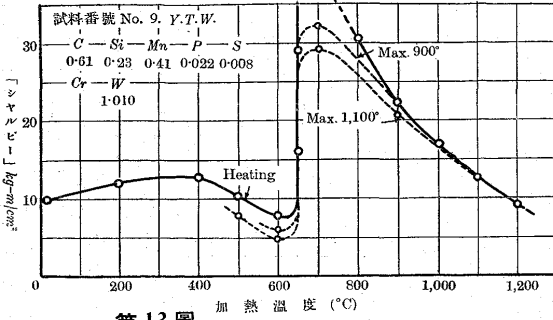
圖の曲線の中完線は試料を加熱し行き圖の横軸に示された溫度に略達した時に爐中よりとり出し試験した時の結果を示し、

點線は試料を一度最高溫度(圖の曲線に記入してある)に達したる後爐中に溫度を降下せしめ所期の溫度に降下した時に爐中より試料を取出し試験したものである、即ち前者は加熱曲線とも云ふべく、後者は冷却曲線とも言ふべきものであつて、實際作業に於ては後者の冷却曲線の方も亦可なり参考に於ては後者の冷却曲線の方も亦可なりに参考となるものである、即ち鋼塊又は鋼片を爐中に於て加熱し鍛鍊を溫度定むるには加熱曲線の方が参考となり、鍛鍊作業中鋼片の溫度は次第に降下するものであるからその降下した溫度がどの邊で止むべきものかを定むるには冷却曲線の方が参考となるものである。

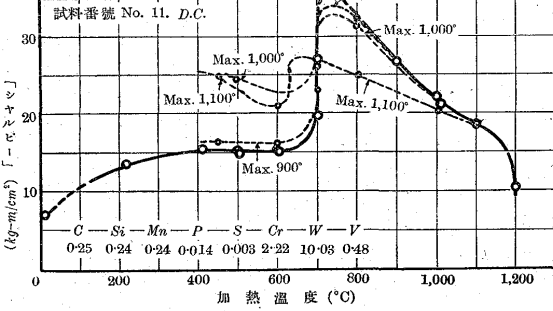
第8圖乃至第10圖に示されて居る曲線を照合して見ると大體炭素鋼の場合と同様であつて、自然前述の如く説明つく、但し是等三種の鋼はいづれも650°C以下になると急に脆くなり、鍛鍊は必ずそれ以上の溫度でやらねばならぬ事を暗示して居る。

(3) クロム・タングステン鋼、タングステン鋼 此種の鋼は大抵種々の工具鋼として使用されるもので、第3表の如き化學成分を有す。

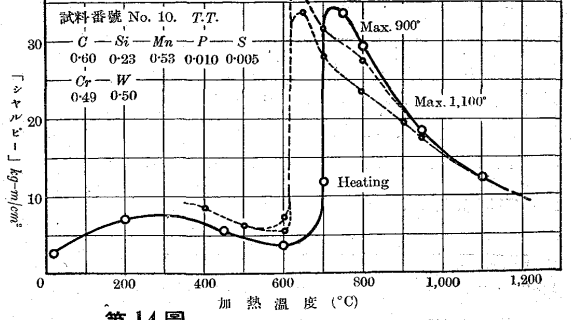
第11圖



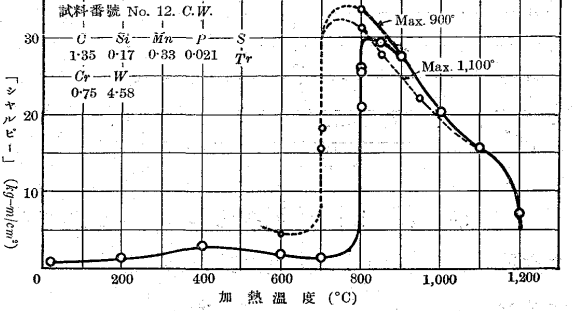
第13圖



第12圖



第14圖



結果を掲げると第11圖乃至第14圖の如くなる。是等の圖中第11圖(YTW)は前項第9圖(CRL)の曲線と殆ど同様な變化をなす、第12圖(T.T)は前圖(YTW)と多少異て居る、即ち加熱曲線は少々高く冷却曲線は少々低く最大値を現出するが、大體似た様なものである。第13圖の鋼は第二種の鋼に比しWの含有量多く、亦Crの量も多いのでC含有量低くとも、その鍛鍊は困難となつて来る、けれども此の曲線を参考とし700°C以上の溫度にて鍛鍊する時は、故障なくその作業をなすことが出来る。No. 12(CW)はC量が可なり多く、且つWも可なり含むで居るので、その鍛鍊は容易でない、第14圖曲線を参照とし900°乃至1,100°Cの間で鍛鍊すればよい。

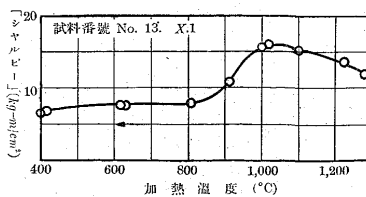
クロム・タングステン鋼の一種であるがWの含有量18%、Crの含有量4%以上の可謂高速度鋼がある、これは鋼塊よりの鍛鍊可なり困難なる鋼種である、高速度鋼にはその配合成分により數種あるが此處では市場に於てよく使用せられて居る鋼種二種を掲げ参考に供する。

第3表

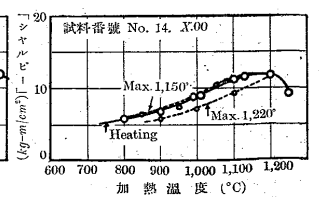
試料番号	鋼の記號	鋼種	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	W%
No.9	YTW	タガネ用鋼	0.61	0.23	0.41	0.022	0.008	—	1.01
10	TT	タガネ用鋼	0.60	0.23	0.53	0.010	0.005	0.49	0.50
11	DC	ホットダイス鋼	0.25	0.24	0.24	0.014	0.003	2.22	10.03
12	CW	硬工具鋼	1.35	0.17	0.33	0.021	frace	0.75	4.58

是等の各種鋼について高溫度に於ける衝撃試験をなした

第15圖



第16圖



是等の鋼種の高溫度に於ける衝撃試験の結果を圖示する

第 4 表

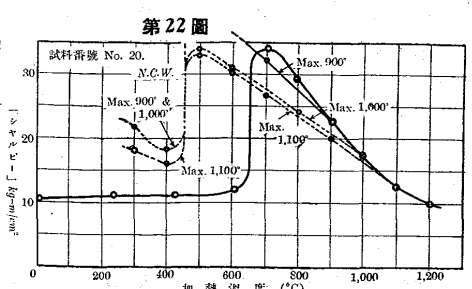
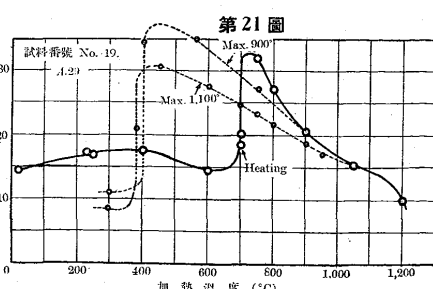
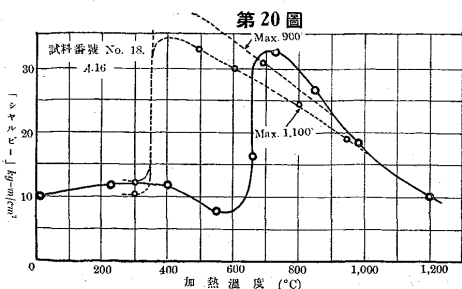
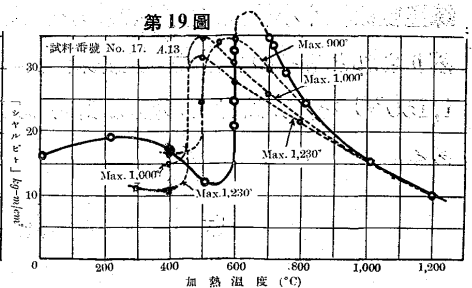
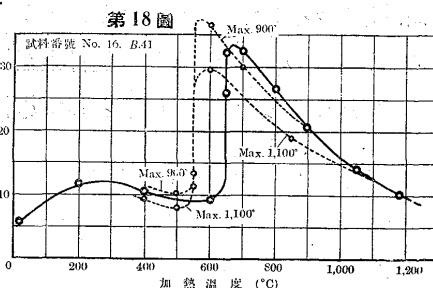
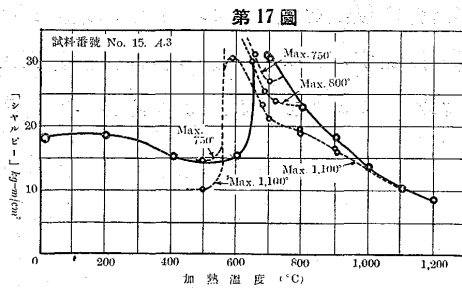
試料 番號	鋼の 記號	鋼 種	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	W%	Mo%	V%	Co%
N.13	× 1	高速度鋼	0.60	0.16	0.31	0.023	0.005	3.74	18.03	0.57	0.92	0.67
14	× 00	高速度鋼	0.77	tr	0.16	0.026	0.003	4.13	19.19	0.83	1.44	5.29

と第 15 圖及び第 16 圖の如くなる、これ等の曲線を見ると前述の鋼種と著しく異なる所あり、一見して鍛錬の困難なる鋼種なることが認知されるのである、即ち ×1 は第 15 圖の曲線より知らるゝ如く 1,000° 乃至 1,200°C の間の温度にて鍛錬するを要し、×00 は 1,100° 乃至 1,200°C の小範圍に鍛錬温度が制限される。而してその衝撃値も可なり小なるものであるから鍛錬する時の鋸打も普通の炭素鋼やニッケル・クロム鋼に比し充分に注意を要するものである。

(4) ニッケル鋼及びニッケル・クロム鋼系 是等の鋼は大抵構成材鋼として機械の重要部分に使用されるものにして本材は主として航空機材として使用される鋼材である。此種ニッケル・クロム鋼やニッケル鋼はその種類可なり多いのであるが、茲にはその代表的ものを掲げたのである他のものもこれ等の結果に依り容易に見當のつくものと思せらる。

第 5 表

試料 番號	鋼の 記號	鋼 種	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%
No.15	A3	肌焼 Ni 鋼	0.12	0.14	0.45	0.016	0.014	4.64	0.14
16B	41	Ni 鋼	0.37	0.30	0.56	0.17	0.006	3.62	0.6
17A	13	Ni・Cr 鋼	0.38	0.14	0.42	0.024	0.007	3.51	1.09 W Mo V
18A	16	Ni・Cr 鋼	0.30	0.13	0.50	0.016	0.005	4.30	1.02 0.27 0.32 0.21
19A	29	Ni・Cr・Mo 鋼	0.25	0.26	0.33	0.017	0.008	3.29	3.10 M Mo 0.66
20NC	WV	鋼	0.26	0.20	0.34	0.015	0.004	0.80	2.40 W 3.70



是等の鋼種につき試験結果を圖示すると第 17 圖乃至第 22 圖の如くなる。初めの二種はニッケル鋼であつて炭素量多少違ふが曲線の形狀相似である。その次

ぎの各曲線もその温度に對する衝撃抗力の變化の狀況は大體同様であつて、たゞ Ni や Cr の含有量が増すに從て變態點の生起の温度が變る故それに應じて冷却曲線と加熱曲線とに於ける衝撃値の最大値の起る温度の開き種々に變化する。けれども此等の鋼種はそれを鍛錬するに餘り困難を感じるものでない。たゞ No. 18 及び No. 19 の如き Ni 又は Cr の含有量大なるものはその變態點 (Ar<sub>1</sub>) は 300°~400°C の低温度で起る故鍛錬後の冷却に注意せぬと微細なる割れが生ずることあり。

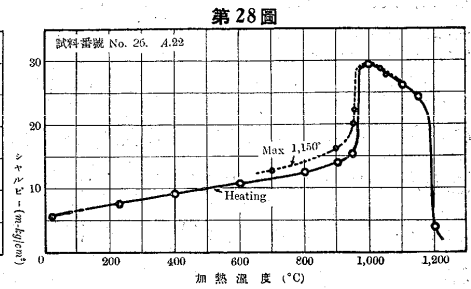
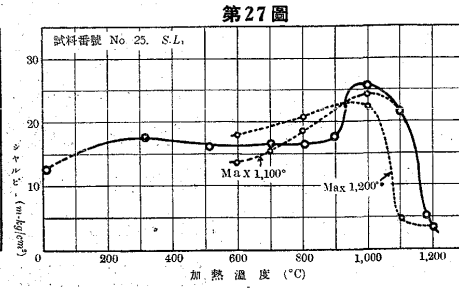
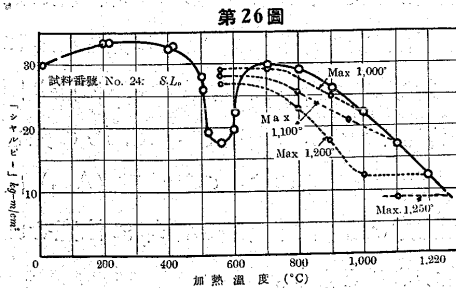
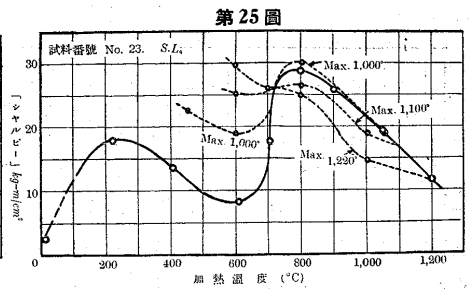
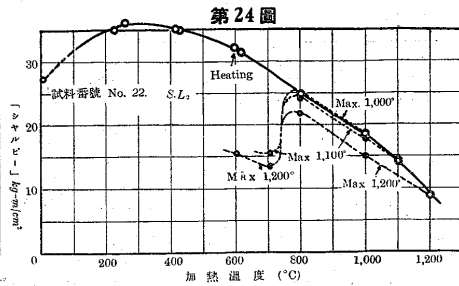
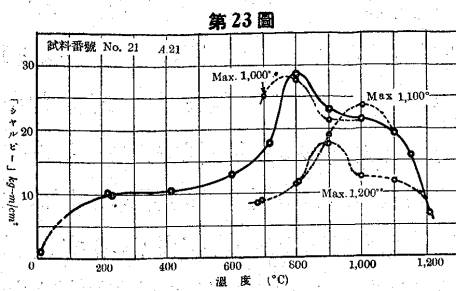
(5) 不銹鋼系 此種の鋼としては Cr 含有の不銹鋼、

第 6 表

試料 番號	鋼の 記號	鋼 種	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%
No.21	A21	Si・Cr 不銹鋼	0.34	2.44	0.36	0.016	0.008	—	11.97
22	SL <sub>2</sub>	13%Cr 不銹鋼	0.09	0.17	0.29	0.020	0.016	0.17	13.30
23	SL <sub>4</sub>	14%Cr 不銹鋼	0.30	0.29	0.33	0.026	0.009	1.82	13.96
24	SL <sub>0</sub>	18~8 Ni・Cr 不銹鋼	0.13	0.44	0.25	0.015	0.008	8.96	18.63
25	SL <sub>1</sub>	"	0.34	0.56	0.55	0.012	0.007	8.64	18.55
26	A22	バルブ用不銹鋼	0.44	1.84	0.37	0.020	0.005	13.41	15.42 W 2.41

Ni・Cr を含む不銹鋼よりこれ等に Si を 2~3% 含むシルクロム鋼や W を含むバルブ鋼等も本項にて一括述べることにする。これ等の化學成分は第 6 表の如くである。

これ等の鋼につき一度試料を熱處理し



たものにつき夫々の温度に於て衝撃試験をなした、その結果を掲げると第 23 圖より第 28 圖に示す如く夫々曲線の形状を異にして居る、それは第 6 表より知らるゝ如くその化学成分が夫々異なる爲めである。是等の曲線よりも知らるゝ如く此の鋼種の鍛錬温度は加熱曲線よりも寧ろ冷却曲線が大に参考となりそれにより温度を指定すべきである。これ等の鋼種の中 No. 20 (A 21) は 950°~1,100°C にて鍛錬した方が適當であつて 800°C 以下まで鍛錬を續けることは不可である。それは此鋼には Si の含有量相當に多く、その鍛錬温度適當でないとき粒子の生長を招來し材質不良となることあり、これについての研究はある機會に發表する考へである。又 No. 26 (A 22) は Ni 及び Cr を相當含む外 C 量も相當あり、亦 Si や W も相當含み、オーステナイト鋼である、此の鋼は他の不銹鋼と異りその鍛錬温度は極く小範圍に制限せらるべき事高速度鋼の如き感ありされどもその適當なる鍛錬温度即ち 1,000°乃至 1,150°C を選ぶ時はその鍛錬は高速度鋼より遙かに樂である。

以上の如く高温度に於ける鋼の衝撃値を知れば、それより鍛錬温度が大體豫想することが出来る。従て上述の鋼種以外の鋼でも鍛錬の困難なるものあるときは、その鋼の高温度に於ける衝撃値即ち靱性を知ればそれより最適の鍛錬温度を豫想することが出来て満足に鋼の鍛造を終ることが出来るのである。勿論この外に鋼塊や鋼片の加熱する時間も大に關係するのであつて、その爲めには一層進んで鋼の熱傳導率を知らなければならぬと思ふ。鋼種に依りてはその熱傳導率意外に悪く、表面が所期の温度に達しても内部は仲々その温度に達せぬものがある、かゝる場合には表面が鍛錬されても内部に鍛へ割れ或はもまれが生ずるものであるから此等の害をも考慮して鋼の鍛錬をなさんければならぬ、是等諸點に充分注意を拂ふ時初めて内外共に優良なる鋼材が得らるゝものである。

終りに臨み、本研究の發表を快諾された國産工業株式会社社長村上正輔氏に感謝する、又本研究の實驗は能勢正元氏主として施行された、同氏に對し衷心より感謝の意を表す。

結 論