

鋼の機械的性質に對する溫度の影響 (I)

(昭和二年十一月日本鐵鋼協會第三回講演大會講演)

佐々川 清

The Effect of Temperature on the Mechanical Properties of Iron and Steel.

Kiyosi Sasagawa

The mechanical properties of iron & steel are effected by temperature. Mechanical tests were made at high temperature range, from 20°C to 1,000°C.

The contents of this paper are as follows.

1. History
2. Impact bending test at high temperature
3. Impact tensile test at high temperature
4. Ordinal tensile test at high temperature
5. Repeated bending test at high temperature
6. Summary.

Materials used are ; — 6 plain carbon steels of various carbon content, from 0.1% to 1.2%; nickel steel; nickel-chrome steels; Ni-Cr-molybdenum steel; stainless steels for turbine blade; alloy steels for valve of aero-engine.

Impact bending test was operated on the apparatus specially constructed to fit on the Izod impact testing machine & special device was applied to impact the specimen just at the temperature wanted. The relationship between carbon content, temperature & impact figure was determined.

Impact tensile test at high temperature was made on another new apparatus and the results were compared with those of slow tensile test and impact bending test.

Special testing machine for repeated bending at high temperature was also constructed and some research was made with various carbon steels.

The comparison of each mechanical properties is described and the theoretical interpretation is given.

目 次

緒 言	及び屈曲衝撃並に普通牽引試験結果の比較 結果に對する理論的考察
第一章 高溫度に於ける屈曲衝撃試験 從來行はれた る研究の概要 吾人の研究に就て 試験装置 實驗結果 其一 炭素鋼 其二 合金鋼	第四章 高溫度に於ける疲勞試験 概 論 試験装置 實驗結果
第二章 高溫度に於ける衝撃的牽引試験 概 論 試験装置 實驗結果	結 論
第三章 高溫度に於ける機械的性質の比較 牽引衝撃	附 圖 1~20

緒 言

異常溫度に於ける鋼の機械的性質は之を溫度より見れば次の如くに分類する事を得。

1. 常溫以下
2. 常溫より 300°C 附近に到る間
3. 300°C 附近より 600°C 附近に到る間
4. 變態點附近
5. 變態點以上より熔融點に到る迄

之を工業上の用途より見るに常溫以下は低溫度にて使用或は曝露せられる總ての鋼材に對し、第二の場合は蒸汽其の他多少の溫度の上昇を受くる機構部分に就き、第三の場合は蒸汽罐、過熱器、空中窒素固定装置等に 600° 乃至 800°C は内燃機關の排氣弁、瓦斯「タービン」、強裝火藥を使用する装置等に用ゐらるる鋼材等に於て、變態點以上は鍛鍊溫度の研究其の他に對し其の機械的性質の變化は總て究知の必要あり。

異常溫度に於ける鋼の機械的性質の變化の研究方法として從來の最も用ひられしは牽引試験なるが其の他硬度試験、壓縮試験、捩り試験、衝擊試験等も並び使用せらる。

最近に於ては更に疲勞試験、靜的牽引試験等も極めて重要視せらるるに到りぬ、牽引試験に就ては 1923 年 W. Oertel 氏が Stahl u Eisen P: 1395 に詳説せるが如く、今日に至る迄約 100 年間に亘り數多の學者により研究が行はれたり。硬度試験、壓縮試験等も亦それに伴ひて研究せられしものを數多く見る。

衝擊試験に就ても後章に述ぶるが如く興味ある實驗研究多し。

次章に於て述べんとする吾人の實驗研究の内第一章は衝擊試験による鋼の性質の研究に關して從來行はれたる實驗の缺陷を補正し更に鋼の性質を明瞭ならしめんとして、行ひたる研究結果なり。

牽引試験に於て牽引速度が其の抗張力に影響を及ぼす事は周知の事實なるが高溫度に於ける鋼の性質に對する牽引速度の變化の影響に就ての研究結果は其の例に乏し。

牽引速度の極めて緩慢なる場合は、即ち靜的荷重を加へるにあり、高溫度に於て鋼に靜的荷重を加へる時は常溫にては見る事困難なる粘性的現象を現はすものにして、此の問題に關しては 1925 年 12 月佛國雜誌 Revue de Metallurgie 誌上に “Essai sur la limite de viscosité à la haute température” と題して吾人の研究結果を發表せり、更に吾人の考案による装置を用ゐて銅合金に就て爲されたる實驗結果は昭和 2 年 4 月「鐵と鋼」誌上に詳報せるにより今茲には説かず。

牽引速度の極めて速かなる場合は、即ち衝擊的牽引試験なりとす、本文中第二章には之を高溫度に保持せる鋼につき行ひたる吾人の實驗結果を、第三章には普通の高溫度に於ける牽引試験、衝擊試験、及び衝擊的牽引試験によりて得らるる鋼の性質の變化の比較につきて序述せり。

疲勞試験に關する研究も最近極めて重要視せらるるに到りぬ、此の問題に關し高溫度に於て反覆屈曲試験を行ひたる結果を第四章に述べんとす。

第一章 高溫度に於ける屈曲衝擊試験

第一節 從來行はれたる研究の概要

先づ高溫度に於ける衝擊試験に關して從來行はれたる研究中其の主なるものにつき略記せんとす。

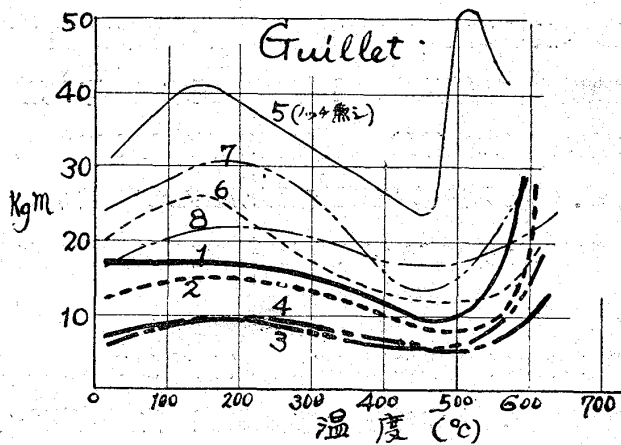
鐵鋼學の先覺者 Le Chatelier⁽¹⁾氏は既に 1899 年 Société d'encouragement pour l'industrie Nationale に “Contribution à l'étude de la fragilité dans le fer et les aciers” と題して鐵鋼の脆性につき温度の影響あることを稱へ、1906 年 Charpy⁽²⁾氏は常溫より 600°C に到る各種温度にて 5 種類の鋼につき實驗を行ひ衝擊抵抗力は 20°C にて極大 500°C にて極小を有しそれ以下の温度にては衝擊値増大することを發見せり。

1909 年に Guillet⁽³⁾氏及び Revillon 氏は Guillery 式試験機を用ひ、炭素鋼、ニッケル鋼等につき高温度衝擊試験を試み Charpy⁽²⁾氏のそれと略ぼ同様の結果を得(第一圖第二圖)更に「パーライト」「マルテンサイト」「オーステナイト」等の各種組織を有する鋼につき實驗を試みたり、第三圖は其の結果を示す。

パーライト鋼は 475°C にて最小値を有し 600°C に到れば増大す、之に反しマルテンサイト鋼にては温度の上昇と共に衝擊値を増加す、300°C 以上にては其の増加率大なり。マルテンサイト-オーステナイト鋼にては其の状態全く異り常溫より 350°C 迄は衝擊抵抗力次第に増加するも此の温度を越へれば急に減少す、オーステナイト鋼にては温度の上昇と共に曲線は低下す、カーバイト鋼にては 600°C より増加の傾向を見る。

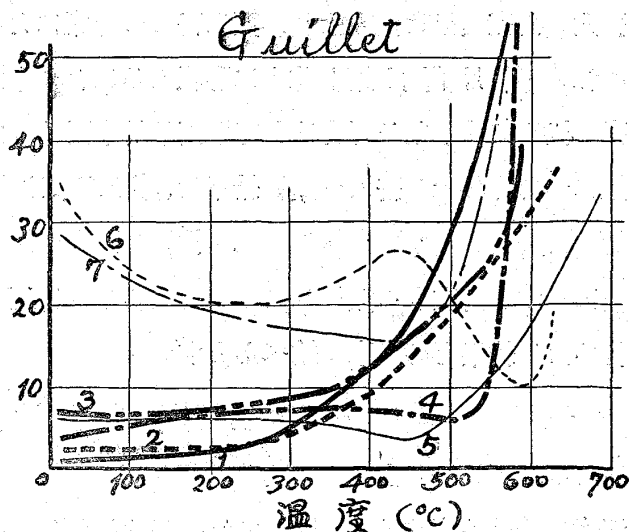
第一圖

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
C	.22	.35	.49	.73	1.22	.085	.16	.11
Ni	.....	.....	.....	.....	.....	2.99	7.10	4.35
Cr	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.85



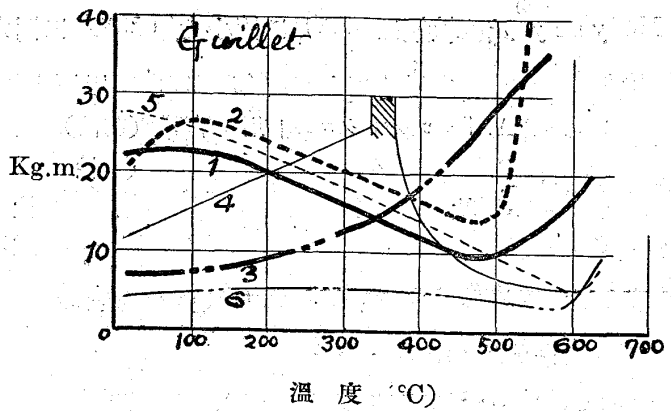
第二圖

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
C	.13	.18	.22	.78	1.05	.79	.18
Ni	12.1	20.4	12.3	4.9	9.8	25.1	4.27

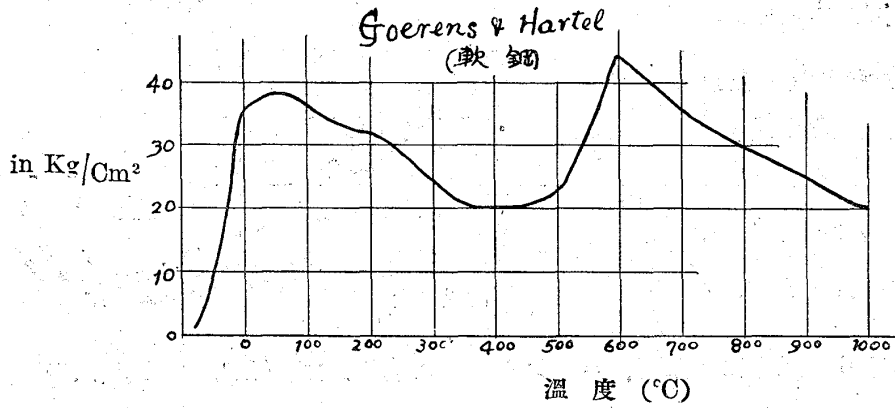


第三圖

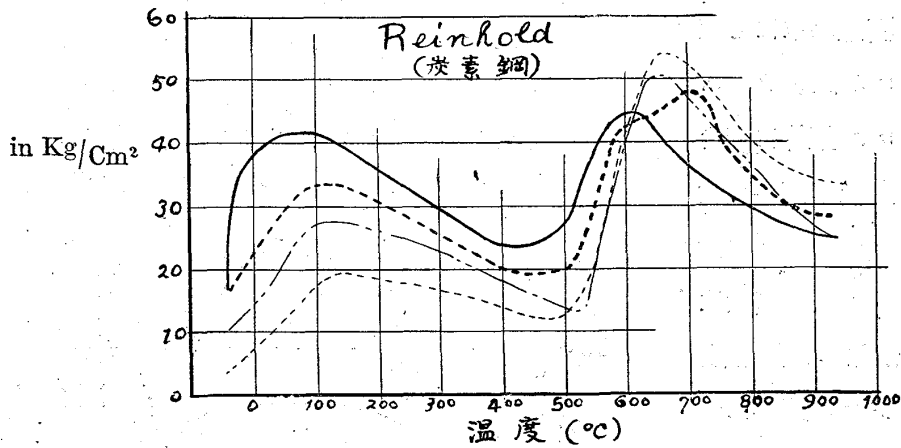
- 1 「パーライチック」
- 2 「パーライト=マルテンサイト」
- 3 「マルテンシチック」
- 4 「マルテンサイト」- γ 鐵
- 5 γ 鐵
- 6 「タンクステン」鋼



第四圖



第五圖



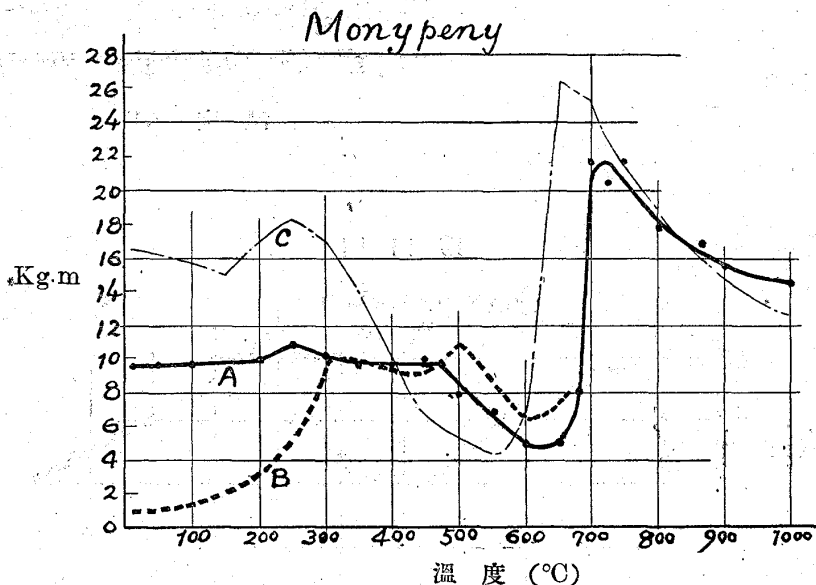
1913 年 Goerens & Hartel⁴⁾ 氏は極軟鋼にて -75° 乃至 $1,000^{\circ}\text{C}$ の温度にて試験を行ひ、零度以下にて抗力急減する事を説けり。(第四圖)

1916 年の Reinhold⁵⁾ 氏の結果は低炭素鋼にては曲線の極小、極大を示す温度は含有する炭素量によりて幾分差のあることを示せり。

1919年 Monypenny 氏は軟鋼は 55°C に極小を 650°C に極大を有し其の間の變化は溫度の小範圍

第六圖

A. 「ニツケルクロム」鋼 55/60Ton(靱性)		分析成分	
B. " (脆性)		C	Si Mn Ni Cr
C. 軟鋼		軟鋼	23.18 86 — —
		Ni-Cr鋼	31.17 54 3.50 1.58



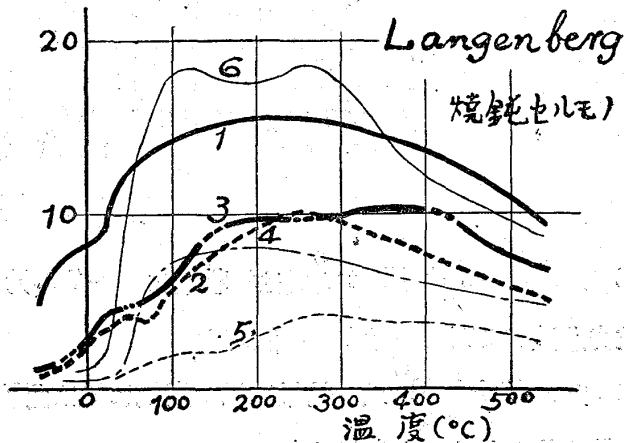
にて起り然も其の値は6倍以上に及ぶ事、ニツケルクロム鋼にては 625°C と 700°C 附近に極小、極大あり、更に焼戻脆性を起せる鋼も 300°C 附近にては普通のニツケルクロム鋼と同じ靱性を有するに到る事を説けり。

Edert 氏は 1922 年獨逸海軍にて使用せらるるニツケルクロム鋼、クロムバナヂューム鋼、高クロム鋼等につき高溫度に於ける牽引試験及び衝擊試験の結果を發表せり。

第七圖

	C	Ni	Cr
1.	21	1.94	99
2.	32	3.30	11
3.	36	1.92	97
4.	36	35	09
5.	83	24	04
6.	18	11	02

1923 年の Langenberg 氏の實驗は第七及び第八圖に示すが如し、炭素鋼、ニツケル鋼、ニツケルクロム鋼等につきて -63° より 537°C 迄の範圍にて衝擊試験を行ひたるものなり、氏は鋼の焼鈍状態と熱處理後の状態にて實驗を行ひ比較を試みたり。



獨逸の Körber 氏及び Pomp 氏は異常溫度にて數多の衝擊を試み 1924~

5291 年に互り論文を發表せり。

鋼鑄物を 500°C 迄の温度にて其の衝擊抗力を測定し 200° 乃至 300°C に於ては常温の 2 倍乃至 5 倍の衝擊値を有することを確かめ鑄物が高温にて折斷することあるは高温になりしものが一部分急冷せられ、其の部分の衝擊値が小なる爲裂罅を生ずるものなりと稱せり、氏は更に軟鋼は -70° 乃至 500°C の間に於ては其の豫め受けたる處理方法により衝擊抗力が著しく異なるものなることを指摘せり (第九圖参照)

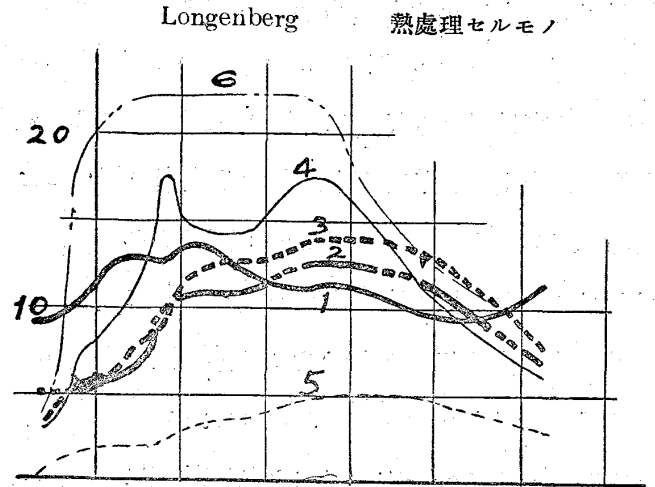
更に獨逸國立鐵鋼研究所報告 1925 年 VII にては各種炭素鋼につき豫めの處理による異常温度に於ける衝擊抗力の變化を詳説し、熱處理を施せる鋼は一般に低温に於て靱性あること、ニッケルクロム鋼は炭素鋼より低温に於ける靱性大なること等を説けり。

Maurer & Mailander¹⁷⁾ 兩氏又軟鋼につき -70° より 600°C に到る温度にて冷間鍛錬、熱處理、破壊速度等の影響を研究せり。

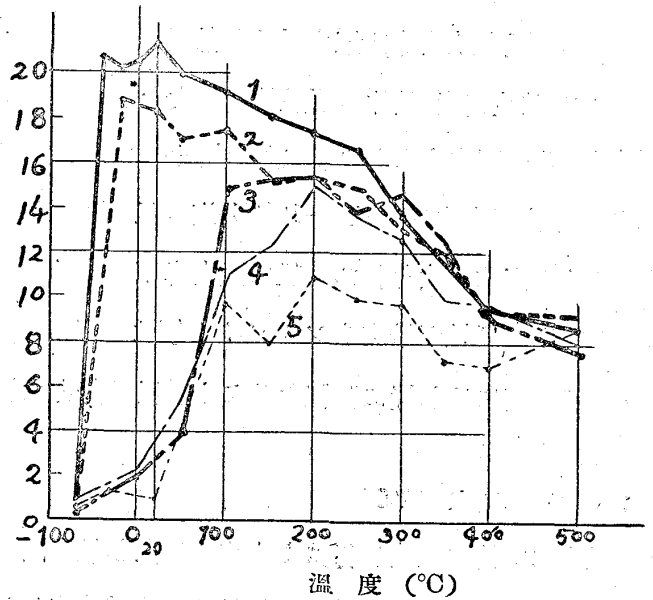
1925年の英國鐵鋼協會に於て發表せられし Greaves²³⁾ & Jones 兩氏の研究は -80° より 1,000°C に到る廣き温度範圍にて鐵、炭素鋼、ニッケル、クロム、モリブテン、バナジウム等を含有する鋼につき Charpy 式試験機にて衝擊試験を行へるもの、氏

は實驗結果よりして炭素鋼に於ては焼入焼戻せるソルバイト鋼は焼鈍鋼に比し大なる衝擊抗力を有することニッケルクロム鋼にて焼戻脆性を帯びたるものも 300°C に至れば強靱なりしものと同様な抗力を有するに到ること、衝擊抗力は試片の破壊する場合、其の屈曲角に大なる關係ある事等を説けり。氏は又 Humphley 式靜的屈曲試験機を用ゐて高温に於ける鋼の屈曲試験を試み吸收勢力の最小値は 200° 乃至 300°C にあることを見、鋼の青熱脆性に關しては Maurer & Eirender 兩氏の説の如く加荷速度の影響を主なる原因に歸せり、同氏は更に又試片の形、切込の深さ等を變じて衝擊抗力との關係を求めたり。

第 八 圖



第 九 圖



極軟鋼 (C=0.05%)

- 1: 950°C 水冷 650°C 空冷
- 2: 延伸のみ
- 3: 970°C 徐冷 10%延伸後 850°C 焼鈍
- 4: 1,250°C 過熱後爐冷
- 5: 200°C にて延伸

低温度に於ける衝撃試験に關しては1904年 Hadfield 氏は各種合金鋼の低温度に於ける機械的性質を研究せる内に試片を液體空氣中に浸しめつつ槌を以て打撃し、鋼が甚だしく脆弱となることを認めたり、Charpy²⁾ (1906) Ehrensberger (Stahl u Eisen 1907)、Goerens & Hartel⁴⁾ (1913)、Reinhold⁵⁾ (1916) 氏等の研究結果より見るに一般に常温以下にては衝撃抵抗の減少を來す、殊に鍊鐵、軟鋼にて其の傾向著し、合金鋼、熱處理を施したる炭素鋼等にては其の減少左程急激ならず。

1922年 Guillet 及び Cournot⁹⁾ 兩氏は各種金屬につき同様の實驗を試み鋼は一般に低温に於て脆性著しきを示せり (第十圖)

最近の Körber & Pomp,^{18, 19, 20)} Maurer & Mailänder^{16, 17)} 諸氏の研究結果によれば軟鋼に於ては常温以下にて急激なる脆性を帯びること、其の温度状態等は鋼の受けし熱處理及び加工、破壊速度、試片の形状等に盡大なる關係ある事明白となれり。(前述参照)

1925年山田良之助²⁴⁾氏は -190°C 迄の低温度に於て衝撃試験を行ひ一般に温度降下に伴ふて鋼の脆性が増すもソルバイト鋼は

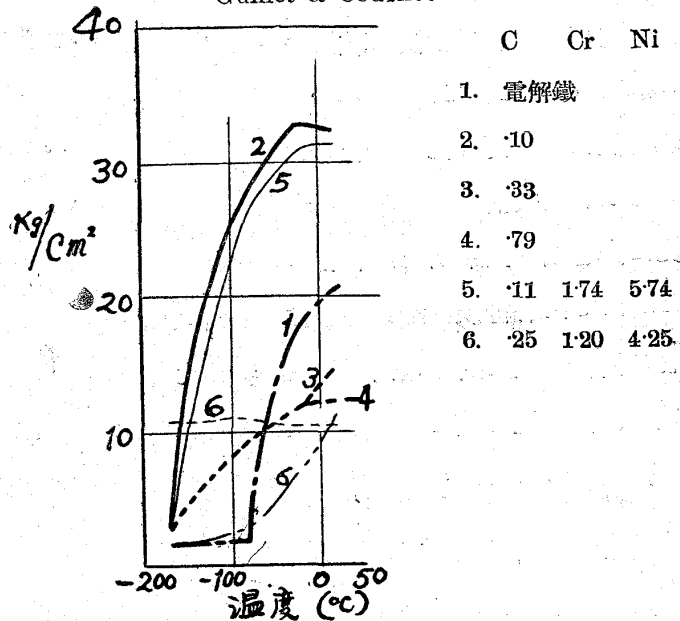
パーライト鋼に比し遙に強靱なること、吸收勢力と屈曲角度とは直線的なる關係あること等の結論を得たり。

第二節 吾人の研究に就て

高温度にて衝撃試験を行はんとするに際し最も困難を感じるは試片の加熱方法なりとす、衝撃試験は牽引試験の場合の如く試料を加熱せる儘試験することを得ず、先づ試片を適當の裝置 (電氣爐或は鹽類湯槽の如き) 中にて加熱し、目的温度に達せし時取り出して試験機に運び、然る後之を破斷するを普通とす、従つて試片は爐より出されて後或時間空氣中に曝露せらる、其の時間小なりと雖も試片の形状小なる爲冷却速かにして實際衝撃する時の試片の温度は所要温度と等しからず、且つ試片の表面と内部とに温度差を生じ、従つて其の温度に於ける材料の性質を確實に知る事を得ざる恨みあり、第一節に述べたるか如く従來衝撃試験については其の研究數多あるを見るも、何れも此の問題に困難を感じつゝあり。

又従來用ゐられたる試験機は Charpy, Frémont, Guillery の諸式にして Izod 式の使用せられたる例を見ず (Greaves (Iron & Steel Inst. 1925). 論文参照). Izod 式試験機は上述諸試験機と衝撃方法を異にし試料の切込ある部分を固定し、切込より 28 mm 離れたる部分を打撃す、従つて其の結果は必ずしも Charpy 式のそれと一致せず、一方 Izod 式試験機は其の作業極めて容易にして且鋭敏なるを

第十圖
Guillet & Cournot



以て焼戻脆性の如き微妙なる事實をも明確に表はす爲、英米及び我が國に於ては最も使用せられ、殊に我が海軍にては兵器材料の規格に採用しつゝあり、従つて異常溫度に於ける鋼の衝擊的性質を知る爲には此の Izod 式試験機を用ゐるを最も適切なりと考へたり。

(Langenberg の實驗に Charpy 式 300 kg.m 試験機を用ゐたるに對し Mony penny 氏は Vnotch を用ゐざりしを非難しつゝあり、Greaves 氏其の他の學者も Izod 式を推稱しつゝあるも昇熱後の試片の定着に困難を感じ Vnotch の試片を用ゐ Charpy 式試験機にて試験せり)

本文は此の Izod 式試験機を用ゐて従來の高溫度衝擊試験機に於ける缺陷たる試験溫度の不精確を出來得る限り除き得る装置を製作し、之によりて先づ炭素鋼につき衝擊抗力を測定して炭素量と溫度及び衝擊抗力との關係を窮め更にニツケルクロム合金鋼、不銹鋼、不酸化鋼等につきて研究せる結果を序述せるものなり。

第三節 高溫度衝擊試験装置

高溫度衝擊試験装置の構造 本装置の構造は第十一圖 a 及び b に示す。本装置をアイゾット式衝擊試験機に取付けたる状態は第十三圖寫眞に見るが如し、第十四圖寫眞は装置動作の階程を表示したるものなり。第十一圖に於て (a) は試験片が電氣爐中にて熱せらるゝ場合 (b) は試験片が衝擊せらるゝ位置に來れる状態を圖示せるものなり。

試験装置の機構を説明せんに次の如し。

第十一圖 a に於て (q) は煙管狀の長き金物にして、試験片支持臺の下部を貫通し圓筒 (p) 内を前後に動き得、前端に把手 (m) と突起 (n) に填り込む凹所とを有し、試験片支持臺との間に發條を挿入せり、(n) は連桿によりて引金 (e) に連絡し (l) を引けば (n) の突起外づれ (q) 全體は發條の力によりて前進す。

(q) の他端は雁首狀をなせる試験片支持金物 (a) となり中央に試験片の上下する 10 mm 角の縦穴を有し上部は縦に細き間隙を入れて試片の上下運動を容易ならしめ、又爐熱によりて軟化及び酸化を防ぐ爲特に高速度鋼を使用し嵌込みとなし使用不能となれば此の部分のみを取換へ得るが如くなせり、又 (a) の縦の一部に試験片の位置を定むる突起 (e) を附したり。

(d) は上下に運動し得る圓桿にして上端に鉤を有し試験片の下端の溝に引掛けて之を上下せしめ得、又其の下部は圓管 (r) の中に取り圓管の上端との間に發條を入れたり。試験片を爐中に装入せんとする時には (f) なる把手を持ちて試片と共に圓桿 (d) を擧げる、所定位置に保つ爲には側方より同じく發條の力にて差込まれたる (g) なる桿棒ありて (d) の下端の低下を防ぐ。(g) は連桿によりて引金 (j) に連絡す、(j) を引けば (g) は (r) 管内より逃げ (d) 全體は發條の力によりて下るを得るなり。

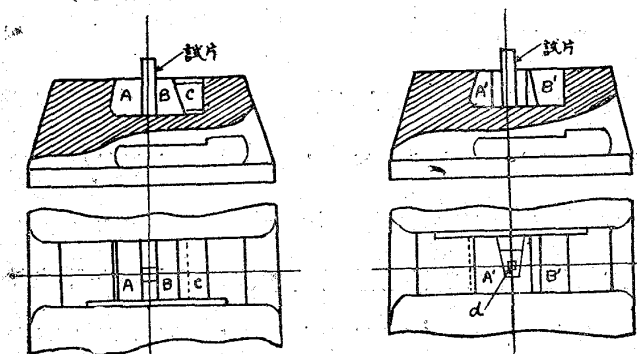
(i) は鈎狀の金物にして (d) が一定の位置に上げられたる時爐の下部の突起 (h) を挟む。(j) を引きて (d) が下る時は (f) は逃げ (i) の上端は緩み爐は發條の力によりて之を押し開きて上方に跳ね上り得。

試験片支持臺は第十二圖の如く普通の衝擊試験の場合と同じなれ共普通の場合には ABC なる金物

を用ゐるに對し、高溫度試験の際は A' B' を使用する。

第十二圖 試験片支持臺

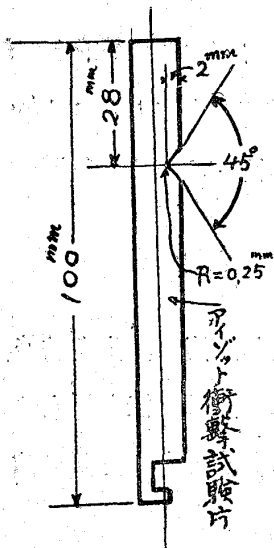
(a) 普通試験の場合 (b) 高溫度試験の場合



(イ) 試験片の取付 試験片の形状は下圖の如く上端は全くアイゾト型に同じなれ共、下端は前述せる装置に連結せしむる爲圖の如き切込を附せり、先づ試験片を支持金物 (d) に差し込めば (e) なる突起によりて一定の高さに止まる、(第十一圖) b 及び第十四圖 C 参照)、把手 (m) を前方に押す時は突起 (n) によりて第十四圖寫眞 b の如く支持金物 (a) は試験片を

支持したるまゝ、爐の直下に来る、試験片下端の切込は鈎 (c) に掛けられるにより (f) なる把手を上方に

第十五圖 引き上ぐれば試験片と共に圓桿 (d) も昇る、此の時 (g) は圓管 (r) 内に突入して (d) の下端を支へ (d) は一定の高さに迄上り、従つて試験片も一定の位置を取る、(第十四圖寫眞「aイ」)



次に爐を下方に押付け其の下部の突起 (h) を (i) に挟ましむれば試験片は爐内の適當なる場所に止まる。

(ロ) 加熱 試験片を装置に取付けし後電氣爐に電流を通じ、所要の溫度に昇熱し15分間保熱す、爐の上下兩端は石綿にて包み爐熱の逃ぐるを防ぐ、溫度は爐の中央部に差し込める Pt 及 Pt-Rd の熱電對の一端を熱せられる試験片の切込部分に接せしめて測定す。

(ハ) 衝撃 試験片を衝撃するには衝撃試験機の錘を落下せしむると同時に (j) (l) なる二つの引金を引けば可なり、爐は瞬間的に上方に逃げ試験片は下り試験

片支持金物と共に前進し支持臺に挟まれ落下し來る錘によりて打ち折らる、此の間僅に 1/5 秒を要するに過ぎず。試験片の動作は二つの階程に分たる。即ち第一動作階程は第十四圖寫眞 c に見る如く (j) を引くと共に (g) が圓管 (r) 内より逃げる爲 (d) は發條の力によりて下り同時に (i) が弛みて (k) が外づれ爐も發條の力にて跳ね上る。第二動作階程は第十四圖寫眞 d 及び第十一圖 b の如く (l) を引けば (n) が外れて (q) 全體は發條の力にて前進し試験片は支持金物 (a) と共に支持臺に確と挟み付けらる (第十一圖 b 参照) 此の2階程は殆ど同時に行はるゝものなり。

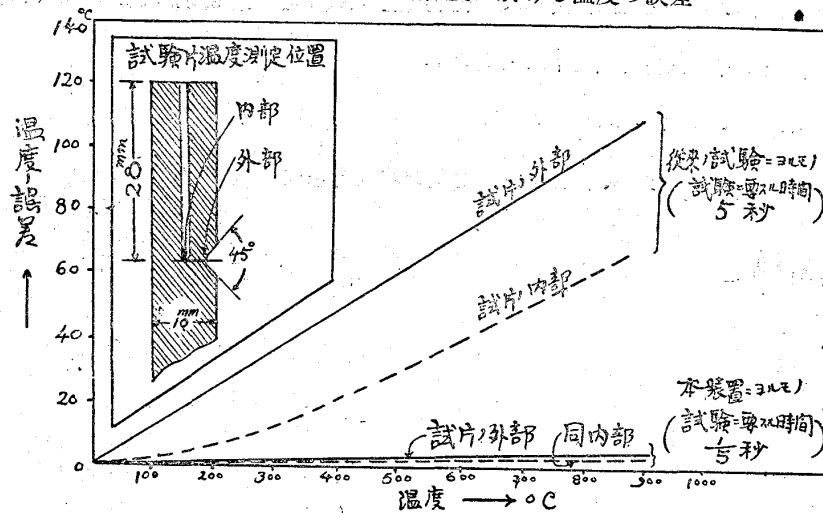
本試験装置の特徴 (イ) 試験に要する時間即ち試験片を爐より取出してより折斷までの時間極めて少なく僅か 1/5 秒に過ぎず、従つて此の間に試験片が空中に曝露され冷却される爲に生ずる溫度の低下による誤差小なり、殊に試験片の内外溫度の差殆どなし、從來の試験にありては試験片を加熱爐より衝撃試験機に持ち來す間の溫度の低下を豫め測定し實驗結果に修正を施すも、其の外試験溫度の高きにつれ試験片の内外の溫度の差甚だしきを免れず、従つて材料の所要溫度に於ける眞の衝撃抗力を知る事困

難なり。本装置に於ては此の缺點を殆ど除去し得たりと稱し得べし、今本装置及び從來の方法による各種試験溫度に於ける試片の内部及び切込部表面の溫度の差を示せば下記の表及び第十六圖の如し。

各種試験溫度に於ける試片出爐5秒後の内外溫度差

出爐溫度 °C	230	430	635	845	
出爐5秒後の溫度	試片内部	221	405	585	778
	試片外部	201	377	548	738

第十六圖 各種試験溫度に於ける溫度の誤差



上の圖に見るが如く試片に小孔を穿ちて熱電對を差し込み之と表面溫度との差を各種溫度にて測定せり、試片を所定溫度に熱し爐を去りてより 1/5 秒後及び 5 秒後に於ける試片内外の溫度の誤差を検するに 1/5 秒後に於ては試験溫度の低下小にして内外部の溫度差又極めて微なるも 5 秒後に於ては試験溫度の低下甚だしく、殊に内外部溫度の差は 900°C にて 50°C に及ぶことあり、以て本装置の溫度に對する誤差小なることを知る。

(ロ) 近來衝擊試験用として採用せらるるもの内、主なる機械はアイゾット式試験機なり、殊に我が海軍造兵材料規格には殆どアイゾット型を採用せり、従つて高溫度衝擊試験を行ふに當りても此の試験機を其の儘利用することは常溫の場合との比較に最も合理的なるべし、本装置はこの見地よりアイゾット機を其のまま適用したるものにして、然も本装置を附したる儘にても常溫試験を行ひ得、且つ又試片を加熱する間は普通の衝擊試験の施行を妨ぐる事無し。

第四節 試験結果 其の一 炭素鋼

使用金屬 試験に供せし炭素鋼の化學成分及びブリネル硬度次の如し。

鋼記號	成分					硬 度 (ブリネル 1,000k)
	C	Si	Mn	P	S	
A	·11	·12	·05	·017	·008	101
B	·23	·07	·56	·020	·034	120
C	·50	·19	·31	·021	·031	150

D	·63	·21	·41	·021	·030	179
E	·86	·29	·41	·020	·031	218
F	1·20	·39	·51	·020	·027	200

試験材は先づ 12mm 角 110mm 長さ鍛錬切斷し、之を A 及び B 鋼は 900°C 其の他は 850°C に 1 時間保熱し爐中冷却焼鈍作業を行ひ、然る後 10mm 角 100mm 長さとしり。

焼鈍せる試片の一端より得たる顯微鏡組織は、檢鏡寫眞第一乃至第六に示せり。

試験操作 試験片は前述せるが如き方法にて試験装置に附し、之を電氣爐中に入れて所要の各衝擊溫度に 10 分間保ち、然る後衝擊試験を行ひたり。

實驗結果 實驗の結果は次表(第二表)の如し、

第二表 炭素鋼の高溫度に於ける衝擊抗力 (呎/吋)

鋼記号	A	B	C	D	E	F
炭素量	0.11	0.23	0.50	0.63	0.86	1.20
20°C	82.0 ×	45.0 ×	13.2 △	10.5 △	4.0 △	7.5 △
50°	-	60.5 ×	-	-	-	-
100°	76.0 ×	62.5 ×	24.7 △	17.0 ×	5.7 △	13.0 △
150°	-	-	32.0 △	-	-	-
200°	71.2 ×	60.7 ×	34.2 △	29.0 ×	11.9 △	21.1 △
300°	64.5 ×	53.0 ×	34.0 ×	27.0 ×	13.2 △	26.2 △
400°	62.5 ×	51.9 ×	33.5 ×	27.0 ×	14.2 △	28.5 △
500°	53.5 ×	36.2 ×	27.0 △	25.6 ×	14.1 △	17.1 △
550°	49.5 ×	27.0 ×	-	-	-	-
600°	66.0 ×	28.0 ×	17.0 △	15.2 ×	10.2 △	14.8 △
650°	71.0 ×	41.5 ×	31.2 ×	26.5 ×	9.9 △	18.3 △
700°	57.5 ×	61.5 ×	63.3 ×	53.0 ×	26.2 ×	37.5 ×
750°	-	57.5 ×	64.0 ×	65.5 ×	54.0 ×	66.5 ×
800°	41.5 ×	46.8 ×	54.7 ×	55.6 ×	63.0 ×	63.9 ×
900°	38.0 ×	38.2 ×	43.9 ×	43.7 ×	45.0 ×	48.0 ×
1,000°	37.5 ×	31.3 ×	37.0 ×	38.0 ×	35.5 ×	34.5 ×

本表中の衝擊値は疑問を生ぜし時は 2 回或は 3 回の試験を試みたる、その平均値なり、2 回或は 3 回の試験が殆ど同じ數値を表はせるは本装置の誤差の少なきを證するものなり。

第二表に於て衝擊數値は吸收せられたる勢力を呎/吋にて表はす、衝擊數値の横に(△)(×)(·)等の符號を附せるは試片の破斷状態を示すものにして(△)は折り取れしもの、(×)は析目入りたるも離脱せざるもの、(·)は全く析目の入らざるものなり、Izod 型試験機を用ゐたるにより完全に破斷せざるものは衝擊後の屈曲角度は總て同一なりとす、第十七圖(寫眞)は衝擊後の試験片中代表的のものを撮影せるもの、横軸に示す數字は衝擊溫度なり。

第十八圖は前表の衝擊値を曲線として表はしたるものなり、縦軸は衝擊抗力(呎/吋)を横軸は溫度(°C)を示す。

炭素量 0.1 % 鋼にて衝擊値は常溫に於て最大にして溫度の上昇に伴ひ抗力減ず、350°C 附近は其の減少率比較的小なるも 400°C を越へて著しく 550°C にて極小點に達す、此の溫度を越へれば又抗

力を増し、630°C に極大を見、それ以上の溫度にては又急激なる低下あり、800°C より 1,000°C 附近迄の抗力は殆んど變化なし。

炭素量 0.23% のものは常溫より 50°C に於ての方、衝撃抗力は 20 呎/听も多く、其の増加急激なり 250°C 附近より低下しはじめ 400°C にて停りそれより溫度が上昇すれば急激に減じ、570°C に於ては 50°C の時の衝撃値の半分以下になる、710°C にて再び極大を有し、それより高溫に到るに従ひ、はじめは急に漸次に緩かに減少す。

炭素量 0.50% 鋼にては常溫に於ける衝撃値は 13 呎/听到過ぎず、溫度の上昇に従ひ衝撃値増し、200°C にては 35 呎/听到達す、これより 400°C 迄は殆んど變化なし、400°C 以上にて衝撃抗力の減少すること、590°C に極小 730°C に極大のあること、それ以上の溫度にて衝撃値低下すること等は炭素量 0.23% の場合と傾向同じなり。

炭素量 0.63% のものは其の傾向 C=0.5% のものと殆んど同じなるも一般に衝撃値低く曲線全體が少しく高溫度の方に移れるが如き傾向あり、最初の極大は 220°C, 500°C より衝撃値下り 600°C に極小 750°C に極大を認む。

共析鋼に近き炭素量 0.85% 鋼にては常溫に於ける衝撃値極めて少なく、4 呎/听到過ぎず、250°C にて 13 呎/听になる、250°C 以上にては抗力の變化殆どなく 530°C 附近より下りはじめ極小は 630°C に現はる、780°C にて極大に達し、其の値は 65 呎/听にして常溫のその 15 倍に達す。

炭素量 1.2% のものは共析鋼の場合より一般に衝撃値稍大にして常溫にては 8 呎/听、400°C にて 26 呎/听あり、極小は 600°C 附近にあり、14 呎/听程にして最極小の範圍稍廣し、760°C 附近に極大ありてその値が他の低炭素鋼のそれと殆ど同じなるは炭素鋼の一般的傾向中に入るものなる可し。

低溫度に於ける炭素鋼の衝撃値につきては最近我が國にても山田良之助氏の實驗結果あるを以て特に之を行はず、山田氏の實驗は試験機として Charpy 式を用ゐる試料寸法、檢溫並びに試験方法等吾人のそれと同一ならざるを以て直ちに之を吾人の結果に比較應用することは困難なるも、炭素鋼の衝撃抗力の溫度變化に對する傾向を見るには便なるが故に、參考として氏の實驗結果を Izod 數値に換算して第十九圖に表せり、從來唱へらるゝが如く燒鈍せる總ての炭素鋼は常溫以下にては甚だしく脆弱にして -100°C に於ては Izod 數値 2 呎/听以下なり、常溫にて 80 呎/听以上の抗力を有する軟鋼も -50°C にては衝撃値の低下極めて急激なるは興味ある事實なりとす (Körber 氏の研究参照)

實驗結果の綜合 前述の實驗結果を綜合して溫度と炭素量及び衝撃抗力の關係を表はせるものは第二十圖の衝撃抗力同高曲線及び第二十一圖(寫眞)に見る立體なりとす。

第二十圖は縦軸に炭素量、横軸に衝撃溫度をとり、衝撃抗力の等しき數値を連結して等高曲線を畫けるもの、第二十一圖の寫眞は、此の三關係を立體的に示せるものにして高さは即ち衝撃値なりとす。

前述せるが如く低炭素鋼は常溫以下にては極めて脆弱なるも常溫附近にて韌性を恢復して極大値を

有し、それより次第に減少し 400°C より急に低下し 600°C 附近に極小をつくり、又急に増大し 700°C 附近に極大を有し、それ以上の温度にては次第に減少する傾向を有す。此の傾向は炭素鋼一般に存在す、但これ等の極大、極小の位置は炭素量の異なるに従つて變化するものにして炭素量 0.9% 迄は一般に炭素量の増すに従つて極大極小の位置は總て高温の方向に移るものゝ如し、第一の極大は炭素量少なき時は -20°C 乃至 100°C の間にあれども炭素量の増加に従ひ極大點に於ける衝撃數値は減じ、極大の位置は高温方向に移り常溫に於ける衝撃値は急減す、常溫に於ける炭素含有量による衝撃値の變化は立體(第二十一圖寫眞)圖の常溫度面にて切斷せる衝撃曲線にて知り得べし。

低炭素鋼にては温度上昇と共に衝撃値は下るも 350°C 乃至 400°C 間にては、其の低下度極めて小なり、この點も亦炭素量の増すに従つて高溫度方向に移ることは同高曲線より見ても明かなり。600°C 附近に現はるゝ極小も亦炭素量と共に高溫度に移る傾向明かにして、殊に炭素量少なき間は其の傾向著しく且極小點に於ける衝撃値は炭素量の増加するに従ひて低下極めて急激なり、700°C 附近の極大も 600°C の極小と同様の傾向を有す、即ち極軟鋼にて極大點が 630°C 附近にあるものが 0.5% 鋼にては 730°C、0.86% 鋼にては 780°C に移るが如し。700°C 附近の極大に於ての衝撃値は炭素量の如何に拘らず殆ど一定なり。極大を越えてそれ以上の温度にて衝撃値は初めは急に次第に緩に低下する事は一般的傾向なり、極めて低き炭素鋼にては高温に於ての衝撃値殆ど變らず總ての炭素鋼に於て一般に極大を越えて 1,000°C 迄の間には衝撃値に異常なる變化を認めず。

試片の破斷状態を見るに(第十七圖寫眞) C=0.1% 鋼にては常溫附近にては切込部に僅かの疵が入るのみなれども 500°C、600°C 附近の衝撃値少なき試片の破損は大なり、700°C 以上のものは切込部にも疵が入らず衝撃せる部分より支點たる切込部迄一般に延び曲れるを見るなり。炭素量が増せば低温衝撃により試片には一般に疵を生ず、500°C、600°C の試片は衝撃部切損離脱せり、殊に炭素量極めて多き 0.85% 鋼にては、總て離脱せるを見る、衝撃抗力少なき亦當然なるべし。衝撃曲線にて高溫度の極大以上の温度にて衝撃せるものは炭素量の如何に關せず切込部に疵が入らず柔粘的に延びたる事は寫眞を見ても明かなるべし。

試験結果 其二 合金鋼 兵器用鋼材の主要部分を占むるニツケル・クロム鋼は屢々高溫度に於て種々なる歪力の元で使用せらるゝ事あり、又タアピン翼材、内燃機關の排氣弁鋼材の如き、何れも高溫度に曝露せられ、其の温度に於て衝撃的牽引歪力、或は屈曲歪力を受くるものなり、これ等の鋼材につき高溫度に於ける機械的諸性質を知る事は鋼材の選擇、器械の設計等に極めて重要なるにより、現今使用せらるゝ兵器用ニツケルクロム鋼材タルピン翼材、排氣弁材等につき高溫度に於て衝撃試験を行ひたり、牽引試験結果につきては後章に述ぶ。

使用金屬 實驗に供せる鋼材の分析成分及び熱處理は次表に示すが如し、この内ニツケル、クロム鋼は既に大鋼塊にて調質せる儘のものにして焼入焼戻濟みのものより試片を採取せるなり、不銹鋼、排氣弁鋼は 12 mm 角長さ 110 mm のものに表に記せるが如き熱處理を施し、後之を 10 mm 角長さ 100

mm の Izod 試験片に仕上げたり。

本表中不銹鋼 Ni 鋼は普通の Izod 型試験片にては靱性大なる爲曲折せず、よりに切込を深く 3 mm

第三表

鋼種	符號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	熱處理
ニッケルクロム鋼	G	.24	.13	.66	.023	.018	3.74	.63	-	-	820°C 焼入 620°C 焼戻
	H	.37	.19	.31	.024	.016	3.54	.90	-	.18	
	I	.29	.29	.71	.026	.015	2.40	.78	.73	.21	
不銹鋼	L	.12	.07	.33	.017	.007	.50	12.85	-	.28	950°C x 30分 油中焼入 700°C x 2時間 油中焼戻
	M	.23	.05	.22	.025	.002	1.87	12.73	-	.36	
	N	.39	.07	.38	.046	.011	9.07	16.64	-	-	
排炭鋼	O	.73	.12	.10	.004	.006	-	3.94	17.89	1.00	900°C x 30分 油中焼入 700°C x 2時間 油中焼戻 1000°C x 30分 油中焼入 800°C x 1時間 油中焼戻
	P	.40	2.74	.18	.022	.020	.55	11.11	-	-	
	Q	.26	1.58	.30	.019	.016	4.58	10.06	-	-	

とせり、從つて其の數値は他の材質と直ちに比較するを得ざるものなり。

試験操作 試験の方法は炭素鋼の場合と全く同様なり。

實驗結果 實驗に供せる鋼材の衝撃試験片の一端を磨きて顯微鏡組織を検せる寫眞は檢鏡寫眞第7乃至第16とす。

常溫より 1,000°C 迄に到る高溫度に於ける衝撃試験の結果は

第四、五及び六表の如し、同表には各試片につき測定せるブリネル硬度を參考の爲記せり、これ等試験結果を溫度の函數として表したる曲線圖は第二十二、二十三及び二十四圖なり。

ニッケルクロム鋼 試験に供せる4種のニッケル、クロム鋼は其の化學成分の特徴次の如し。

	C	Ni	Cr	Mo
G	.25	3.5	.8	-
H	.35	3.5	.8	-
I	.30	2.5	.8	.6

即ち H は G より稍高炭素のもの I は Ni 1% に置換するに Mo 0.6% を以てせるものなり
調質せる、これ等のニッケル、クロム鋼につきての試験結果を見るに炭素鋼の場合と異なり常溫より 350°C 附近迄は、其の衝撃抗力殆ど變化せず、350°C より急に減少する傾向あるを見る (I 鋼は漸次低下す) 炭素鋼に見たる極小點は矢張 600°C 附近にあり、其の數値は何れも常溫のそのの半分に過ぎず、極小を越えれば急に増大し、720°C 附近に於て極大あるを示す、極大の數値は各鋼多少其の値を異にし、H 鋼にて最大なり、極大の數値は一般に常溫度のそのの2倍位なり極大點以上の溫度にては衝撃値急減す、極大點より 1,000°C 迄の間には衝撃値の異常變化を認めず。

Mo を加へし I 鋼材は極小點に到る迄の曲線多少他の鋼と異なる。

これ等ニッケル、クロム鋼の常溫より 350°C 迄の溫度に於ての衝撃値が殆ど變化せざるは後章に詳記する牽引衝撃による結果と比較して極めて興味ある事實なり。

調質せざる、即ち焼鈍状態のニッケル、クロム鋼の衝撃曲線は第二十二圖 (I' 鋼) に示すが如し、I 鋼材の焼鈍状態のものにつきて試験せる結果にして、之を同じ鋼の焼入焼戻状態のものと比較する

に常溫に於ては焼鈍状態のものは極めて脆弱なるも温度の上昇と共に衝撃抗力は増し、200°C にては常溫の倍以上の數値を有するに至る、併し調質せるものには猶及ばず、350°C にて脆弱性を現はしはじめ 600°C にて極少値に達す、720°C 附近にて極大値に達すること、それ以上の温度にて再び低下すること等は調質状態のものと同じ、600°C 迄の數値は一般に焼鈍状態のものは調節せるものより小なれ共 700°C 以上にては全く同じになる。

第四表 ニツケルクロム鋼の高温度に於ける衝撃抗力 (呎听)

試験温度°C	G	G'	I	I'	H
常溫	^(24°) 47.8 ×	^(24°) 45 △	^(20°) 40.0 ×	^(20°) 11.0 △	^(16°) 47.0 ×
100	48.0 ×	135 △	41.5 ×	15.5 ×	48.0 ×
200	48.3 ×	268 △	42.0 ×	27.3 ×	47.0 ×
300	48.5 ×	37.5 ×	39.2 ×	28.0 ×	48.0 ×
350	-	445 ×	-	-	47.8 ×
400	40.3 ×	445 ×	37.5 ×	24.0 △	42.5 ×
500	29.1 ×	35.0 ×	30.5 ×	16.0 △	32.5 ×
550	-	-	-	-	-
600	23.5 ×	21.2 △	22.5 ×	12.0 △	24.2 ×
650	29.0 ×	34.2 ×	37.6 ×	18.4 △	49.2 ×
700	57.8 ×	49.0 ×	68.0 ×	63.5 ×	84.0 ×
750	68.0 ×	66.0 ×	71.0 ×	72.5 ×	85.3 ×
800	58.0 °	57.2 °	63.0 °	60.0 °	72.6 °
900	44.5 °	-	49.5 °	44.5 °	51.3 °
950	-	-	-	-	43.2 °
1000	32.0 °	-	39.3 °	-	-
常溫に於ける ブリネル硬度	230	232	311	302	262

備考: - (△)ハ折り返しエ (×)ハ割疵入りリルエ (°)ハ折リザルエ

前述せる G 鋼材と同一成分にて焼戻脆性を起せる鋼につき同様な高温衝撃試験を行ひたる結果は第二十二圖 G' 鋼曲線にて表はさる、常溫に於て靱性あるものは 48 呎/听の抗力を有するに對し脆性を帯ぶるものは 4.5 呎/听到過ぎず、然れ共温度の上昇と共にこの數値は次第に昇り 350°C にて普通のニツケル、クロム鋼と全く同じ靱性を有するに至る、この事實は前章にて説けるが如く既に Monypenny 氏により述べられたり、焼戻脆性に關しては更に後章に述ぶる所ある可し。

不銹鋼 不銹鋼として用ゐらるるものは其の數多し、其の内

代表的なるものにつき實驗を試みたり、L 鋼は Steblite (Thomas Firth 社) に相當するものにして Cr 13% を含有し炭素量極めて低きものなり。

M 鋼は Krupp 社の V1M に近く Cr 13% Ni 2% にて炭素を 0.2% 乃至 0.4% 有するもの、N 鋼は Krupp 社の V2M に相當し Cr 17% Ni 9% を含有し所謂オーステナイト鋼なり。

以上 3 種の機械的性質は略次の如し

	弾性限 kg/mm ²	破斷界 kg/mm ²	延伸率 %	衝撃値 (Charpy)kg.m
L 鋼	40 以上	60 以上	25 以上	6 以上
M 鋼	-	100/120	12 以上	-
N 鋼	45 以上	75 以上	45 以上	11 以上

高温度に於ける衝撃抗力 (呎听)

第五表 不銹鋼

第六表 排氣弁用鋼

試験温度	L	M	N <small>3mm</small>	O	P	Q
常温(20°C)	98.0 ^x	54.0 ^x	92.0 ^x	7.0 [△]	24.3 ^x	10.0 [△]
100	95.0 ^x	59.5 ^x	87.0 ^x	7.1 [△]	35.7 ^x	15.5 [△]
200	92.0 ^x	61.2 ^x	82.0 ^x	8.5 [△]	44.3 ^x	25.5 [△]
300	89.0 ^x	61.0 ^x	76.0 ^x	14.0 [△]	53.5 ^x	28.3 [△]
400	82.5 ^x	58.0 ^x	69.5 ^x	15.5 [△]	54.5 ^x	29.5 [△]
500	74.5 ^x	59.0 ^x	67.0 ^x	16.0 [△]	57.0 ^x	27.0 [△]
600	67.2 ^x	52.5 ^x	66.5 ^x	13.0 [△]	55.0 ^x	34.0 [△]
700	58.0 ^x	49.0 ^x	69.0 ^x	14.6 [△]	60.0 ^x	42.5 ^x
800	53.0 ^x	57.7 ^x	60.0 ^x	24.0 [△]	69.7 ^x	61.2 ^x
900	47.8 [○]	57.3 ^x	50.0 ^x	32.5 ^x	66.5 [○]	61.5 ^x
1000	43.5 [○]	48.5 [○]	40.0 ^x	39.0 ^x	49.8 [○]	50.0 ^x
常温に於ける ブリネル硬度	195	255	197	325	255	341

備考: (△)ハ折リ取レモ (x)ハ折レタルモ (○)ハ折レザルモ

顕微鏡寫眞より見るも明かなるが如く L 鋼はフェライト・ソルバイト、M 鋼はマルテンサイト・ソルバイト、N 鋼はオーステナイト組織なり。

M 鋼は硬度を相當必要とする場合用ゐらるるも L 鋼 N 鋼に比すれば不銹性少し、L 鋼 N 鋼は目下タービン翼材として使用せられつゝあり、N 鋼の方強度及び靱性大なるも、被削可能性は遙かに L 鋼に及ばず。

3 種鋼の高温度に於ける衝撃抗力曲線(第五表、第二十三圖)を見るに L 鋼は温度の上昇と共に衝撃値次第に低下す、其の傾斜は極めて規則的にして、其の間に異常變化を認めず、1,000°C に於ける衝撃値は常温の約半分なり。

M 鋼に於ては高温に到るも、其の衝撃値に大なる變化なし、700°C にて稍低きも 850°C にて又高く、それより高温にて漸次低下するもこれ等極大、極小の値の差極めて小なり。

N 鋼は常温より 400°C に到る迄衝撃抗力次第に低下し、其の後は 700°C 迄殆ど變化なし、700°C を超えて急激に減少す。

全般を通じ炭素鋼或は低 Ni-Cr 鋼に見るが如き、青熱脆性に相等する 600°C 附近の極小及び 720°C 附近の極大を見ず、3 種の不銹鋼が各其の衝撃曲線を異にするは興味ある事實なり、卷末附圖に示す差熱膨脹曲線にて明かなるが如く L 鋼は 820~900°C、M 鋼は 720~800°C に變態あり、爐中冷却曲線より見れば L 鋼はソルバイト鋼、M 鋼は自硬鋼の如き感あり、N 鋼は全くオーステナイト組織にして 1,000°C 以下には變態點を見ず、衝撃試験に供せる L 及び M 鋼は第三表に見るが如く、焼入、焼戻の熱處理を施したるもの、従つて兩者共にソルバイト組織に屬する筈なり、然るに衝撃温度曲線にては L、M、N 3 種鋼の何れも、其の傾向を異にし、且炭素鋼、Ni-Cr 鋼に見るが如き青熱脆性の存在を見ず、猶變態點に相當する温度に於ても異常變化を認めず、衝撃數値は何れの温度に於ても、N 鋼最も高く L 鋼之に次ぎ M 鋼最も小なり。(N 鋼は極めて軟性に富み制式のアインツト試験桿切込深さ 2mm にては 120 呎/听試験機にかゝらず、依つて切込深さを 3mm とせり、従つて第五表に示す數値は之を直接他の鋼のそれと比較することを得ざるものなり)。

不銹鋼は上述の如く曲線の異常變化少なく、且脆性帯なし、M 鋼の如きは高温度に於ける衝撃値は常温のそれと略ぼ同じ値を有す、タービン 翼其の他各種の器械は屢々 300°C 或は 500°C 以上に熱せらるゝことあり、不銹鋼の衝撃抗力の變化少なきことは使用者に安心を與ふるものなり。

排氣弁用鋼 内燃機關の排氣弁は其の一端は直接燃焼瓦斯に接觸せらるゝが故に甚だしく高温に熱せらるゝものなり、其の作動する場合には常に弁坐に衝撃せらるゝものなるが故に排氣弁用鋼は高温度に於て衝撃に強く硬度高きものを要す。

排氣弁用鋼材としては従來各種合金鋼が使用せられ、又其の研究も數多きものなり (M. Mahoux: L'acier soupape. Rev. de Metallurgie 1925. P. 31) 其の内主なるものは Ni-W 鋼 (C=0.4 Ni=4 W=2%)、高速度鋼 (C=0.7 Cr=4 W=18 V=1%) 等なるべし、最近に到り不銹鋼 (Cr=12.0%)、シリクロム鋼 (Cr=12. Si=2~3%) 等が賞用せらるゝに至りぬ、Grard 氏 (Revue de Meta. 1926. P. 317) は、これ等各種の合金鋼にて實驗を試みシリクロム鋼が最も良好なることを指摘せり。シリクロム鋼は變態點高く、高温度にて酸化せず、硬度の減少も少く、機械作業容易なるを以て排氣弁用鋼としては適當なるものなり、Si の含有により W を含む高速度鋼に比し輕きことは航空機發動機用として一層良好なり、Cr=12% Si=2~3% を含有す、猶 Mo, V, 或は W 1% を含有するものあり、シリクロム鋼に Ni を加へたるものも或種の發動機に用ゐらる。

吾人は排氣弁用鋼の代表的なるものとして、次の 3 種を選びて高温度に於ける衝撃試験を試みたり猶これ等以外にも數種の合金鋼につき引續き實驗研究中なり。

		C	Cr	W	V	Si	Ni
O	高速度鋼	0.7	4	18	1	—	—
P	シリクロム鋼	0.4	11	—	—	3	—
Q	ニッケル、シリ、クロム鋼	0.25	10	—	—	15	4

排氣弁として實際使用せらるゝ状態を試験せんが爲次の如き熱處理を施せり。

O	900°C × 30分 油焼	700°C × 2 時間 油戻
P	1,000°C × " " "	800°C × " " "
Q	850°C × " " "	650°C × " " "

これ等合金鋼の顯微鏡組織は檢鏡寫眞第十三乃至第十五に見るが如し、O 鋼は高速度鋼の特徴なるタングスタイド FeW (又は Cr₃C+WC) の白點が燒戻組織中に多し、P 及び Q 鋼は燒戻鋼組織なり、卷尾附圖の熱膨脹曲線により知るが如く高速度鋼は 830~870°C に變態點を有するもシリクロム鋼は變態點甚だしく高く 920°C にて始まり 1,000°C に到るも完全には終らず、Ni を含むシリクロム鋼は A₁ 變態點の位置不明瞭なるも、比較的低く 850°C にて變態は完了するものゝ如し。

3 種鋼の高温度に於ける衝撃試験結果は第五表及び第二十四圖に示すが如し、高速度鋼は常温に於ける衝撃抗力極めて弱し顯微鏡組織に見るが如く、タングスタイドの粒子の存在が脆性の原因なるべし、400°C 附近にて稍靱性を増し、600°C にて又下り 700°C を超えて次第に強靱となる、鋼が柔軟性

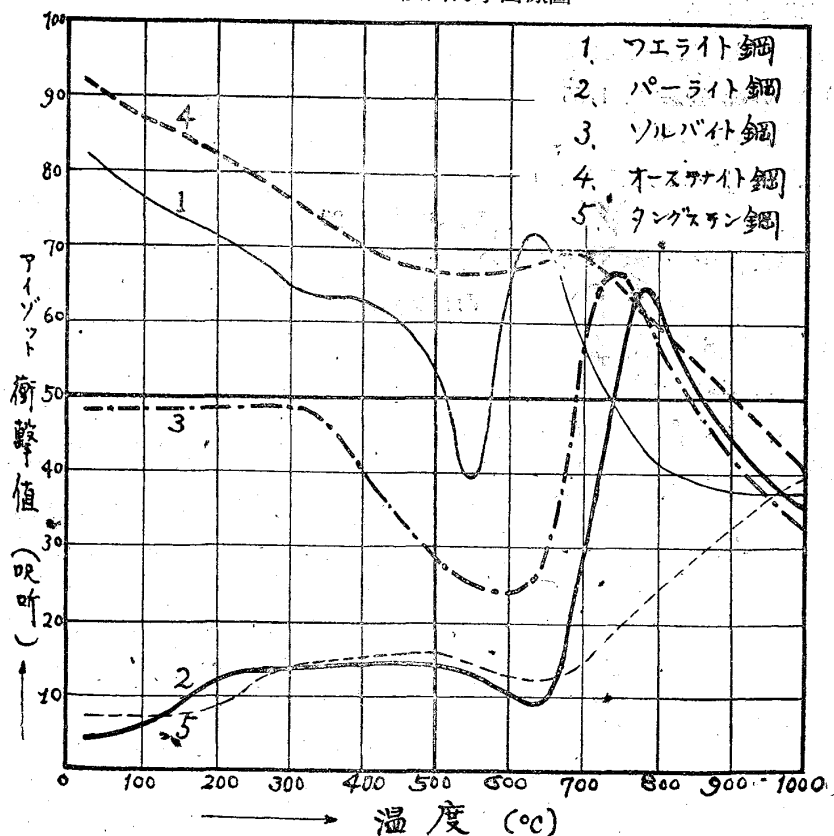
を有するに到ること及び粒子が次第に固溶體中に溶けたる爲なるべし。

シリクロム鋼は常溫にて既に 24 呎/听の衝撃値を有し、それより溫度の上昇と共に靱性を増し、 800°C にて 53 呎/听の抗力を有するに到る、 600°C を超えて更に増大し 800°C にて極大値 70 呎/听を有す、更に高溫度にては漸次低下するも $1,000^{\circ}\text{C}$ にて猶 50 呎/听の衝撃値を有す、炭素鋼、ニツゲル鋼の如き脆性帯を見ることなく高溫度に到るに従ひ靱性を増すことは排氣弁材の如き高溫度に曝露せられるものにては最も都合よき事なりといふべし。

Ni を含むシリクロム鋼も亦常溫より次第に衝撃値を増す傾向あり、常溫にて衝撃値 10 呎/听に過ぎざるも熱處理を適當に變すれば、よりよき數値を得らるべし、 300°C より 500°C 迄は衝撃抗力殆ど變らざるも 500°C を超えて次第に靱性を増し 850°C にて最大値 63 呎/听に達す、更に高溫度にては多少衝撃値を減ずることはシリクロム鋼の場合と同じ、柔軟性が増す爲抗力減ずるものなるべし。第二十五圖及第二十六圖寫眞(試片の破斷狀態)より見ても明かなるが如く、高速度鋼は高溫度に於ての酸化度大なるに反し、シリクロム鋼は極めて酸化少なく $1,000^{\circ}\text{C}$ に於ても猶金屬光澤を有す、これ又排氣弁用鋼として適當なる性質の一なり(シリクロム鋼の酸化度に関しては Hatfield :- Iron & Steel Inst. No. 1. 1927. Bain, Mochel & Grossmaner :- Trans. Ame. Soc. Steel Treeter, 9 & 10. 1926 等参照、吾人の研究につきても不日發表の機會あるべし。)

各種組織鋼の屈曲衝撃曲線 Guillet 氏は各種の組織を有する鋼につき 600°C 迄の屈曲衝撃曲線を研究

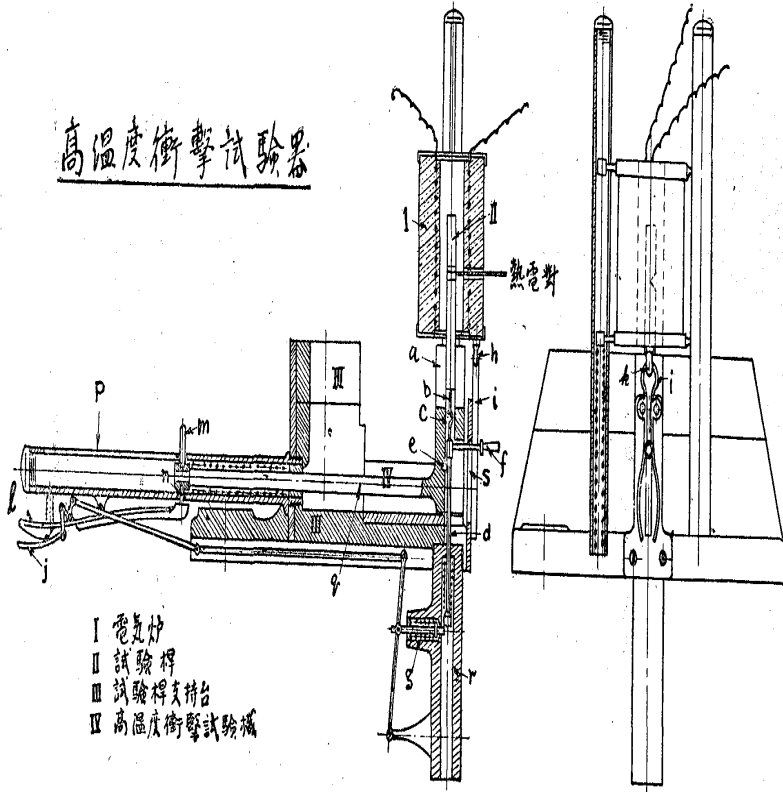
各種組織鋼の屈曲衝撃曲線圖



せるが(第三圖)吾人の試験装置を用ひて $1,000^{\circ}\text{C}$ 迄の試験を行ひたる結果は下圖の如くにして同氏のそれと著しく異なるを見る、フェライト鋼($C=0.11\%$)は溫度の上昇と共に衝撃値次第に減じ 550°C に極小 620°C に極大を有し、それより再び低下し高溫度にては一定になる、パーライト鋼($C=0.86\%$)は常溫にては極めて脆弱なるも 200°C を超えて稍靱性を有し 650°C にて極小値となり、それより急激に増大し 780°C にて極大

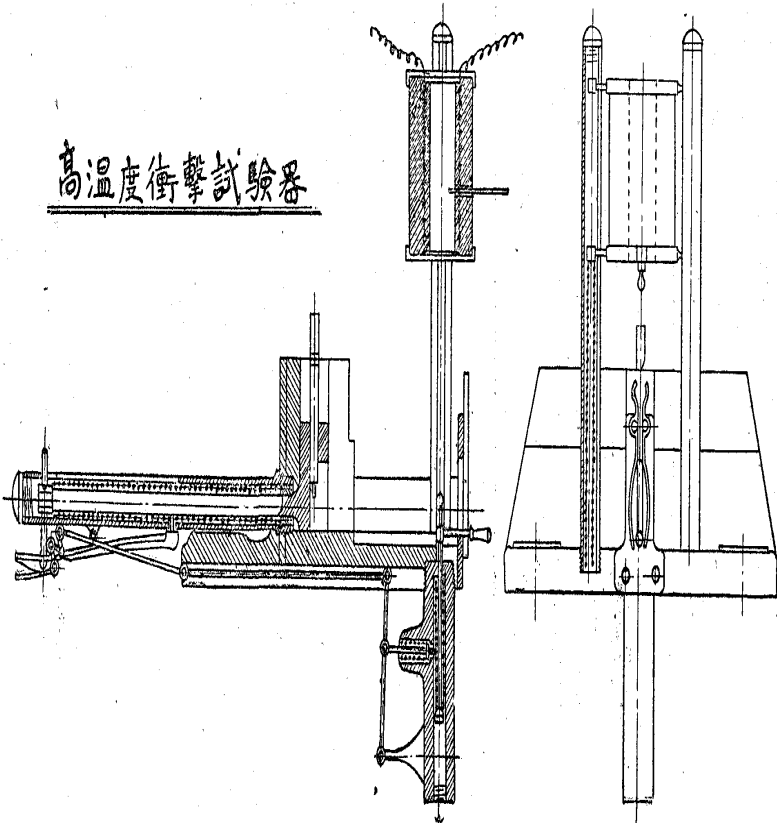
第十一圖 a

高温度衝撃試験器



- I 電気炉
- II 試験棒
- III 試験棒支持台
- IV 高温度衝撃試験機

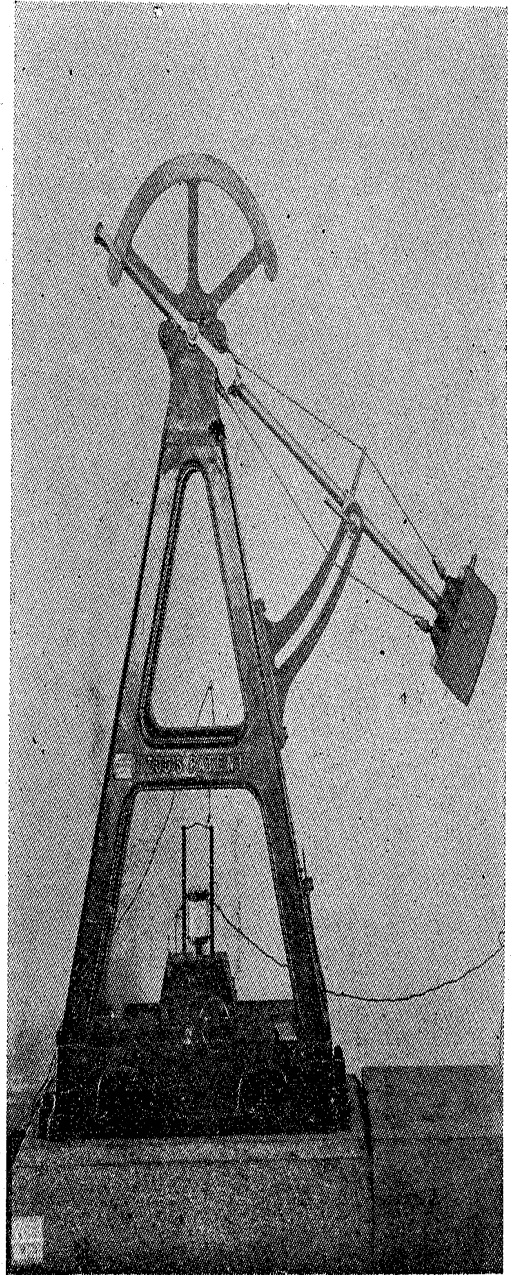
高温度衝撃試験器



第十三圖

高温度衝撃試験装置

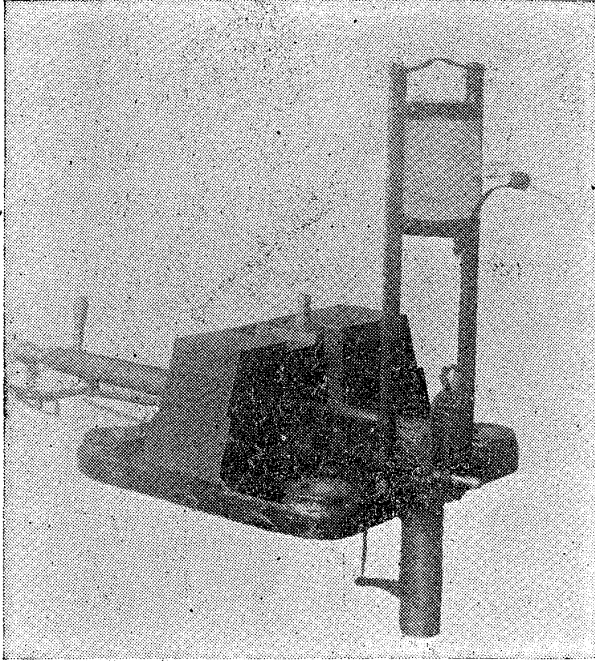
本装置を「アイゾット」機に取付けたる所



第十四圖 高温度衝撃試験装置動作圖

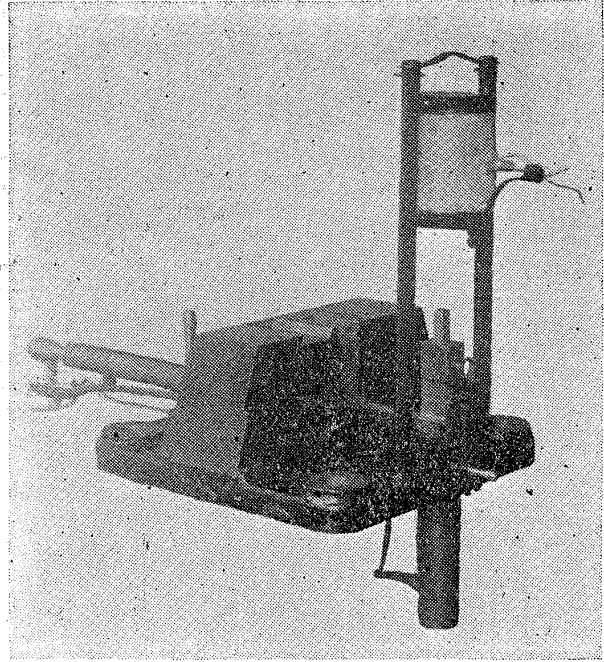
a

試片を装置に附し加熱位置
に引き上げたる所



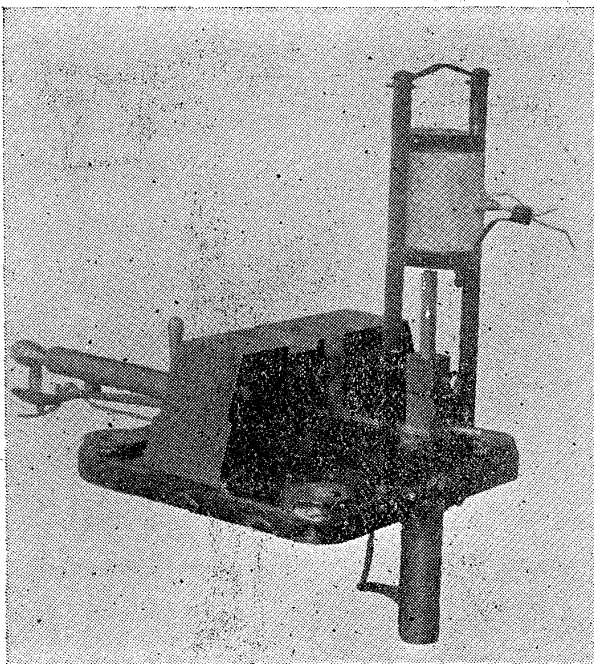
b

電気爐を引き下げ加熱中



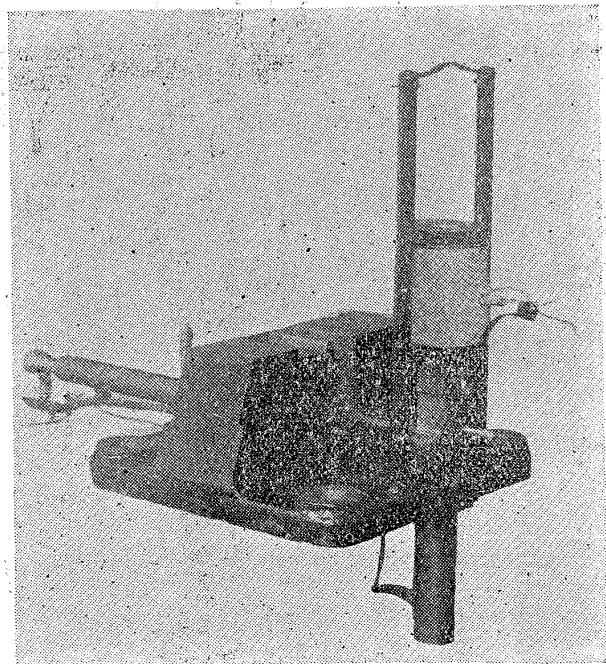
c

第一段動作に於て爐は去り試
片は所定の高さの位置に復す

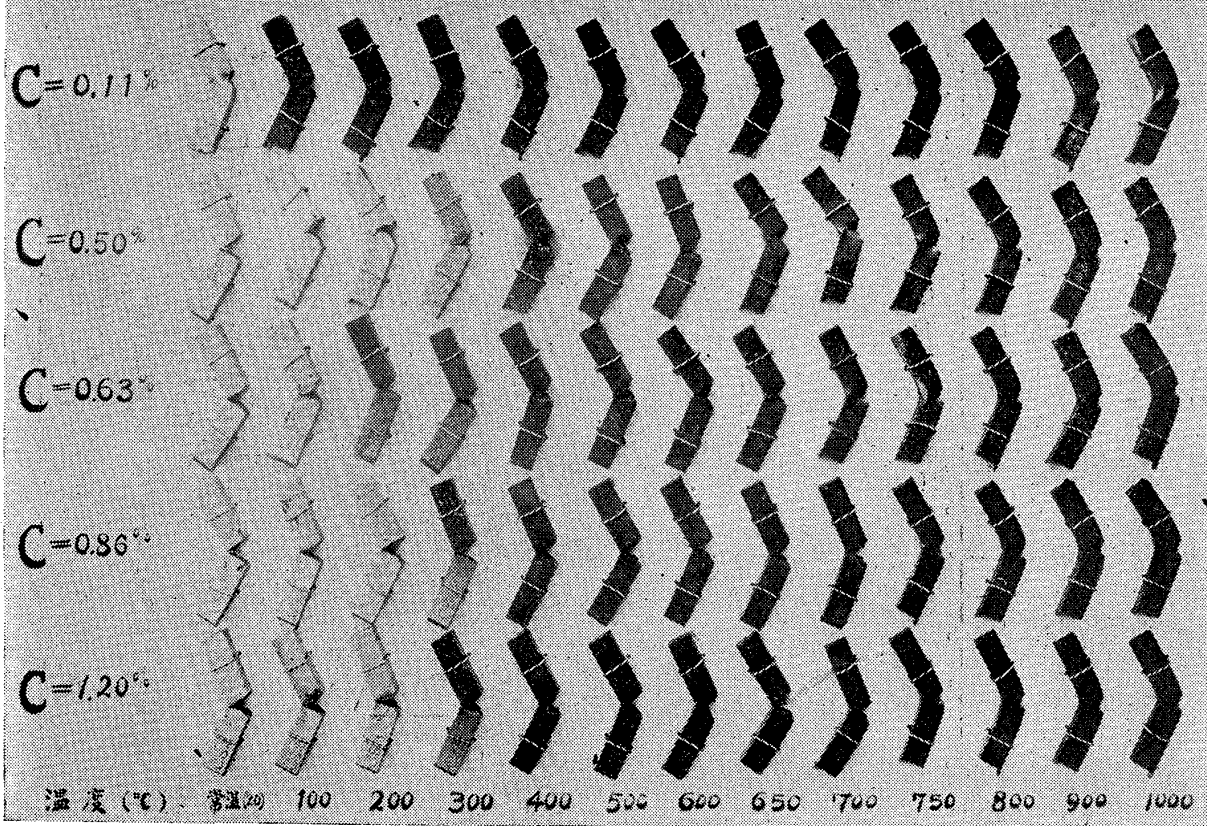


d

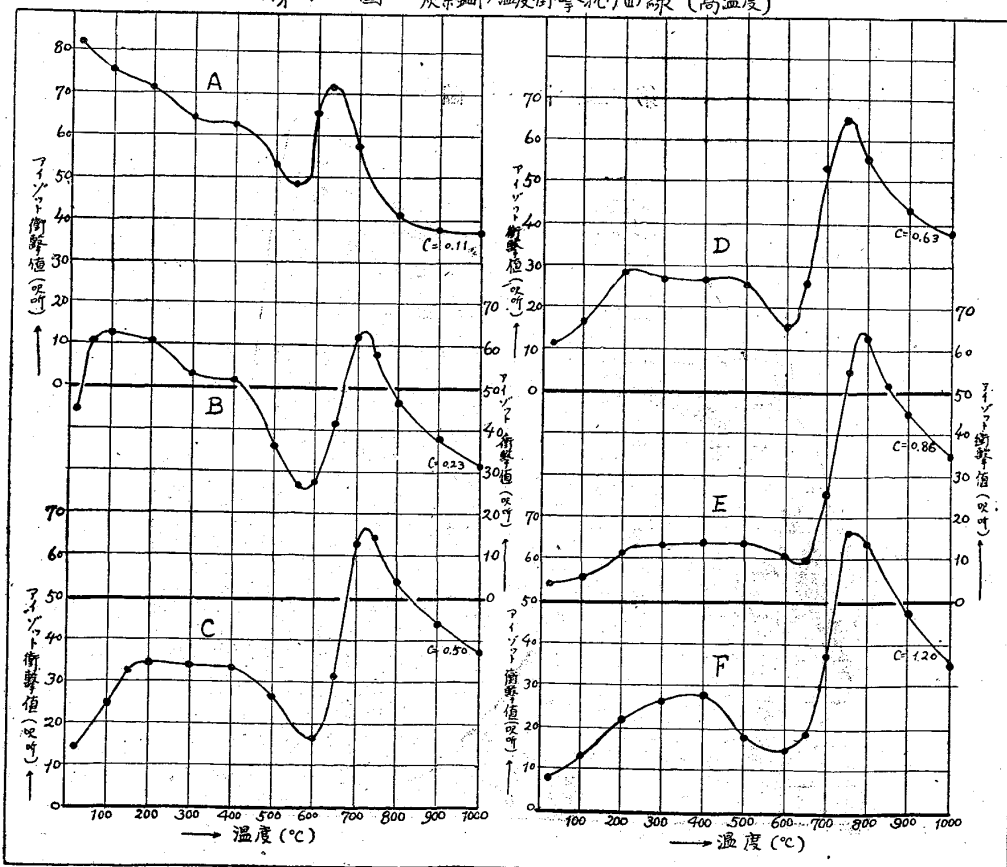
第二段動作に於て試片は衝撃
位置に挟み込まれる



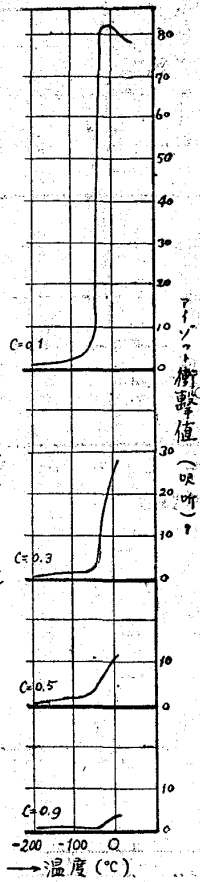
第十七圖 高温度に於ける衝撃試験片 (炭素鋼)



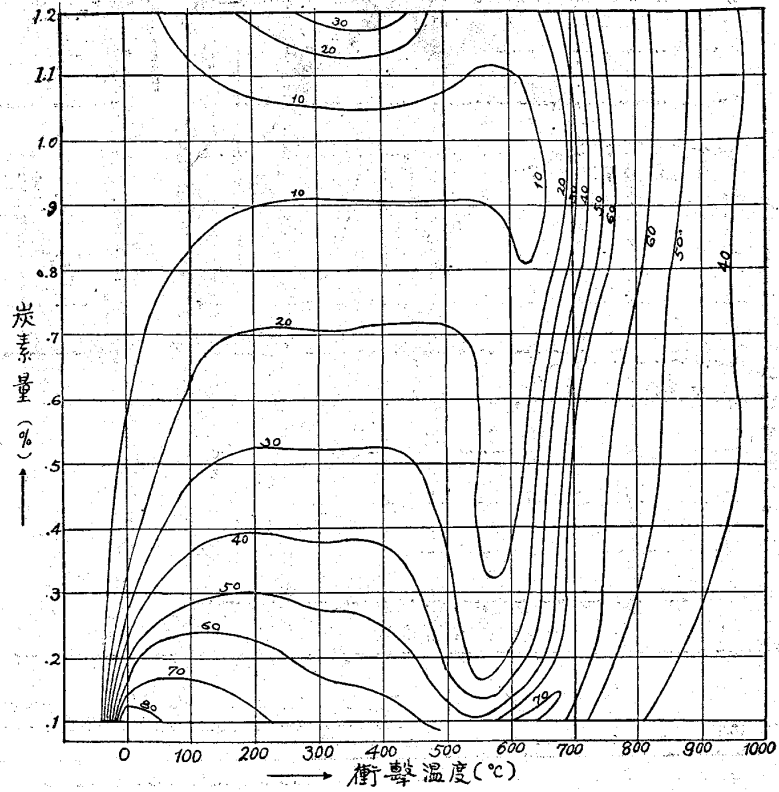
第十八圖 炭素鋼の温度衝撃抗力曲線 (高温度)



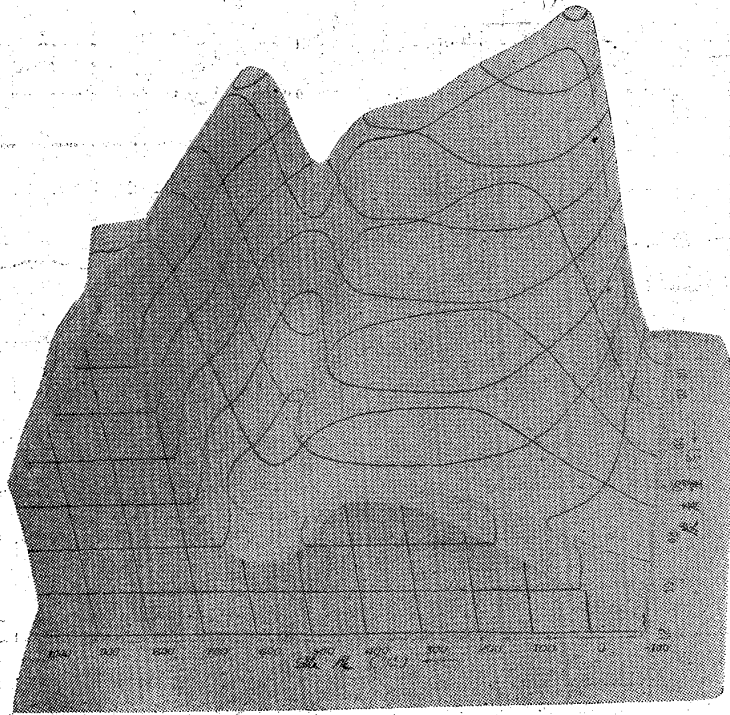
第十九圖 炭素鋼、溫度衝擊抵抗力曲線 (低溫度)

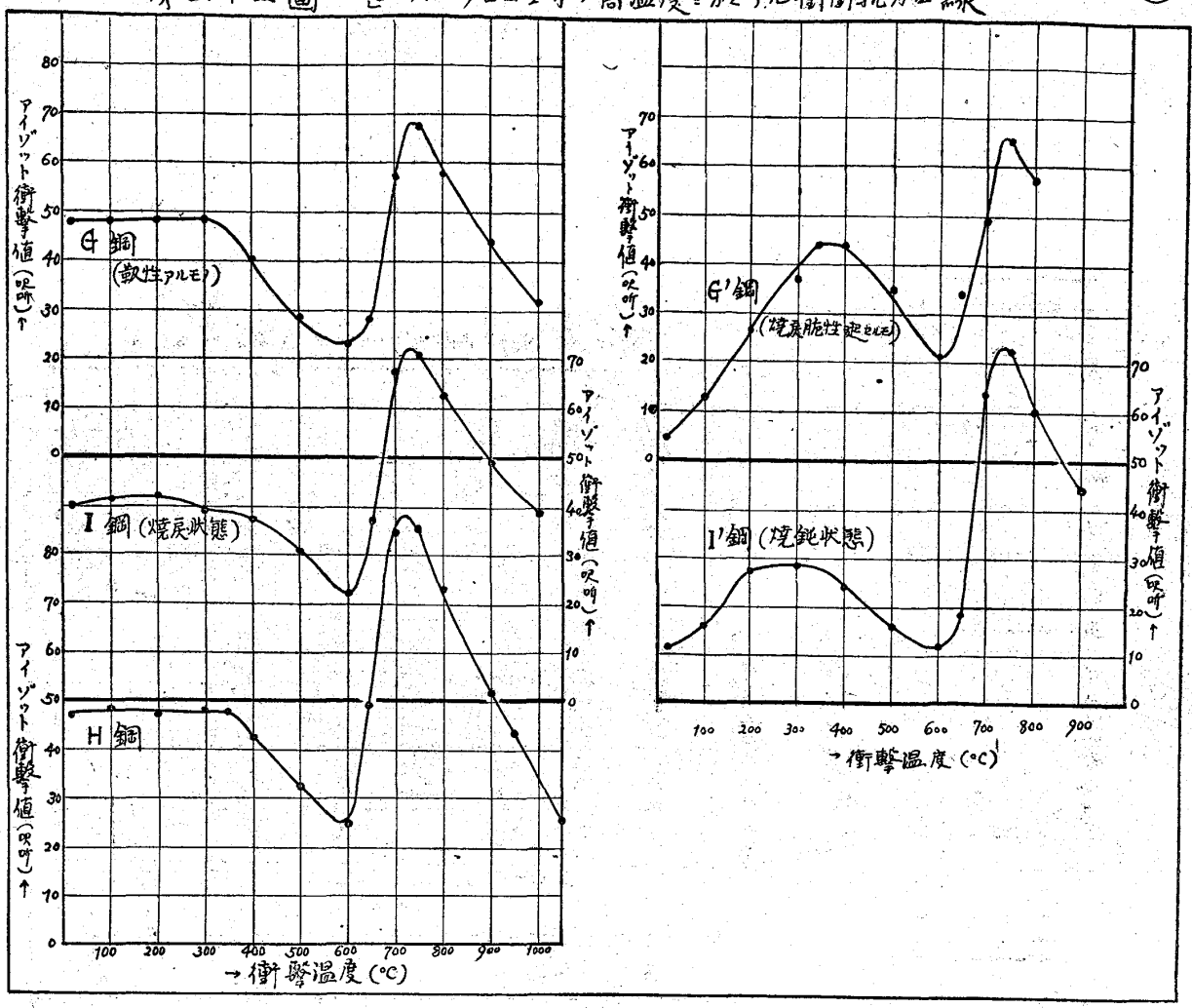


第二十圖 炭素量、衝擊溫度、兩軸保持力、衝擊抵抗力等高曲線

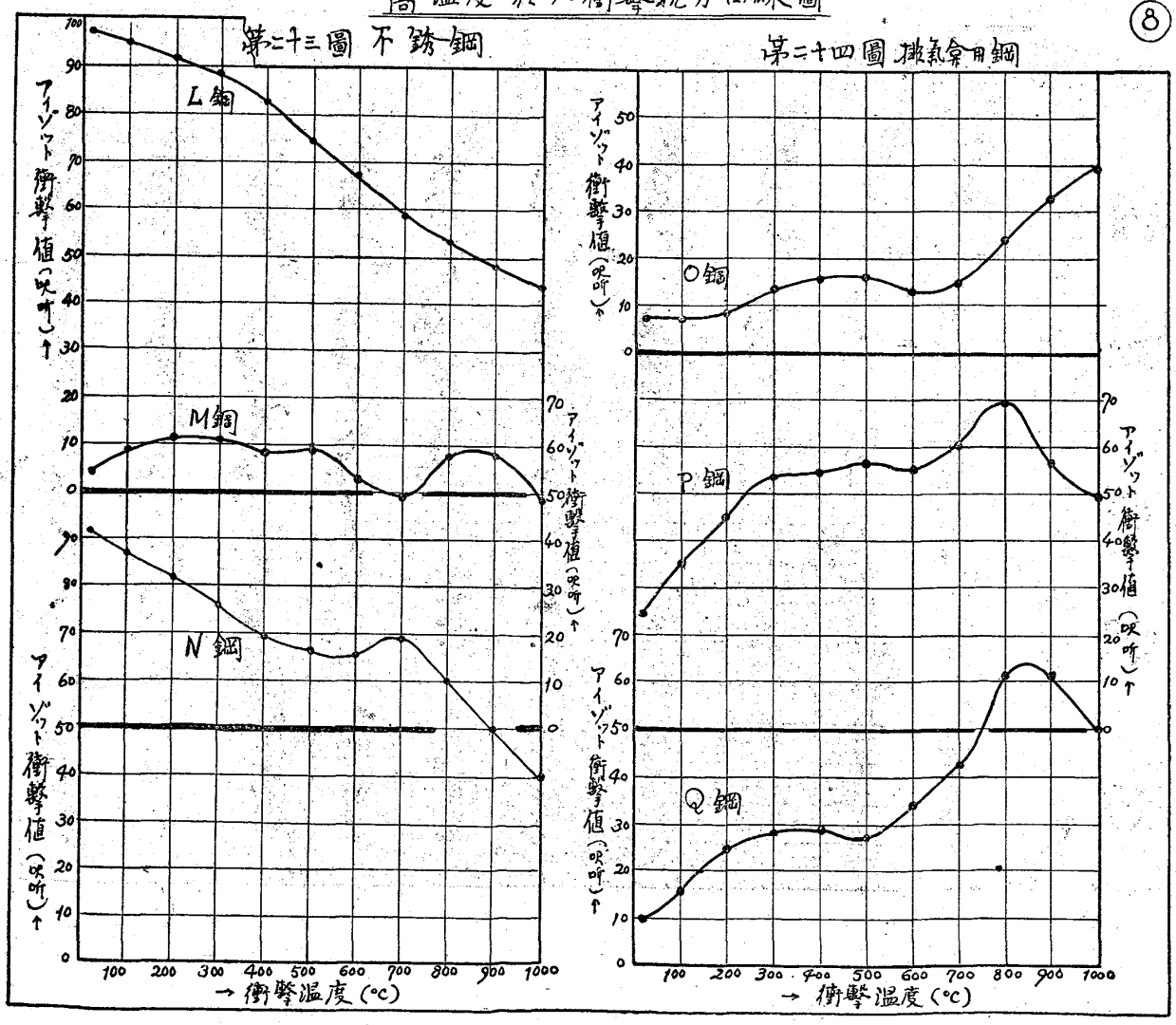


第二十一圖

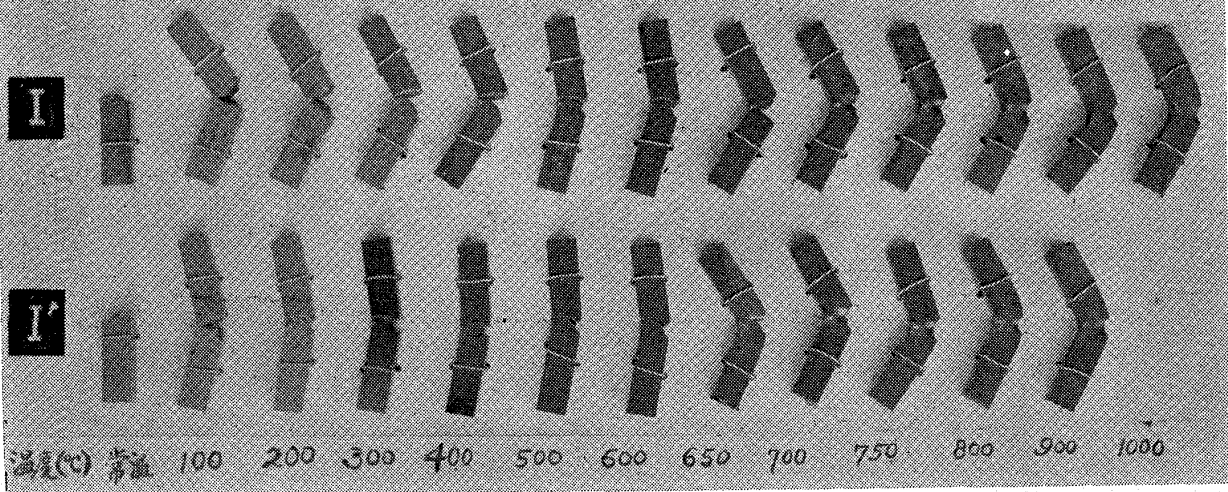




高温度=於ケル衝撃抵抗力曲線圖



第二十五圖 高溫度=於セル衝擊試驗片 (Ni-Cr鋼)



第二十六圖 高溫度=於セル衝擊試驗片 (不銹鋼及E抗氣舟用鋼)

