

## 航空機用強力オーステナイト不銹鋼板の研究

(日本鐵鋼協會第 21 回講演大會講演 昭和 14 年 4 月)

堀 慥 爾\*・大橋 秀吉\*

A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF HIGH STRENGTH AUSTENITE  
STAINLESS STEEL SHEET FOR AIRCRAFT CONSTRUCTION.

Soji Hori and Hidekiti Ohasi.

**SYNOPSIS:**—The requirement for raising the yield strength or proportional limit of 18/8 stainless steel is accomplished in a considerable extent by the age-hardening of previously cold-rolled sheet.

The development of this property, however, is expected to be achieved most effectively by the addition of some suitable elements to the plain 18/8 alloy.

The writers made some experiments on the influence of  $Ti$ , employing 5 test samples with a  $Ti$  content varying from 0 to 1.6% upon the mechanical properties in connection with the degree of cold-rolling and the temperature of aging which they receive.

From the results obtained, it was found that a marked increase of the yield strength can be obtained by the appropriate aging of cold-rolled sheet, to which  $Ti$  has been added in a suitable amount.

## I 緒 言

鋼中他に比類なき耐蝕性並びに點熔接性を具へたるオーステナイト不銹鋼の  $Cr$  18%,  $Ni$  8%, よりなる, 所謂 18~8 不銹鋼にして, 更に充分の強度と被加工性を有するものが得らるれば, 特に航空機構造用として, 最も重要な条件を具備せるものと言へよう。

然るに 18~8 不銹鋼板に高度の常温壓延を施して強度を増大せしめ様とする方法は, 本鋼の缺點と見做される所の加工による急速なる硬化性を利用したものであつて, 従来廣く知られてゐるが, 之が飛行機主要構造用として今日に於て何故盛なる使用が躊躇せられてゐるか, 其の理由の最も主なるものの一は, 其の弾性限の低いことであると考へられてゐた。

然るに最近に至り, 常温加工と弾性限其の他の機械的性質に關し, 又之等を向上せしめ様とする研究が V. N. Krivobok 及 R. A. Lincoln<sup>1)</sup> 並びに Akron の Goodyear Zeppelin Corp.<sup>2)</sup> 等によりて行はれ, 有益なる資料が發表されてゐる。後者の研究結果によると, 合金に含有する炭素量を減じ, 之に  $Ti$  を少量添加したるものは常温壓延及其後の加熱によりて, 其の比例限値を充分

に上昇せしめ得ることが知られるに至る。

今日迄 18~8 不銹鋼板に於ける添加元素の影響に就ては, 主として各種の耐蝕性に關してであるが, 數多の研究がある。然るに常温壓延による強度の増加に及ぼす影響に就て發表せられたるものは上掲並びに,  $C$ ,  $Ti$  及  $Mo$  に就て L. B. Pfeil 及 D. G. Jones<sup>3)</sup>, H. Cornelius<sup>4)</sup> 其の他によるものがあるが, 實驗条件の不揃ひ等によりて之等から纏れた結論を得んとするは困難である。

筆者等は先に之が重要性に鑑み, 純 18~8 不銹鋼板の壓延加工と之に續いて行はれる加熱による抗張性の變化狀況を検したが, 更に次いで, 加工硬化に對し抑制作用を有し, 又一方に粒間腐蝕又一般腐蝕防止劑として使用せられる。  $Ti$ ,  $Mo$  及  $Cb$  並びに組織を緻密にし且つ前述の兩様腐蝕に對する耐蝕性を附與すると考へられてゐる珪素等の添加が上記壓延加熱處理後の抗張性に及ぼす影響を明かにし, 且つ所期の強力なる不銹鋼板を得んとして多數の試料に就て種々の實驗を行つた。<sup>5)</sup> 茲に報告せんとするものは, 就中純 18~8 に  $Ti$  を添加したるものを試料として行つた上記の如き實驗の結果に就てである。

## II 試料並びに實驗概要

i 試料 本試験に供した試料は純 18~8 と之に少量

\* 住友金屬工業株式會社プロペラ製造所

1) V. N. Krivobok and R. A. Lincoln: American Society of Metals, Oct (1936).

2) Goodyear Zeppelin Corp, Akron: Metal Progress, 31 (1937).

3) L. B. Pfeil and D. G. Jones: J. Iron and Steel Inst., 1 (1933).

4) H. Cornelius: Luftfahrtforschg., 14 (1937)

5) 堀, 大橋, 住友金屬工業研究報告, 3, 1 及 2 (1938).

の  $T_i$  を添加せる、何れも炭素量低き合計 5 種にして其の成分は第 1 表に示す様である。試料は總てピレットより壓延された厚さ 1mm の板である。

第 1 表 試料成分

試料	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Ni%	Ti%
I	0.07	0.42	0.40	0.01	0.01	17.88	8.47	—
II	0.06	"	0.38	"	"	18.27	8.53	0.30
III	"	0.65	"	"	"	18.10	8.88	0.51
IV	"	0.52	0.40	"	"	18.60	8.80	1.41
V	"	0.65	"	"	"	18.41	8.60	1.60

**ii 實驗概要** 上記成分の壓延板を豫め定められた再結晶温度以上の温度より急冷して最軟状態となし、板に残留せし加工應力を完全に除去したる後、常温壓延によりて程度を異にする歪硬化を起さしめるために 0~60% の断面縮少を興へ、次で之等を 0~600°C に加熱したるものに就て、抗張試験を行ひ、成分に因る壓延度と其の後の加熱による抗張性及硬度の變移状況を試験した。

III 實 驗

**i 軟化熱處理** 試料の中、純 18~8 の I に對する軟化は從來行はれた幾多の試験結果から其の最適温度が知られてゐるが II 以下の  $T_i$  の添加されたものに対しては其の熱處理温度等は未だ充分明かでない。依て此處に次に示す様に壓延板を 300~1,100°C の諸温度より水中に急冷して抗張力及硬度を試験し、之が温度による影響及軟化に對する最適温度を知らんとした。其の結果を曲線で表はせば、第 1 圖の様である。曲線の示す數値は各試験片 2 個よりの平均値である。

試料：軟化板に同じ程度の常温壓延を加へたる壓延板、厚さ 1.0mm

加熱温度：300, 500, 700, 800, 900, 950, 1,000

1,050 及 1,100°C, 各 30 分間保持後水冷。

抗張試験片：(縦方向)：平行部幅 18.0mm, 標點距離

$8\sqrt{A}$  硬度は抗張試験片の一端にて試験す。

本實驗に於ては降伏點は總て 0.1% の永久延伸を生ぜしめたる時の應力とす。

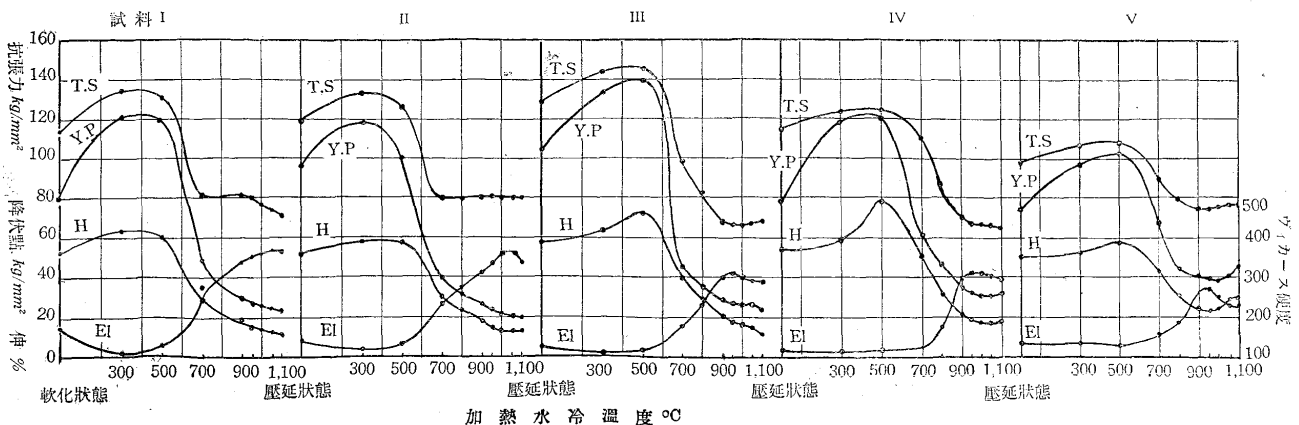
以上の結果によると何れの試料も 300 及 500°C の加熱によりて抗張力、降伏點及硬度は上昇し伸は降下乃至は不變である。700°C に至れば前者等は急激に降下し始め、伸は上昇を示す、温度更に高くなれば試料 I 及 II の抗張力を除く他は上述の傾向をつゞけるが、就中伸は或點に至て上昇止み各最高値を示すに至る。之等の曲線から各試料に就いて最軟状態たらしめる温度を求むれば凡そ次の様である。

試料	加熱温度	實施温度
I	1,050~1,100°C	1,050°C
II	1,000~1,050°C	"
III	950~1,000°C	1,000°C
IV	" "	"
V	900~ 950°C	950°C

仍て各試料は上記實施温度に夫々 30 分間保持後水中急冷を行ひ、軟化後表面スケールを酸洗滌によつて除去し、次で砂紙にて粗磨きしたる後次の常温壓延を施す。

**ii 常温壓延** 軟化せられた各板を 0, 20, 30, 40, 50 及 60% の豫定で常温壓延した。其の實際の壓延度と仕上り厚さは第 2 表に示す様である。

第 1 圖 加熱水冷温度と抗張性及硬度



第 2 表 試料に加へられた常温圧延度と仕上り厚さ

試料 I 厚さ 0.99mm	圧延度 %*	18	29	38	48	58
	仕上り厚さ mm	0.81	0.70	0.61	0.51	0.41
試料 II 厚さ 0.99mm	圧延度 %	18	29	38	49	58
	仕上り厚さ mm	0.81	0.70	0.61	0.50	0.41
試料 III 厚さ 0.98mm	圧延度 %	17	28	40	47	57
	仕上り厚さ mm	0.81	0.70	0.58	0.51	0.41
試料 IV 厚さ 0.98mm	圧延度 %	17	28	40	47	57
	仕上り厚さ mm	0.81	0.70	0.58	0.51	0.41
試料 V 厚さ 0.98mm	圧延度 %	16	27	39	47	57
	仕上り厚さ mm	0.82	0.71	0.59	0.51	0.41

\* 圧延度 =  $\frac{T-t}{T} \times 100$

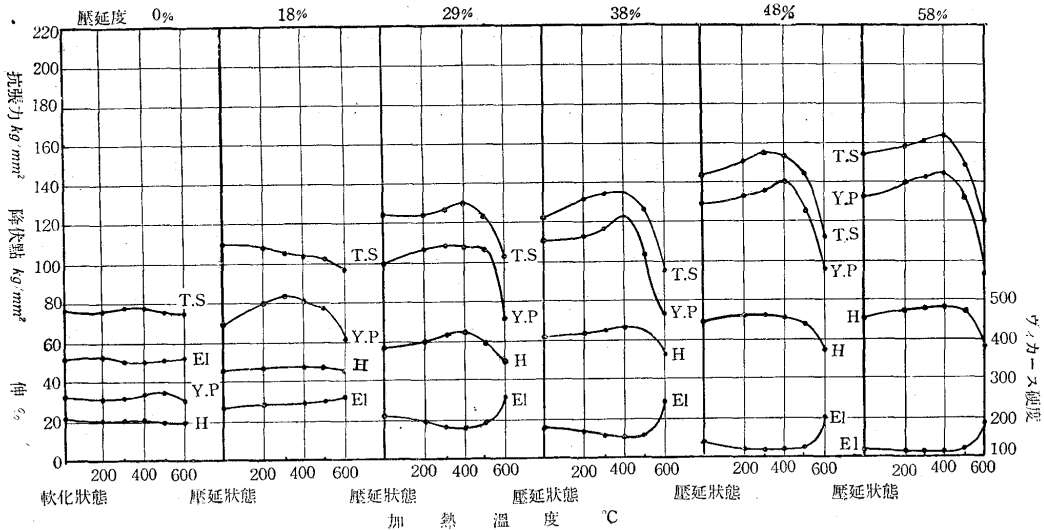
iii 加熱 常温圧延後、板の縦方向より抗張試験片用、幅 25mm、長さ 200mm の短冊を切取り、次の如き諸温度に加熱せり。

200, 300, 400, 500 及 600°C に各 30 分間保持後空冷。

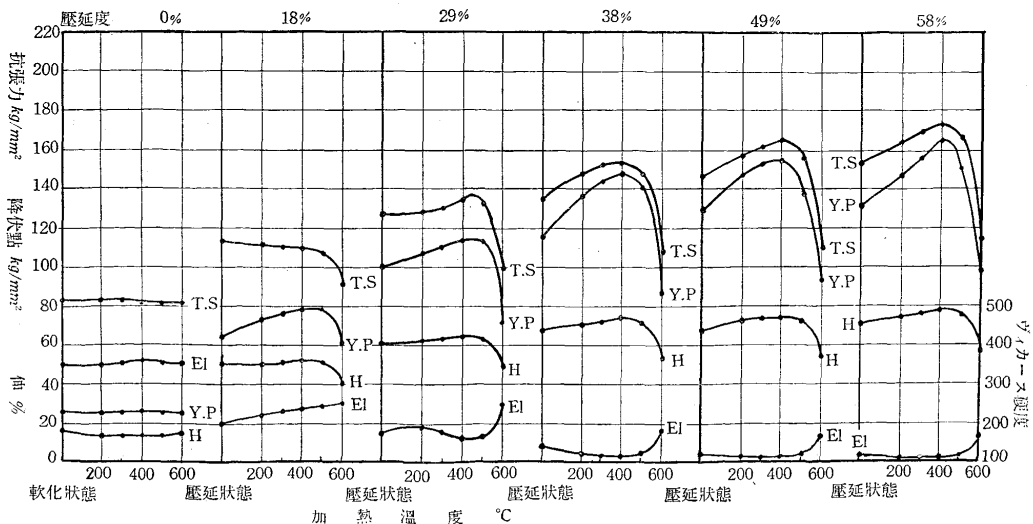
iv 抗張及硬度試験 以上の如く処理せるものに就て抗張及硬度試験を行た。其の結果を曲線で表はせば第 2~5 圖の様である。曲線の示す數値は各試験片 2 個よりの平均値である。

抗張試験片： 平行部幅 18.0mm、標點距離  $8\sqrt{A}$   
 硬度試験は抗張試験片の一端にて行ふ。

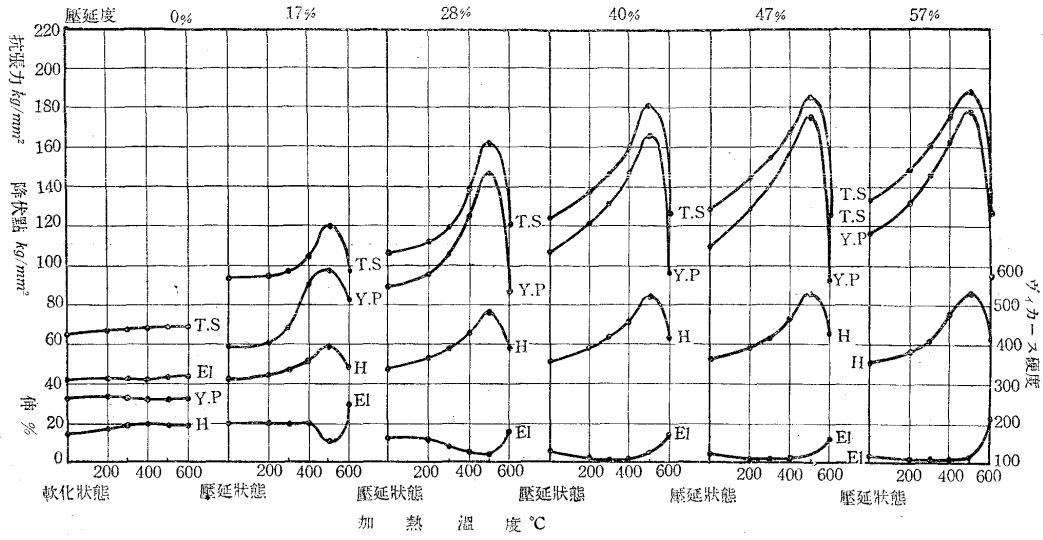
第 2 圖 圧延度並びに其の後の加熱温度と抗張性及硬度、試料 I



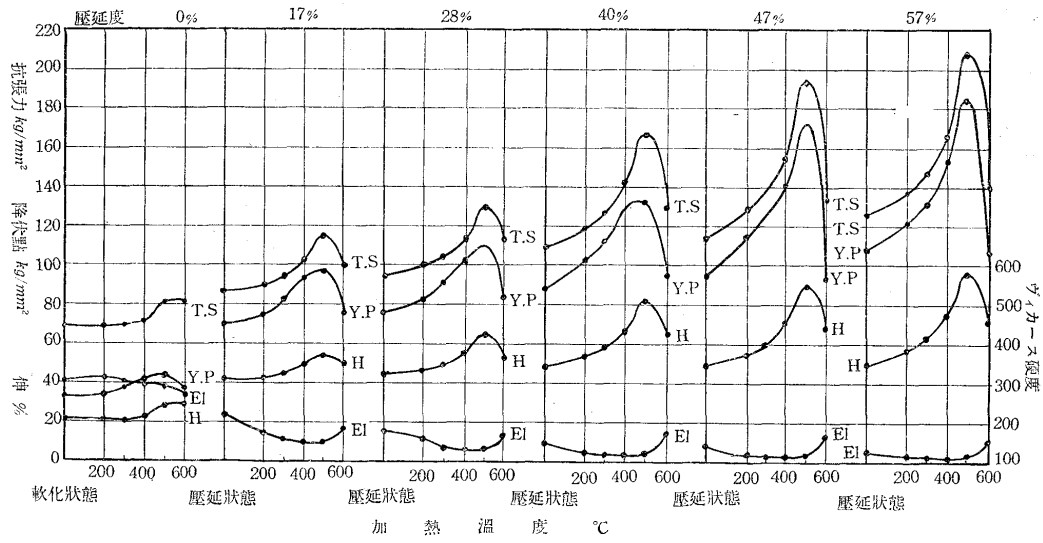
第 3 圖 圧延度並びに其の後の加熱温度と抗張性及硬度、試料 II



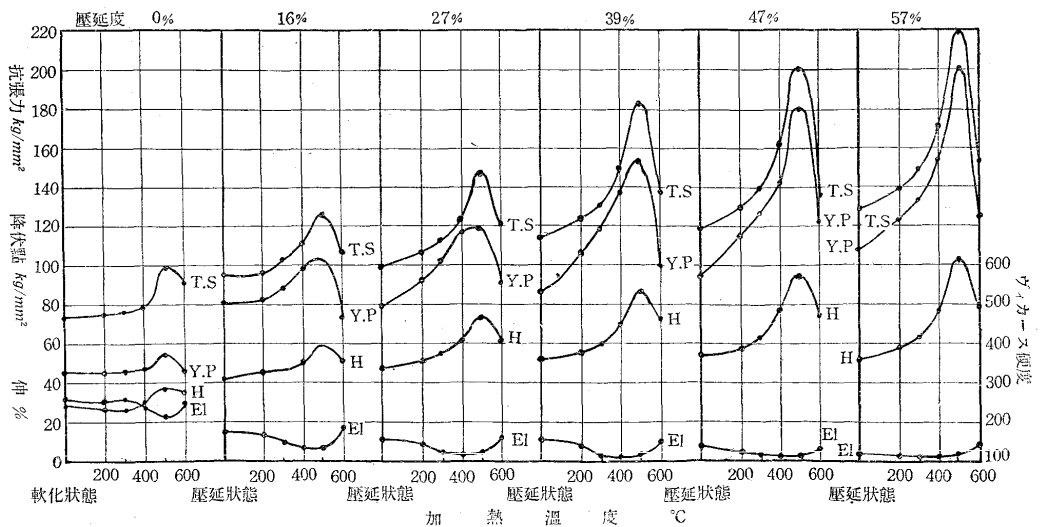
第4圖 壓延度並びに其の後の加熱温度と抗張性及硬度，試料Ⅲ



第5圖 壓延度並びに其の後の加熱温度と抗張性及硬度，試料Ⅳ



第6圖 壓延度並びに其の後の加熱温度と抗張性及硬度，試料Ⅴ



### IV 実験結果の考察

上述の結果から常温圧延と其の後の加熱による抗張性及硬度の変移に對し  $Ti$  含量が如何なる影響を及ぼすかを總括する前に先づ之等の結果から知られた二、三の特性に就て考へよう。

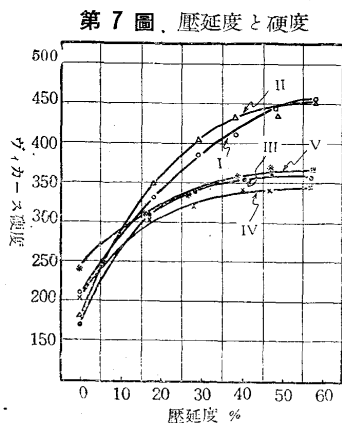
**i 軟化状態** 伸と硬度から見て夫々最軟状態となす水冷温度は  $Ti$  を含まざるものゝ約  $1,100^{\circ}\text{C}$  から其の量と共に次第に降下し、其の  $1.6\%$  (試料 V) に於て約  $950^{\circ}\text{C}$  を示すに至る。但し其の  $0.51\%$  (試料 III) 以上に於ては其の傾向は稍不鮮明である。

加熱温度によつて諸性質の変移する状況には  $Ti$  含有量によつて相當顯著な差異が認められる、就中加熱温度  $600^{\circ}\text{C}$  以下の状況に對しては次に述べんとする壓延加熱試験結果に於けるものと同様であるから此處には之が記述を省く。最軟状態の諸性質には若干の相違がある様に思はれるが、明かな關係は認め難く、たゞ  $Ti$   $1.6\%$  (試料 V) に於ては之より  $Ti$  低きものに比して稍々明瞭に抗張力、降伏點及硬度は高く伸は低いことが認められる。

**ii 壓延—加熱状態** 先づ常温壓延による軟化材の硬化、即ち加工硬化に及ぼす  $Ti$  の影響を明かにするために前結果から壓延度と硬度の關係を試料別に纏めて見ると第 7 圖に示す様である。即ち壓延度と硬度上昇の割合は試料 I 及 II と III, IV 及 V との間に判然たる相違があつて、 $Ti$  の加工硬化に對する抑制作用が顯著に認められると共に同作用は  $Ti$  に就て連続的に非ずして其の  $0.30\%$  (試料 II) と  $0.51\%$  (試料 III) の間に有效臨界含有量のあることが知られる。

次に壓延状態のものが  $600^{\circ}\text{C}$  迄の諸温度に加熱放冷せられた場合の諸性質の変移状況を見ると、

壓延度 0 即ち常温加工を受けぬものに就て試料 I, II 及 III では抗張性及硬度は加熱によつて殆ど不



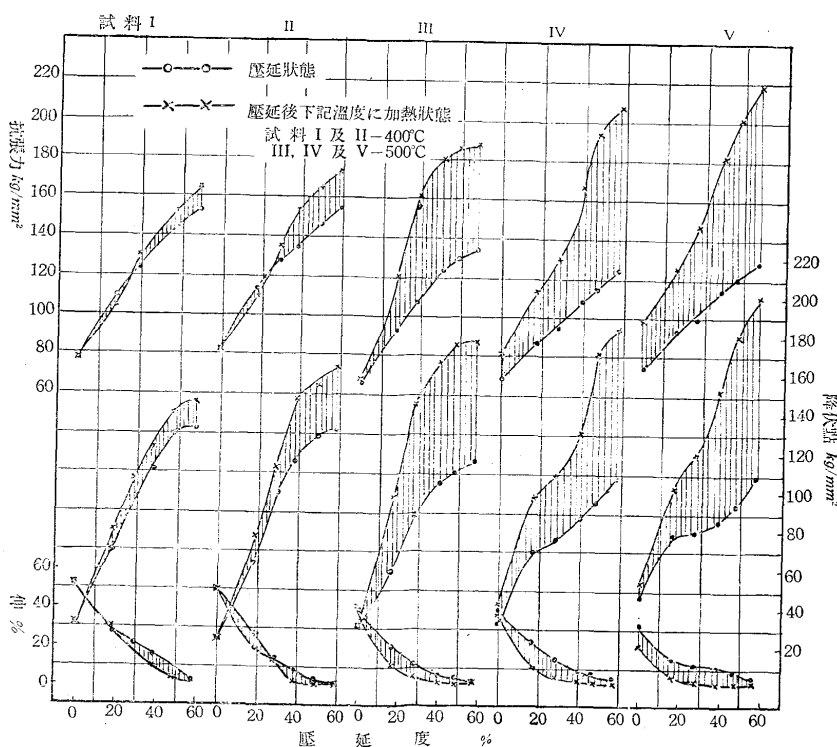
第 7 圖 壓延度と硬度

變であるが、試料 IV 及 V では  $400^{\circ}\text{C}$  附近より抗張力、降伏點及硬度は上昇、伸は低下し、 $600^{\circ}\text{C}$  に至て之等は再び舊に復さんとする傾向を示す。之等の傾向は試料 IV より V に至て顯著となる。茲に於て試料 I, II, III と IV, V の間に其の本質は未だ不詳であるが  $Ti$  の状態に關して金相學的に相異なるものがあることが想像出来る。

壓延状態のものに就て見ると全試料、全壓延度を通じ、約  $400\sim 500^{\circ}\text{C}$  迄は抗張力、降伏點及硬度は温度と共に上昇、伸は降下し、之を過ぎると前者等は再び降下、後者は上昇するのが大體の傾向である。然るに之等變化の割合は壓延度と共に益々大となるのみならず其の到達する抗張力、降伏點及硬度の最高値は次第に高く、伸の最低値は低くなる。

之を  $Ti$  の量によつて見れば試料 I 及 II は最低壓延度  $18\%$  に於ては上述の一般的傾向を現はすに至らず、唯降伏點が夫々  $300$  及  $500^{\circ}\text{C}$  で最高を示す他抗張力、硬度及伸に於ては何れも壓延度  $0$  のものに比し數値には夫々高低あるも加熱による硬化現象は甚だ薄弱である。壓延度  $28, 28\%$  以上のものでは其の傾向他試料と異なることなし。試料 III, IV, V と  $Ti$  を増すに従ひ上述の硬化現象愈々顯著となる。斯くして加熱温度による之等の上昇降下を表はす曲線は壓延度と  $Ti$  量を増すに従ひ益々急峻となる。(第 2~6 圖参照) 更に抗張力、降伏點及硬度の

第 8 圖 壓延度と  $400\sim 500^{\circ}\text{C}$  に加熱後の抗張性



最高値に相當する加熱溫度を仔細に見れば、試料 I 及 II に於ては約 400°C であるが III, IV 及 V では約 500°C であつて茲にも試料 II 及 III 即ち  $Ti$  0.30% 及 0.51% の間に判然たる相違のあることが知られる。

今各試料に就て壓延状態より夫々最高強度たらしめる 400~500°C の加熱によつて抗張力及降伏點の上昇と伸の降下する状況を前掲試験結果から摘出し曲線に纏めて見ると第 8 圖に示す様である。

之等の結果から  $Ti$  含有量に關し上述の他に尙種々の興味ある關係が考へられるが之等は追て考究することとし、今實際作業應用の見地から壓延度 30% で壓延状態並びに 400°C 又は 500°C 加熱後の抗張性を比較して見よう。

第 3 表 30% 壓延—加熱前後の抗張性

壓延度: 30%, 加熱溫度: 試料 I, II—400°C  
板厚さ: 0.7mm 試料 III, IV, V—500°C

試料	I		II		III		IV		V	
	$Ti$ , %	0	0.31	0.51	1.41	1.60	0	0.30	0.51	1.60
状態	壓延	加熱	壓延	加熱	壓延	加熱	壓延	加熱	壓延	加熱
抗張力 $kg/mm^2$	125.0	130.0	128.0	137.0	110.0	165.0	99.0	133.0	105.0	155.0
降伏點 $kg/mm^2$	95.0	110.0	100.0	118.0	90.0	152.0	77.0	112.0	89.0	125.0
伸, %	20.0	16.0	11.0	11.0	11.0	4.0	13.0	5.0	11.0	3.0

之によると加熱後の強度は試料 II より III となれば急に増大し、試料 IV, V に於ては寧ろ之が減少を示す。かくして試料 III は他に比し強度最も高いが一面伸の低いために被加工性に關し甚だ不安の感を抱かしめる。此の點に關して壓延状態のものは加熱後よりも伸比較的大であるために此の状態に於て所要の加工を行ひ、次で低温加熱を施せば強度を増大せしむると同時に常溫加工による内部應力を除き得る利點がある。

第 4 表 厚さ 0.2 板の機械的性質

壓延度: 30%, 加熱溫度: 試料 I—400°C  
試料 III—500°C

試料	I	III
$Ti$ , %	0	0.51
比 例 限 $kg/mm^2$	62.5	82.5
降 伏 點 (0.1%) $kg/mm^2$	110.0	150.0
“ (0.2%) “	120.1	162.5
抗 張 力 $kg/mm^2$	132.0	166.5
伸, %	10.0	6.0
彈 性 係 數 $kg/mm^2$	18,520	19,300
ウイカース硬度	430	480
安全屈曲率 180°, × t	2.5	2.5

之を要するに 18~8 オーステナイト不銹鋼板の壓延と加熱による強化に對し  $Ti$  は實際作業應用の見地から 0.5% で略々充分なる効果を發揮する事が判明した。

薄板に就ての試験結果——強力不銹鋼板として殊に厚さの薄い板が要求されることがあるので本實驗に附隨して、上記の試験結果に於て最高強度を示した試料 III を試料 I と共に 0.2mm の薄板となし、實驗を行ひ得た結果を一括表示して参考に供せんとす。(第 4 表参照)

即ち厚さ 0.2mm の様な薄板に於ても厚さ 0.7mm 板と略々同程度の機械的性質を具備せるものが得られることを知た。

### IV 總 括

18~8 オーステナイト不銹鋼板の常溫壓延と之に續く低温加熱による強度増大に對する含有  $Ti$  の影響を知らんとして  $Ti$  0~1.60% を添加したる 5 種の試料により豫め軟化處理に關する實驗を行ひたる後常溫壓延度、加熱溫度に關し抗張性及硬度等の試験を行った。其の結果の主なるものを摘出すれば、

i 高温より水冷による軟化處理に於て最軟状態となす加熱溫度は  $Ti$  含量と共に稍々降下の傾向がある。

ii  $Ti$  は 18~8 不銹鋼の加工硬化を抑制する、其の量は 0.51% が有効にして且つ充分である。

iii 常溫壓延状態のものを加熱すると  $Ti$  0 及 0.30% のものは 400°C で、其の 0.51, 1.41 及 1.60% のものは 500°C で夫々最高強度を示す。

iv 400~500°C 加熱による強度増加の割合は常溫壓延度と共に大となる。

v 400~500°C 加熱後の強度は高壓延度 (60%) のものに於ては  $Ti$  の量と共に次第に増大するが、中間壓延度 (約 30%) のものでは  $Ti$  0.51% で其の最高値を示す。伸は之等兩狀況に於て大差がない。

vi 0.5% は實用上本法に對する  $Ti$  の最も適當なる含有量であつて、之に適切なる壓延度と 500°C 加熱を施せば強度の飛躍的増大を招來せしめ得る。猶此の際伸は結果に於て著い低値を示すに至るが、之は壓延後に於ける稍々大なる靱性を利用し、此の状態で所要の加工を行ふこととすれば後の加熱により強化と同時に加工によりて生じた内部應力を除き得るを以て實用上それ程大なる缺點とはならぬ。

— 終 —