

航空機用薄肉鋼管材としての クローム・モリブデン鋼に就て

(日本鐵鋼協會 第8回講演大會講演)

絹川武良司

目 次

- (I) 緒 言
- (II) 薄肉鋼管材としてのクローム・モリブデン鋼
- (III) クローム・モリブデン鋼の熱処理による機械的性質の變化
- (IV) クローム・モリブデン鋼のオキシ・アセチレン熔接
- (V) クローム・モリブデン鋼の腐蝕試験
- (VI) 結 論

I. 緒 言

クローム・モリブデン鋼

C	Cr	Mo	Si	Mn	P	S	Cu
0.30	1.0	0.2	<0.5	<0.7	<0.040	<0.045	<0.20

は早くから知られてゐる合金鋼の一つであるが、其熔接に對する性質がよいと言ふことで航空機構造用鋼材として、實際使用せられる様になつたのは近年のことである。

歐米諸國に於ては第1表に示すもの、又はこれと數似のクローム・モリブデン鋼が用ひられてゐるらしいが、それ等に關する系統的研究の發表せられたものは未だ甚だ少く、特に航空機構造用鋼管材として鋼材に必要な諸性質の中、

- (イ) 薄肉鋼管製造の難易
- (ロ) 処理法と強度及び靱性の關係を示す數値

(ハ) 熔接に對する性質

(ニ) 腐蝕に對する性質

等は充分に明かにせられてゐない。

例へばクローム・モリブデン鋼は薄肉鋼管の製造に適するとも、又常溫引拔は容易ではないとも言はれてゐるがそれ等の點を理論的に説明した文献を見ない。

又其機械的諸性質についても僅かに各種の処理法と抗張試験値其他との關係を示す少數の研究が散見するのみである。

クローム・モリブデン鋼は最近熔接に對する性質がよいと言はれてゐるらしいが、結論を得るに至るまでの實驗の詳細の發表せられたものが少いから其程度を判斷することは困難である。

クローム・モリブデン鋼の腐蝕に對する性質についても文献の少いことは前同様である。

我が國に於ても航空機構造用としてクローム・モリブデン鋼管の需要年々増加の傾向にあるがこれに關する文献不足の爲めに使用上の不便少くないとか言ふことである。依つて著者は各種の航空機用薄肉鋼管材の研究をしてゐるのであるが先づ此種クローム・モリブデン鋼の性質を充分に明かにして使用上の不便を補ふと同時に更に航空機構造用としてより適當なるクローム・モリブデン鋼の配合及び処理法を發見せんとするものである。

II. 薄肉鋼管材としてのクロム、

モリブデン鋼

薄肉の継目無鋼管を製造するには一般に先づ高温度に於て鋼片に穿孔し、更に適當の寸法にロールし然る後に焼鈍、酸洗滌、常溫引拔等を繰返して順次肉厚を薄くして仕上げるのであるがクロム・モリブデン鋼のマンネスマン式又はスチーフエル式穿孔機による高温度穿孔及び高温度ロール作業は加熱温度に適當の注意を加ふれば左程困難なものでない。

常溫引拔については一般に一つの鋼管材の常溫引拔が容易であるか否かに關する條件と、薄肉鋼管製造の難易に關する條件とは必ずしも全然同一ではない。

常溫引拔の難易は、

- (イ) 引拔速度を大にし得るか否か
 - (ロ) Reduction per pass を大にし得るか否か
 - (ハ) 引拔後の管の表面を平滑にし得るか否か
- と言ふことであり、薄肉鋼管製造の難易は
- (イ) 焼鈍の際の酸化による表面の地荒れの程度
 - (ロ) 管の表面の酸化物を除去する爲めに行ふ酸洗滌の際の Corrosion Pitting による表面の地荒れの程度
 - (ハ) 及び地荒れを除去するに必要なる Reduction per pass を加へ得るか否か
- 等によつて決定せられる。

一般に鋼材の靱性はこれに加ふる加工速度の差によりて異なるものであるから、一つの鋼材に最も適當なる引拔速度の大小は主として其鋼材の靜的試験と動的試験に於ける靱性の差によつて決定し得る。

靜的靱性よりも動的靱性の大なる鋼材は引拔速度を大にすることが出来るが、動的靱性が靜的靱性よりも小なる鋼材で動的靱性の數値が相當に大なるものは引拔速度を適當に小さくしたる時のみ引拔可能で、動的靱性は靜的靱性よりも小さく而も其數値も小なるものは引拔速度を小さくするも、引拔殆んど不可能である筈である。

動的靱性と靜的靱性を比較するには種々の方法があるであらうが Amsler Tap Machine による動的抗張試験と普通の靜的抗張試験による伸を比較することも簡便なる一つの方法である。

第2表は $C=0.10$ 、 $C=0.30$ 及び $C=0.60$ %炭素鋼、クロム・モリブデン鋼、18-8 不銹鋼及び 3%珪素鋼の動的抗張試験及び靜的抗張試験結果を示すものであるが此の結果によれば炭素鋼及びクロム・モリブデン鋼等は動的靱性が皆靜的靱性よりも大であるから引拔速度は相當大きくせられるが、18-8 不銹鋼及び 3%珪素鋼では動的靱性が靜的靱性よりも小さいから引拔速度を大きくすれば引拔困難となる。

18-8 不銹鋼の動的靱性は猶ほ相當大きいから引拔速度を相當小さくすれば引拔可能であるが、3%珪素鋼では動的靱性の數値が小であるから、引拔速度を遅くするも猶ほ常溫引拔殆んど不可能である。

第2表によればクロム・モリブデン鋼の靜的及び動的伸は 0.3%炭素鋼と 0.6%炭素鋼の中間に位する値を有するが故にクロム・モリブデン鋼管に適當なる常溫引拔速度も亦兩者に最も適當なるものゝ中間を適當とすることが知られる。

Reduction per pass の大小は次の諸項に影響せられることが多い。

(イ) 静的抗張力の大小

(ロ) 加工に要するエネルギーの大小

(ハ) 材質に特有なる減磨作用

常温引抜の際に過度に Reduction per pass を大きくするときには常温引抜に要する力は材料の抗張力よりも大となりて材料は切斷せられ引抜困難となる故に抗張力の大きな材質の鋼管は他の條件が同一ならば抗張力の小さな材質の鋼管より大きな Reduction per pass を與へることが出来る筈である。

クローム・モリブデン鋼の抗張力は第2表によれば 0.3% 炭素鋼と 0.6% 炭素鋼の中間に位するが故に他の條件が同一ならば兩者に加へ得る最大なる Reduction per pass の中間の Reduction を與へることが出来る筈である。

一定の條件の常温引抜に要するエネルギーは一般に材質とこれに加へられた処理法の差によりて其値を異にする。此のエネルギーの大きなものは引抜の際に引抜速度を小さくしなければ引抜に大きな力を要する譯であるから、材料の静的抗張力との關係上往々材料が切斷せられて大きな Reduction per pass を與へられないのみならず、其吸収せられたエネルギーの大部分は引抜の際に熱に変形して減磨剤の効果を減殺して焼付を生ぜしむるが故に Reduction per pass を大きくすることは出来ない。

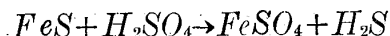
第2表によれば 0.3% 炭素鋼と 18-8 不銹鋼とは殆んど同一の變形に對しても吸収するエネルギーには大きな差がある。18-8 不銹鋼は従つて Reduction per pass を大きくせられない。

クローム・モリブデン鋼は 0.6% 炭素鋼に比して大きな變形に對して、より小さなエネルギーを

吸収するに過ぎないから 0.6% 炭素鋼よりも大きな Reduction per pass を與へて引抜かるべき筈である。

鋼管の常温引抜の際には普通減磨剤を用ひるが減磨剤の適否によりては引抜に要するエネルギーに大きな差を生ずるから、加へ得る最大なる Reduction per pass にも差が出来る。引抜の際の減磨効果は外的に與へられた減磨剤によるもの丈では充分でない場合が多く、材質に特有の減磨効果は大きな役目を演ずる。

例へば 0.5 乃至 1.0% 位の銅を含む含銅鋼は酸洗滌によりて表面に銅の薄膜を生じて金屬減磨剤となり、減磨効果が充分になるが故に大きな Reduction per pass を與ふることが出来るが一般の不銹鋼では外的に與へられた減磨剤のみの効果であるから、大きな Reduction per pass を與へられない。クローム・モリブデン鋼管の場合には酸洗滌後、鋼中の微量の硫化鐵と鋼管の表面に残る酸の作用によりて次の如く硫化水素が出来る。



此の硫化水素は鋼管の表面に附着するクローム・モリブデン鋼の酸性溶液から赤褐色の硫化モリブデンを沈澱せしめ此のものは鋼管の表面にあつて引抜の際に大きな減磨効果をあらはすが故にクローム・モリブデン鋼には比較的大なる Reduction per pass を加へ得る。上述モリブデンの作用は不銹鋼の場合につきても同様で不銹鋼に微量のモリブデンを加ふれば常温引抜に對する性質を大いに改善することが出来る。

常温引抜後の表面の平滑度は材料疵の有無と減

磨効果の減殺による謂ゆる焼付疵の有無によるのであるがクローム・モリブデン鋼管は一般に表面が甚だ平滑にせられる。

猶ほ引拔の難易に関しては熱処理による結晶の發達度及び熱処理の透過度も大なる影響がある。鋼管に常溫引拔を繰返すには途中で焼鈍することは必要であるが、此際に材質によりては結晶の發達大となり常溫引拔によい性質を與へないものがあるがクローム・モリブデン鋼の結晶は概して小さく、又熱処理によつて大となることは少いから常溫引拔には好都合である。

又肉厚の大なる鋼管では往々焼鈍の影響が肉厚の内部まで均一に行き互らない爲め引拔困難な場合もあるが、クローム・モリブデン鋼は熱傳導度もよく又冷却速度の微少なる差は材質的に大なる變化を生じないから熱処理の透過度もよく結極常溫引拔比較的容易である。

以上これを綜合するにクローム・モリブデン鋼管の常溫引拔の難易は 0.3% 炭素鋼と 0.6% 炭素鋼の中間に位するものと考へられる。

次に薄肉鋼管製造の能否の問題を考ふるにこれは管の表面の地荒れの程度に大なる關係を有し、地荒れ甚だしき薄肉鋼管に常溫引拔を加ふれば切斷せられて引拔困難である。而して其地荒れの原因の一つは焼鈍の際の酸化による地荒れであるが、炭素鋼を酸化氣流中で高溫度に洒せば表面に厚い酸化 Scale が出来る。此の表面の Scale は加熱中の溫度の多少の差によりて往々局部的に割がれ、此の部分に更に新しく酸化が起るから結局管の表面に凹凸を生ずるのであるが、クローム・モリブデン鋼に於てはクロームの酸化物は鋼管の表面を覆ふて酸化の進行を防止する爲めに Scale

も薄く且つ密着して割れることは少い。即ちクローム・モリブデン鋼は酸化による地荒れは炭素鋼よりも幾分少く此點薄肉鋼管の製造により適當である。

表面の地荒れの他の原因たる酸洗滌の際の Corrosion Pitting は後に腐蝕の項に於て述べる様にクローム・モリブデン鋼は酸洗滌によりて Corrosion Pitting を生ずることは少いから此の點も亦薄肉鋼管材として適當のものである。

表面の地荒れを除去するには色々な方法があるであらうが最も簡単な方法は引拔きに依る方法である。故に、加へ得る最大の Reduction per pass は地荒れを除去するに充分なものでなければ薄肉鋼管の製造には不便であるが、クローム・モリブデン鋼は前述の如き理由で相當大なる Reduction per pass を與へることが出来るから、此點からも薄肉鋼管材として適當のものであると言へる。

以上綜合するに肉厚の小となる程、引拔回數を増加しなければならぬことは、クローム・モリブデン鋼についても勿論であるが、クローム・モリブデン鋼は大體薄肉鋼管材として極めて適當なる合金鋼の一つであると言へる。外徑 3mm 乃至 35mm 位の範圍に於て肉厚 0.3mm 程度の圓管を製管することは左程困難でない。

III. クローム・モリブデン鋼の熱處理

による機械的性質の變化

クローム・モリブデン鋼に関する規格を見るに例へば 57-180-2A の如き鋼管では普通には標準化せられて供給せらるべきことになつてゐるが、57-136-8A の如き鋼帯に於ては熱處理の規定なく又クローム・モリブデン鋼の或ものは油中冷却又は水中冷却後適當に焼鈍せらるべきことに

規定せられたものもある。

製品の検査規格には航空機構造用材として必要なあらゆる機械的性質を皆規定し試験することは困難であるから、普通には抗張試験値其他僅かに2,3の機械的性質が規定せられるに過ぎない。従つて規格の機械的性質に合格したもの必ずしも最も適當なる状態に處理せられたものでないことが往々起り得るのである。

故に先づクローム・モリブデン鋼につきても其機械的諸性質が處理法に應じて如何に其數値を變化するかを研究して規格の制定及び實際設計上の参考とする必要がある。

附記。クローム・モリブデン鋼の處理法と機械的試験成績の關係はこれを炭素鋼管に關する同様の成績と比較すれば良否の判定に便利である。炭素鋼管に關する試験成績は住友伸銅鋼管株式會社發行研究報告第1號を参照せられたい。

(イ)熱處理豫備試験——常溫引拔を加へたるクローム・モリブデン鋼管を種々の溫度に加熱後空中冷却を行へるもの、加熱溫度と抗張試験値との關係。

航空機構造用薄肉クローム・モリブデン鋼管に加ふべき適當なる熱處理法を發見せんが爲めに、先づ其豫備實驗として第3表マークAなる鋼管から標點距離50mm 平行部寸法1.7×7.0mm位の多數の抗張試験片を作りこれを100°乃至1,000°Cの間の種々の溫度に加熱後空中冷却を行へる場合の熱處理と抗張試験値の關係を見た。其結果は第1圖(末尾)の通りで

i) クローム・モリブデン鋼管は12%位の繰返壓伸の常溫引拔によつて抗張力は55. kg/mm²

より70kg/mm²に、耐力は30kg/mm²より65kg/mm²に増加す。

ii) 常溫引拔のままの管を300°C附近の低溫度に焼鈍すれば炭素鋼等の場合と同様抗張力、耐力共に増加する。

iii) 變態點以上の溫度から空中冷却を行へば抗張力90kg/mm²位とせられる、ことが知られる。茲に耐力と言ふのは0.15%の永久變形を生じたる時の應力のことである。

(ロ) 950°Cに加熱後爐中冷却を行へるもの各種の恒數。

第1圖(末尾)の結果によればクローム・モリブデン鋼は950°C附近の高溫度に加熱後爐中冷却を行へば大凡そ最も軟かい状態になると想像せられるから、種々の處理法を受けたるクローム・モリブデン鋼の諸性質の比較の基本數値を得る爲めに第3表マークAと同一成分の鋼片を950°Cに焼鈍し爐中冷却を行へる後種々の物理的性質につき試験した。其結果は次の通りである。

i) 靜的抗張試験

標準距離 mm	試験片 mm	抗張力 kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	伸 %	面積收縮 %
35	100	57.8	25.0	30.5	53.5

ii) 硬 度

ブリネル	シーヨア	ロックウェル "B"
125	23	82

iii) 動的抗張試験

Amsler Tap machine を用ひて試験せる結果は次の通りである。

標點距離 mm	試験片 mm	吸収エネルギー m-kg/mm ²	伸 %	面積收縮 %
35	100	0.800	35.2	56.3

iv) 剪斷抗力 45.2 kg/mm²

v) スタントン打撃數

ハンマーの高さ	0.7'	1.5'	3.0'
打撃數	11,351	1,713	483

vi) シャーピー試験

10mm 角の試験片に深さ 2mm の U 状溝を切りたるものを 30kg·m 試験機にて試験せる結果は次の通りである $8.325 \text{ m} \cdot \text{kg}/\text{cm}^2$

vii) アイゾット試験

10mm 角の試験片に 45° の角の深さ 2mm V 型溝を切り 30kg·m 試験機にて試験せる結果は次の通りである。

$8.440 \text{ m} \cdot \text{kg}/\text{cm}^2$

vii) 比重

20°C に於ける水と比較すれば 7.870 となる。

ix) 電気抵抗

22°C に於ける電気抵抗は $12.15 \text{ microhm}/\text{cm}^2$ である。

x) 顕微鏡組織

950°C から爐中冷却を行へるもの、組織は写真 1 (末尾) に示す通りである。

(ハ) 常溫引拔後低溫焼鈍を行へるもの、加熱

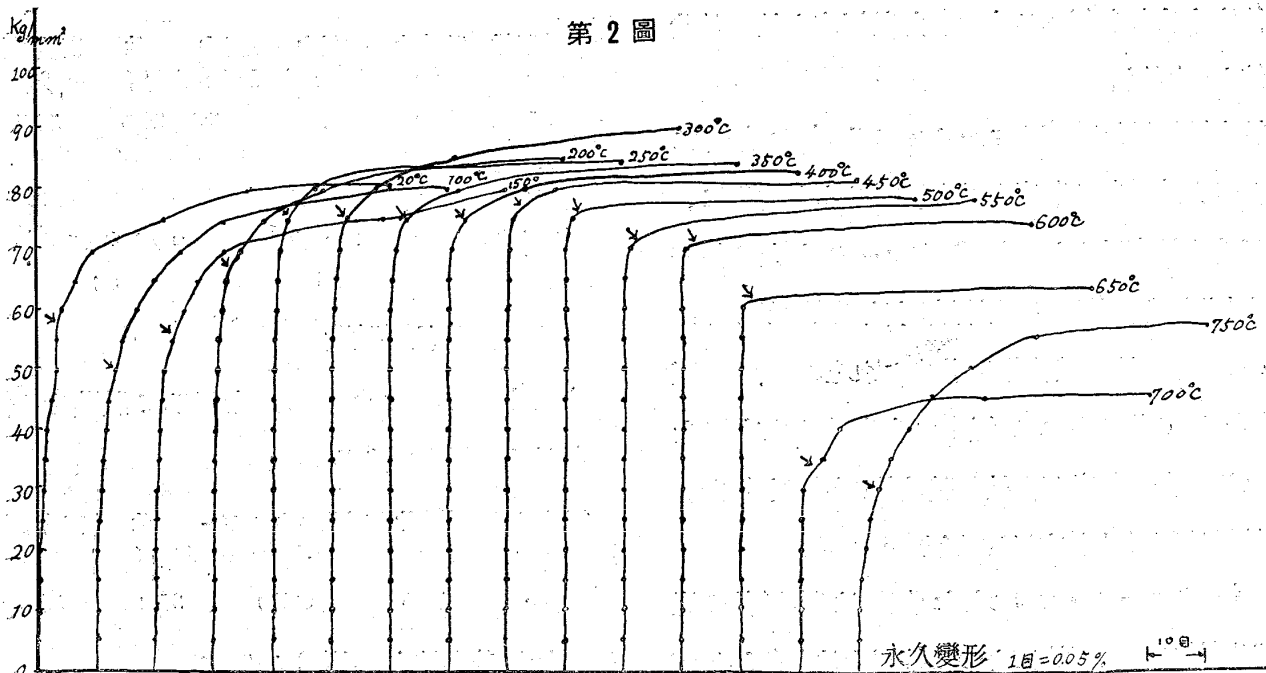
溫度と機械的性質の關係

i) 抗張及び抗壓試験：—第 1 圖の實驗結果によれば常溫引拔を加へたるクローム・モリブデン鋼管に低溫焼鈍を加ふることも炭素鋼管の場合と同様航空機構造用鋼管に加ふべき適當なる一つの處理法と考へられるが、著者が航空機構造用炭素鋼管につきて發見せる處によれば、常溫引拔を加へた炭素鋼管を低溫焼鈍したるもの、抗壓耐力は一般に抗張耐力よりも小さく其差は焼鈍溫度の低い程大である。

同様の現象がクローム・モリブデン鋼管の場合にもあるならば壓縮力の働く部分にクローム・モリブデン鋼管を用ふる設計には注意を要することとなるから、先づ抗張試験値、抗壓試験値を比較することとした。

第 3 表マーク B なる鋼管より長さ約 100mm の筒狀試験片を作り 100°~750°C の間の種々の溫度に焼鈍したるもの、抗壓力と永久變形の間の關係を求めたるに第 2 圖の如き結果を與へた。

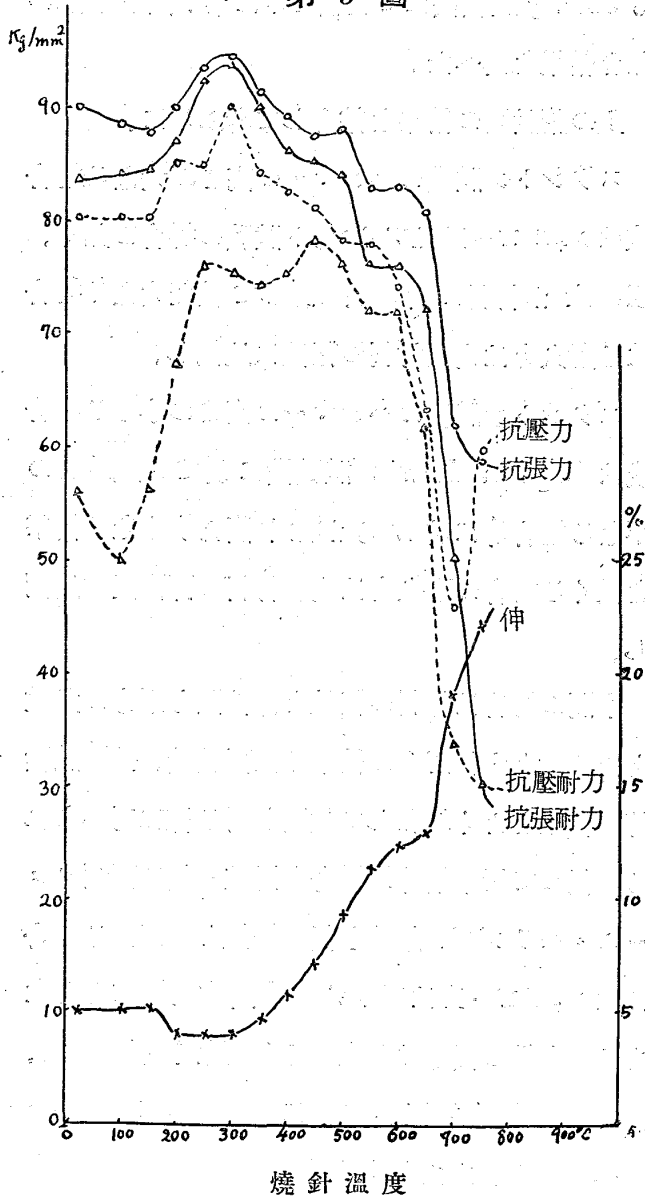
第 2 圖



これから抗壓力と抗壓耐力を求め、これと標點距離 50mm、平行部の寸法 1.3×7.0mm なる抗張試験片を同様の温度の範囲に焼鈍せるもの、抗張力及び抗張耐力に比較せるに第 3 圖及び第 4 表に示す如き炭素鋼管の場合と類似の結果を與へた。

第 3 圖からも明かである如く、500°C 以下の

第 3 圖



焼鈍温度の範囲では常温引拔を加へたクロム・モリブデン鋼の抗張耐力の變化は左程甚だしくはないが、抗壓耐力は甚だしく變化するが故に航空機構造用として大なる壓縮力を受ける部分に用ひらるゝクロム・モリブデン鋼管には抗張力、抗

張耐力等の外に抗壓力、抗壓耐力を規定するか又は常温引拔後抗壓耐力の最大となる 250°C 乃至 600°C の間に焼鈍する様熱處理を規定する必要がある。

又第 3 圖に明かなるが如く抗張壓力を最大ならしむる焼鈍温度と抗壓耐力を最大ならしむる焼鈍温度とは同一でないから張力の働く部分に用ひらるゝものと壓縮力の働く部分に用ひらるゝクロム・モリブデン鋼管ではこれに加ふる焼鈍温度を異にするのが合理的である。

常温加工を加へたるクロム・モリブデン鋼管の抗張耐力又は抗壓耐力が何故に低温焼鈍によりて著しく其値を増加するやの原因については別の機會に論じて見たいと思ふ。

ii) 壓平試験：—クロム・モリブデン鋼管も往々一部分を横に押潰して使用せられることがあるらしいので第 3 表マーク B なる鋼管から試料を切りとり 100° 乃至 1,050°C の間の種々の温度に焼鈍後空中冷却を行へるものゝ横押潰試験を行つた。屈曲部に疵を生ずるに至りたる時の内側距離を管の肉厚の倍數にて示せば第 4 圖(末尾)の通りである。

即ち 700°~750°C 附近に於て焼鈍せるものは壓平に對する性質最も宜しく、250°C 附近に焼鈍せるものは成績最も不良である。

iii) 縦壓試験：—鋼管の靱性と焼鈍温度との關係を見る爲めに更に縦壓試験を試みた。第 3 表マーク B なる管より長さ 100mm の試験片を作りこれを 100~750°C の間の種々の温度に焼鈍後縦に押し潰したるに何れも何等の疵を生ずることなく完全なる折疊褶を生ずる迄に押し潰すことが出来た。

航空機用鋼管に適當なる處理法を發見するには單に鋼管を以て試験し得る諸性質に限らず鋼管では試験困難の試験でも類似の處理を施した鋼材に就て豫め研究する必要がある。以下の諸試験は皆常溫引拔を加へた丸棒を低溫度に焼鈍したるものに就ての結果である。

iv) 應力—歪曲線:—應力—歪曲線は第3表マーク C なる丸棒より標點距離 100mm 平行部直徑 10mm の抗張試験片を作りこれを 300°C に焼鈍せるものについて求めた。其結果は第5圖(末尾)の通りである。

v) 彈性率:—上の應力—歪曲線に於て比較的直線的に應力に應じて微小なる歪の起る部分から彈性率を計算すると、常溫引拔後 300°C に焼鈍せるクローム・モリブデン鋼の彈性率は $E=21,700$ となる。

vi) 動的抗張試験:—第3表マーク D なる丸棒より標點距離 35mm 平行部直徑 10mm の試験片を作り 600°C 以下の種々の溫度に焼鈍後 Amsler Tap machine を用ひて動的抗張試験を行った。これと比較の爲めに同様の材料に同様の熱處理を加へたるもの、靜的抗張試験値を示せば第5表の通りである。

vii) 硬度:—上と全く同一材料に同一熱處理を加へたるもの、硬度は第5表に示す通りである。

viii) スタントン打撃試験:—常溫引拔後低溫焼鈍せるクローム・モリブデン鋼の Shock に対する耐久力を見る爲めにスタントン打撃試験を行った。上の諸試験に用ひたるものと同様の材料に同様の熱處理を施せるものをハンマーの高さを 0.7"、1.5" 及び 3.0" として試験せるに第6圖(末尾)の如き打撃數を與へた。

ix) シャルピー及びアイゾット衝擊試験:—上と全く同様の試験にてシャルピー試験に對しては 10mm 角の試験片に U 型の深さ 2mm の溝を切り、アイゾット試験に對しては 10mm 角の試験片に 45° V 型の深さ 2mm の溝を切り試験片は 600°C 以下の種々の溫度に焼鈍後靜氣中に冷却して孰れも 30m.kg 試験機にて試験せるに第7圖(末尾)の如き結果を與へた。

上の諸試験の結果を綜合して考ふるに、

スタントン試験のハンマーの高さの大なる場合或はシャルピー又はアイゾット試験の場合の如く、Shock が材料の彈性限に比して甚だ大なる場合には耐久力は大體材料の靱性に比例し、

スタントン試験のハンマーの高さの小なる場合或は Upton Lewis 試験機に於て直角内力の小なる場合等に於けるが如く斷えず小なる衝擊を受くる場合の耐久力は大體材料の彈性限に比例し、

中間の場合は材料の靱性と彈性限と兩方の函數となる。とすれば上の結果は抗張試験、抗壓試験等の結果とよく調和して説明し得る様に考へられる。従つて炭素鋼管の場合と同様一般に硬引クローム・モリブデン鋼管を低溫焼鈍して用ふる場合にはシャルピー又はアイゾット値等によりてあらはさるゝ靱性の低下は考慮する必要なく、抗張耐力、抗壓耐力等の最大となる様に熱處理すべきものと考へられる。

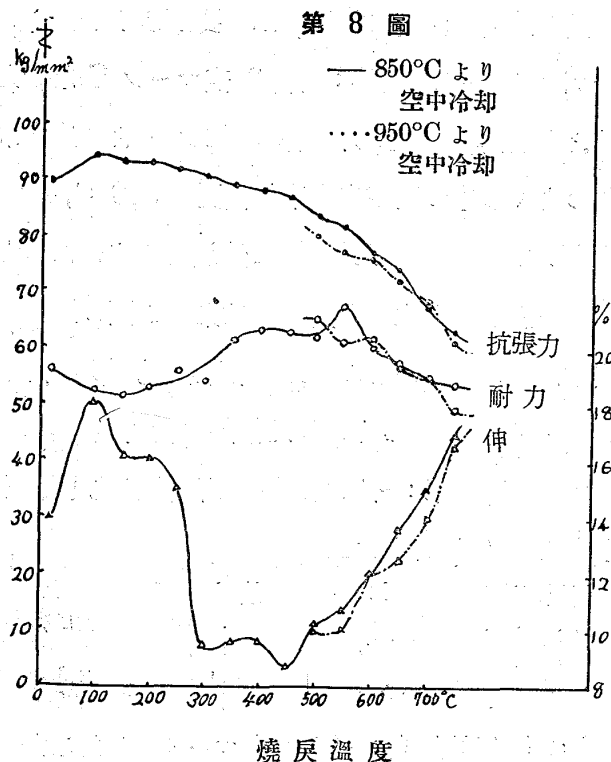
x) 顯微鏡組織:—第3表マーク C なる丸棒を 300°C に焼鈍せるもの、顯微鏡組織は寫眞 2 の通りである。マーク C なる丸棒は常溫引拔と焼鈍とを數回繰返したものであるが結晶の發達は著しくない。

(=) 高温度より空中冷却後種々の温度に焼戻

せるものゝ焼戻温度と機械的性質の関係

第 1 圖に示す実験結果によれば 800°C 以上の高温度から空中冷却を行ひ適當の温度に於て焼戻することも亦航空機構造用クローム・モリブデン鋼管に適當なる熱処理法と考へらるゝので次に高温度から空中冷却後種々の温度に於て焼戻せるものゝ性質を試験した。

i) 抗張試験:—第 3 表マーク A なる鋼管より前と同様の試験片を作りこれを 850°C より空中冷却を行ひ更に 100°~750°C の間の種々の温度に焼戻して抗張試験を行へるに第 8 圖に示す如き結果を與へた。此中特に注意すべき點は



抗張力は焼戻温度の上昇と共に概して次第に降下するも耐力は焼戻温度 150°~550°C の間に於ては焼戻温度の上昇と共に次第に増加して 550°C に於て最大となり、更に焼戻温度を高むれば次第に降下し、伸は焼戻温度 300°~500°C の間に於て甚だ減少すること。

である。

ii) 焼戻温度の影響:—空中冷却による焼戻温度は焼戻後の抗張試験値に如何なる影響を與へるかを見る爲めに上と同一の材料を用ひて 950°C から空中冷却後更に 500°C~750°C に焼戻せるものゝ抗張試験を行ひ、これを上の 850°C より空中冷却後同様の温度に焼戻せるものに比較するに第 8 圖に併記する通りで

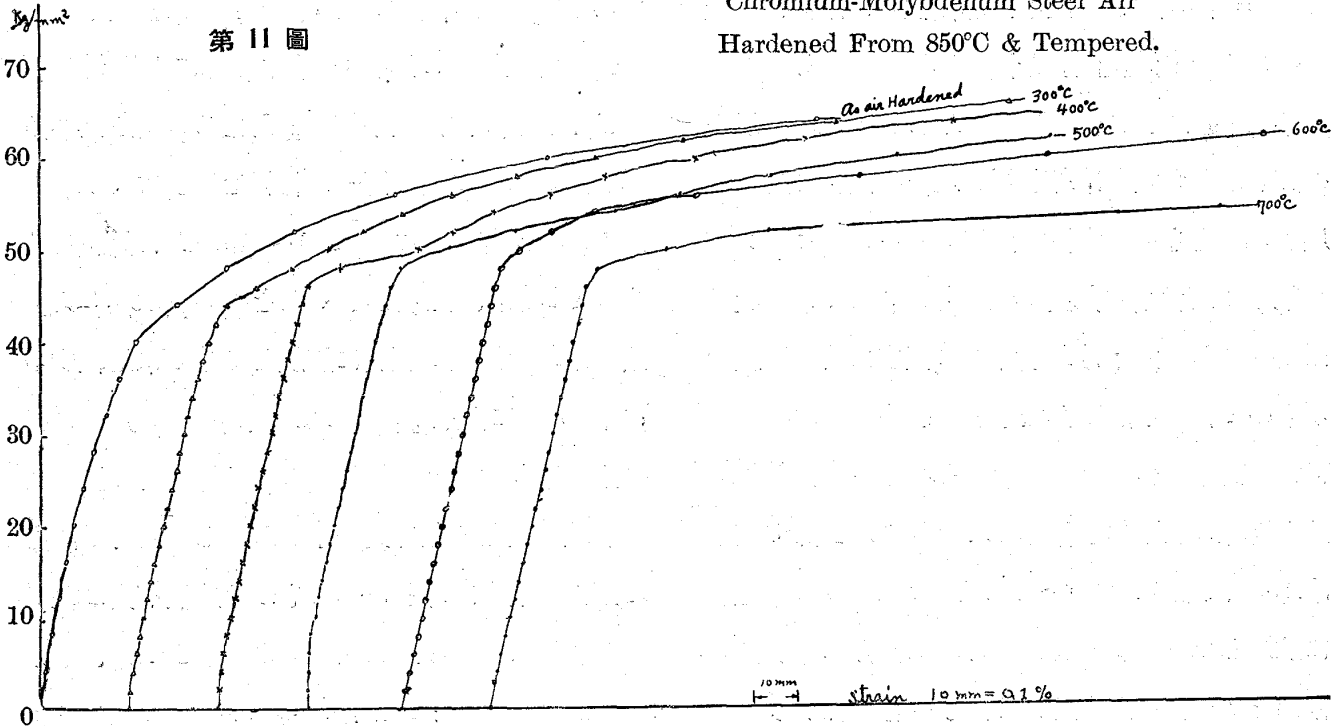
空中冷却温度のこの程度の差は焼戻後の抗張試験値に大なる差を與へないが概して温度の高き方より空中冷却を行へるものは成績不良の様である。

iii) 抗壓試験:—第 3 表マーク A なる鋼管より長さ 100mm の筒状試験片を作りこれを 850°C より空中冷却後 500°~750°C の間の種々の温度に焼戻したるものにつき抗壓力と永久變形の關係を求めた。其結果は第 9 圖の通りで空中冷却のものゝものは耐力低きも 500°~650°C 位に焼戻すれば相當に耐力の増加するを見る。

iv) 抗張試験値と抗壓試験値との關係:—高温度より空中冷却後焼戻せるクローム・モリブデン鋼管の抗壓力と抗張力及び抗壓耐力と抗張耐力との關係を見るに常溫引拔後低温焼鈍せる場合と同様抗壓力及び抗壓耐力は抗張力及び抗張耐力よりも低く耐力の稍大にして實際使用せらるべき焼戻温度の範圍に於ては第 6 表に示す如く抗壓耐力は抗張耐力の 80 乃至 90% 位で抗壓力は抗張力の 77 乃至 83% 位である。従つてクローム・モリブデン鋼管を高温度より空中冷却後焼戻して用ふる場合にも Compression member に用ひるとき設計には考慮を要する。

v) 壓平試験:—第 3 表マーク B なる管から試

Chromium-Molybdenum Steel Air
Hardened From 850°C & Tempered.



第 11 圖

試験片を作り 850°C より空中冷却後 100°乃至 750°C の間に焼戻せるもの、圧平試験成績は第 10 圖の通りで焼戻温度 400°乃至 700°C の間のものは大體よい成績を與へる。これを前の硬引後低温焼鈍せるものに比較すれば圧平に対する性質遙かに勝るを見る。故に抗張力、耐力等の高きことを要せず圧平に対する成績のよきものを必要とする場合には熱処理は高温度より空中冷却後適當の温度に焼戻する様に指定すべきである。

vi) 縦壓試験：—第 3 表マーク A なる鋼管を 850°C より空中冷却後 500°乃至 750°C の間の種々の温度に焼戻せるもの、縦押潰試験成績は次の通りである。

焼戻温度	縦壓試験	焼戻温度	縦壓試験
空中冷却のまゝ	縦割を生ず	600°C	550°Cに同
500°C	縦割を生ず	650°C	同上
550°C	割疵を生ずることなく完全なる折疊褶を生ずる迄縦壓せらる	700°C	同上
		750°C	縦割を生ず

即ち若し鋼管の靱性に重きをおくときには 850°C より空中冷却後加ふべき焼戻は 550°乃至 700°C

の間の適當の温度に於て行ふ必要がある。

vii) 應力—歪曲線：—第 3 表マーク C なる丸棒より前同様の試験片を作り 850°C より空中冷却のまゝのもの及び空中冷却後更に 300°C, 400°C, 500°, 600° 及び 700°C に焼戻せるものにつき應力—歪曲線を求めた其結果は第 11 圖の通りで空中冷却のまゝのものは比例限低きも 400°乃至 700°C に焼戻せるものは比例限は稍高い。

viii) 彈性率：—上の應力—歪曲線から彈性率を求めれば次の通りである。

焼戻温度°C	E	焼戻温度°C	E
空中冷却のまゝ	19350	400	21350
300	21700	500	20600
		600	21150
		700	20500

ix) 顯微鏡組織：—第 3 表マーク C なる丸棒の 850°C より空中冷却のまゝのもの及び 850°C より空中冷却後 600°C に焼戻せるもの、顯微鏡組織は寫眞 3 及び 4 の通りである。

(ホ) 高温度より油中冷却後焼戻せるもの、機械的性質

普通薄肉の鋼管に加ふる熱処理としては、

常温引抜後低温焼鈍を加ふるか高温度から
空中冷却後焼戻をする

方法は最も容易なもので、油中冷却又は水中冷却を加ふることは肉厚の薄くなる程困難なものであるが、上の場合よりも更に大なる強度を要求せられる場合には油中冷却後適當の温度に焼戻する必要があるから先づ高温度から、油中冷却後種々の温度に焼戻せるもの、機械的性質を見ることとした。

i) 抗張試験:—第3表マークAなる鋼管から前同様の抗張試験片を作りこれを850°Cより油中冷却後更に100°乃至750°Cの間の種々の温度に焼戻せるもの、抗張試験を試みたるに第12圖の如き値を與へた。

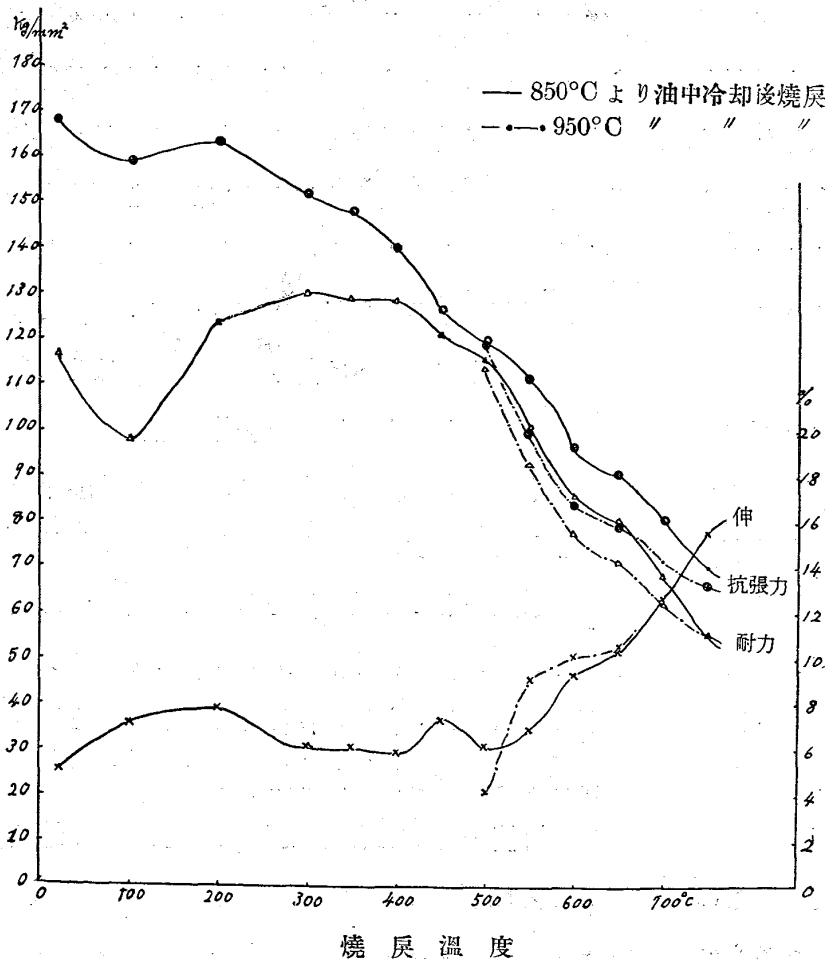
抗張力は焼戻温度200°C位までは變化少く、それ以上に至れば稍急に降下し、

耐力は焼鈍温度100°乃至200°Cの間に於て急に増加し300°C附近に於て最大値130kg/mm²となり400°C以上に至れば急に降下する。

これを空中冷却後焼戻せる場合に比較すれば耐力を最大ならしむる焼戻温度は焼入の際の冷却速度の大なる程低温度の方に移り其最大値も亦大となる。

ii) 焼入温度の影響:—第3表マークAなる鋼管より作れる試験片を950°Cより油中冷却後500°~750°Cに焼戻せるもの、抗張試験値を上850°Cより油中冷却後焼戻せるものに比較すれば第12圖の通りで、

第12圖



焼入温度の高い方は概して抗張力及び耐力共に低い。

iii) 圧平試験:—第3表マークBなる鋼管より圧平試験片を作りこれを850°Cより油中冷却後100°~750°Cに焼戻せるもの、圧平試験値は第13圖の通りでこれを空中冷却後焼戻せる場合に比較すれば成績一般に不良である。

iv) 動的抗張試験:—第3表マークEなる鋼材を用ひて標點距離35mm平行部直径10mmなる試験片を作り850°Cより油中冷却後100°乃至600°Cに焼戻したるもの、動的抗張試験を行つた。これと全く同一材料にて同一寸法の試験片を作り同一處理を加へたるもの、靜的抗張試験値とを

比較すれば第7表の通りである。

v) 硬度:一上と同一材料に同一熱処理を加へたるもの、各種の硬度は第7表に併記する通りである。

vi) シャルピー及びアイゾット試験:一上と全く同一材料に同一熱処理を加へたるもの、シャルピー及びアイゾット試験値は第14圖の通りで焼戻温度 300° 乃至 400°C 即ち抗張耐力の最大となる焼戻温度に於てシャルピー及びアイゾット値は最小となる。

vii) スタントン打撃試験:一第3表マークEなる材料にて作れる試験片に上と同一の熱処理を施し、ハンマーの高さ $0.7''$ 、 $1.5''$ 及び $3.0''$ として試験せるに第15圖の如き値を與へた。

(へ) 高温度より水中冷却後種々の温度に焼戻せるもの、機械的性質

i) 抗張試験:一普通高温度から水中冷却後焼戻して用ふるクローム、モリブデン鋼には規格57-107-19の如く一般にクロームの量を幾分低くしてあるが、これは果して必要のことであらうか。又水中冷却後種々の温度に焼戻することによりて機械的性質が如何に變化するかを見る爲めに第3表マークBなる鋼管より作れる試験片を 850°C より水中冷却後 100° 乃至 750°C の間の種々の温度に焼戻せるもの、抗張試験を行つた。

其結果は第16圖の通りである。これを前の空中冷却及び油中冷却の場合に比較するに、耐力を最大ならしむる焼戻温度は始めの焼入の際の冷却速度の大なりし程低温度の側に移る。此の現象の説明は何れ別の機会に詳論致し度いと思ふ。

猶ほ茲に注意すべき點は水中冷却を行へるもの抗張力及び耐力は各れも油中冷却を行へるもの

と大差なきことである。

ii) 壓平試験:一上と同一の鋼管に同一の熱処理を加へたるもの、壓平試験成績は第17圖の通りで油中冷却を行へるものよりも更に成績不良となる。

IV. クローム・モリブデン鋼の

オキシ・アセチレン熔接

小型の輕快なることを主とする航空機の構造用材としては重量を出来る丈輕減する必要上熔接可能な材料であることが便利である。

クローム・モリブデン鋼はオキシ・アセチレン熔接が容易であると言はれてゐるものであるが果して然るや否やを見る爲めに試験することゝした。

クローム・モリブデン鋼管が熔接して航空機に使用せられる場合を見るに熔接は片面から行はれ而も熔接し放しの儘で使用せられることが多いから、クローム・モリブデン鋼の熔接試験も試験片を片面から熔接し熔接し放しの儘で抗張試験を行ひ、其際の抗張力の大小によりて良否を判定するのが實際的であるとの考へが一般に行はれ、斯様な實驗結果から色々な結論が出されてゐる様でもあるが、かくては例へば肉厚 0.8mm 或はそれ以下の薄肉鋼管からとりたる試験片の熔接部の厚さは、最も熟練せる職工が熔接した場合でも往々 2.6mm 位にも達することがあるから假りに熔接部の強度が原のもの、 $1/3$ 位であつても熔接部から切斷せられぬことがある。又クローム・モリブデン鋼は第1圖からも知られる様に高温度から空中冷却せば硬化せられるから熔接し放しの儘では其爲めに熔接部及び其附近は硬化せられるので熔接部から少しく隔れる處で切斷せられることが多い。

斯様に熔接部以外から切斷せられたときの抗張力の大小は熔接の良否とは無關係で、多くの場合熔接中に加へられた焼鈍温度の高低を示すに過ぎないものである。従つて斯様な試験では熔接部の加熱温度の低き所謂附着的熔接を早く施行した様な場合に寧ろ抗張力は最も大きくあらはされるのであるから、これは熔接の良否の試験ではなくて熱処理の試験であると言ふべきである。

故にクローム・モリブデン鋼の熔接の良否を見るには熱処理の影響を除いて試験する爲めに熔接後最も軟かい状態となる温度に焼鈍し、且つ寸法の不同の影響を除去する爲めに熔接部の肉の盛り上りを削つて抗張試験に供すべきで、其抗張力も全然熔接せざるものに同一處理を加へたるものと同一であるときに熔接がよく行はれたと考へられるべきで、抗張力の小なるときは勿論大なるときも熔接はよいとは言はれないのである。

i) 熔接鐸に関する實驗：—一般世上に用ひられてゐるクローム・モリブデン鋼用の熔接鐸は

(イ) 低炭素鋼、例へば次の如き成分のもの

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.10	0.006	0.41	0.022	0.035	0.115

(ロ) 低炭素低モリブデン鋼、例へば次の如き成分のもの、(%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo
0.08	0.021	0.21	—	—	—	0.034

(ハ) 共 金

等である(ロ)及び(ハ)は特殊なものであるが(イ)は普通の一般市場品であるから、入手容易であるので一般に廣く用ひられてゐる様である。

熔接鐸として如何なるものを用ふるのが適當であるかを見る爲めに第 3 表マーク F なる厚さ 4 mm のクローム・モリブデン鋼板を熔接すべき部

分を両面から削稜し、熔接鐸としては第 3 表マーク G, H, I, J 及び K なる極軟鋼、軟鋼、低炭素クローム・モリブデン鋼、共金及び高炭素のクローム・モリブデン鋼の 5 種を用ひて熔接しこれ等を熔接せざるものと共に 720°C に焼鈍し爐中冷却の後熔接の爲めの肉盛りを削りて抗張試験を行へるに第 8 表の如き結果を與へた。

即ち熔接鐸として極軟鋼、低炭素クローム・モリブデン鋼及び共金を用ひたるもの、抗張力は順次熔接せざるものに接近しつゝ強くなり、軟鋼及び高炭素クローム・モリブデン鋼を用ひたるものは順次熔接せざるものより強くなる。共金及び軟鋼を用ひたるもの、抗張力は熔接せざるものに最も接近してゐるから成績もよいが、これ等のもの、熔接部の顯微鏡組織を見るに寫眞 5 乃至 9 に示す如くで、熔接鐸として軟鋼を用ひたもの、組織は甚だ大で熔接せざるものと遠いから熔接鐸としては共金を用ひたものが最もよい成績を與へるものと言へる。

以上は簡単に熔接した試験片の試験結果であるが更に熔接作業中に起る現象に注意して熔接の難易を見る必要がある。

熔接の難易を金相學的に見るに熔接せられる管と熔接鐸とは其 Liquidus 及び Solidus が同一であるのが都合がよい、熔接を行ひ得る温度は Solidus 以上の温度であるが若しも熔接せられるものと熔接鐸の Solidus が大いに異るときは熔接の際に熔接せられるものか又は熔接鐸より滴下する熔鋼かの何れかゞ流れて裏に通ることになる。

又 Solidus と Liquidus の間に相當の温度の範圍のあるもの、方が熔接が容易である。Solidus

と Liquidus の間では湯流れは適當であるが Solidus と Liquidus の接近してゐる極軟鋼又は低炭素クローム・モリブデン鋼では Liquidus 以上に加熱せられる機会が多いから湯流れが良過ぎて裏に通ることが多い。

尤も複雑な熔接の場合には一つ一つの熔接部が十分に Cementing material で充され難い様があるがあるので斯様な場合には寧ろ熔鋼が充分裏に通ることを望むのであるが、複雑な熔接の場合には往々鋼管と熔接鏝の膨脹係數の差の爲めに熔接後熔接部に Crack を生ずることがあるから、熔接鏝は原則的には共金を用ふべきものと考へられる。

ii) 熔接劑に關する實驗: 一不銹鋼の如きクローム鋼を酸化焔に洒せば Cr_2O_3FeO (熔解點 = $1,850^\circ C$) の如き熔解温度の高き Scale が出來て夾雜物となる爲めに熔接困難であるがクローム・モリブデン鋼の場合には Scale は Cr_2O_3FeO の外にモリブデンの酸化物を含むものとなるが故に其熔解點は降下して表面に浮び夾雜物とならぬ爲めに熔接比較的容易となるのであるが、猶ほ地金と Scale の熔解點の開きは低炭素鋼の場合に及ばないから、熔接鏝に共金を用ふるものは極軟鋼又は軟鋼を用ふる場合よりも熔接困難である。此の困難を除去するには熔接劑を用ふればよい、熔接劑は

(イ) 熔接部を薄く覆ふて地金と火焰の接觸を防止すること

(ロ) Scale の熔解點を低下せしめて流動性をよくし軽く夾雜物とならぬこと

(ハ) 脱酸効果を有すること

(ニ) 熔接劑は高温度に於て大なる表面張力を

有せぬこと

(ホ) 熔接劑中の特殊成分が地金の熔接部に入らぬこと。

等の性質を有する必要がある。クローム・モリブデン鋼の熔接劑として、

燒 硼 砂	30	螢 石	10
石 灰	25	フェロシリコン	5
過酸化マンガン	25	フェロモリブデン	5

なる配合のものも相當によい結果を與へる。

V. クローム・モリブデン鋼の腐蝕試験

飛行船、飛行艇等の如き大型航空機の構造用鋼管には耐腐蝕性の大きなることも一つの條件となる。

クローム・モリブデン鋼の耐腐蝕性を見る爲めに第 3 表マーク L なる鋼管より $30 \times 50 \times 2mm$ の試験片を作りその

(イ) 常溫引拔のまゝのもの

(ロ) $750^\circ C$ に焼鈍せるもの

(ハ) $850^\circ C$ より空中冷却のもの及び

(ニ) $850^\circ C$ より空中冷却後 $550^\circ C$ に焼戻せるもの

を次の如き各種の浸漬液

$N/10 H_2SO_4$, $N/10 HNO_3$, $N/10 HCl$,

$N/10 CH_3COOH$ $N/10 NaCl$,

$3\% NaCl$, $3\% NaCl + 1\% H_2O_2$

の $500cc$ 中に試験片各 1 個宛を浸漬し 1 週間毎に重量の減少を測定し且つ浸漬液を新にして 4 週間試験を繼續した。其結果は第 9 表の通りである。

猶ほこれと比較の爲めに第 3 表マーク M なる軟鋼管につき全く同様に行へる試験成績は第 10 表の通りである。又第 3 表マーク A 及びマーク N なるクローム・モリブデン鋼管とクローム・ヴ

ナデウム鋼管の 850°C より空中冷却後 550°C に焼鈍せるものを全く同様に試験せる結果は第 11 表の通りである。

i) クローム・モリブデン鋼の腐蝕に対する熱処理の影響。

(イ) 常温加工の影響。第 9 表につき常温引拔のまゝのものとこれを 750°C に焼鈍したるものと比較するに $\text{N}/10\text{HCl}$ 及び $\text{N}/10\text{CH}_3\text{COOH}$ に対しては常温引拔のまゝのものが強く、他の浸漬液に対しては 750°C に焼鈍したるものが強い。

(ロ) 高温度より空中冷却の影響。第 9 表につき 850°C より空中冷却のまゝのものと、空中冷却後 550°C に焼戻せるものとを比較するに $\text{N}/10\text{H}_2\text{SO}_4$ 及び $\text{N}/10\text{HNO}_3$ に対しては空中冷却のまゝのもの強く、他の浸漬液に対しては空中冷却後焼戻せるものが強い。

即ち腐蝕による重量の減少と熱処理の関係は浸漬液の種類によりて異なる。

猶ほ浸漬試験後の試験片の表面を見るに常温引拔のまゝのものを $\text{N}/10\text{H}_2\text{SO}_4$ に浸漬せるものは Corrosion Pitting を生じたるも他のものは總て表面平滑であつた。

ii) 他種の鋼管との比較

(イ) 軟鋼管との比較。第 9 表クローム・モリブデン鋼管の腐蝕試験成績と第 10 表、軟鋼管の腐蝕試験成績とを比較するに $\text{N}/10\text{HNO}_3$, $\text{N}/10\text{HCl}$, $3\%\text{NaCl}$ 及び $3\%\text{NaCl}+1\%\text{H}_2\text{O}_2$ 等の諸液に対しては熱処理の如何によりて或は軟鋼に優り或は軟鋼に劣るが、 $\text{N}/10\text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{N}/10\text{CH}_3\text{COOH}$ 及び $\text{N}/10\text{NaCl}$ に対して軟鋼に劣る。

但し試験後の試験片の表面の状態は軟鋼の場合

には $\text{N}/10\text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{N}/10\text{HCl}$ 及び $\text{N}/10\text{CH}_3\text{COOH}$ の諸液に対しては熱処理の如何に關せず Corrosion Pitting を生じた。

(ロ) クローム、ヴァナデウム鋼との比較。第 11 表によれば $\text{N}/10\text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{N}/10\text{HNO}_3$, $\text{N}/10\text{HCl}$ の諸浸漬液に対しては Cr-V 鋼に優り他のものに對しては劣る。

試験後の試験片の表面の状態はクローム・モリブデン鋼の方が概して平滑である。

VI. 結 論

以上を綜合するにクローム・モリブデン鋼管の常温引拔は左程困難でなく、薄肉鋼管の製造には最も適當なる鋼材の一つであり、其機械的性質もこれに加ふる処理法を適宜變更することにより抗張力 $55\text{kg}/\text{mm}^2$ 、耐力 $30\text{kg}/\text{mm}^2$ より抗張力 $150\text{kg}/\text{mm}^2$ 、耐力 $130\text{kg}/\text{mm}^2$ 迄の間の任意の値を與ふことが出來、オキシ・アセチレン熔接に對しては熔接鋸に共金を用ひ適當の熔接剤を用ふれば熔接効果殆んど 100% であり腐蝕に對する性質も特に悪くはないから小型偵察機の如き輕快を主とする航空機の構造用鋼管材としては最も適當のものである。

但し薄肉鋼管に油中冷却—焼戻又は水中冷却—焼戻を施すことは空中冷却—焼戻又は常温引拔—低温焼鈍を施すことに比して相當困難であるから後者の如き簡單なる熱処理によりて猶ほ抗張力 $150\text{kg}/\text{mm}^2$ 、耐力 $130\text{kg}/\text{mm}^2$ 程度の機械的性質を與へクローム・モリブデン鋼の他の優秀なる性質を失はぬ配合を研究する必要がある。

以 上

第 1 表

規格	品種	C%	Cr%	Mo%	Si%	Mn%	P%	S%	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸%
57-180-2A	鋼管	0.25~0.35	0.8~1.1	0.15~0.25	0.15~0.35	0.4~0.6	<0.040	<0.045	66.8	42.2	10
10076	—	0.25~0.30	0.8~1.1	0.15~0.25	0.15~0.35	0.4~0.7	<0.040	<0.045	—	—	—
57-107-19	—	0.25~0.30	0.5~0.8	0.15~0.25	0.15~0.35	0.4~0.7	<0.040	<0.045	—	—	—
57-136-8A	鋼板	0.25~0.35	0.8~1.1	0.15~0.25	0.15~0.35	0.4~0.6	<0.040	<0.045	87.9	70.3	6~10
SAE 4140	—	0.35~0.40	0.8~1.1	0.15~0.25	0.15~0.35	0.4~0.7	<0.040	<0.045	—	—	—
Sandrik 6C ₂ Mo	鋼板	—	—	—	—	—	—	—	75~85	50~55	16

第 2 表

鋼種	熱處理	試験片	動的試験		靜的抗張試験	
			吸收エネルギー Mkg/mm ²	伸%35mm に付き	抗張力 kg/mm ²	伸% 35mm = ツキ
炭素鋼	C=0.10% 950°C より空中冷却	10mmO	0.876	63.0	34.3	46.7
"	C=0.30% 900°C より "		0.872	33.9	66.4	27.9
"	C=0.60% 850°C より "		0.830	25.6	83.6	19.6
クロームモリブデン鋼	950°C より爐中冷却		0.713	28.0	73.7	21.7
18-8 不銹鋼	1,150°C より水中冷却		1.730	34.3	66.6	65.0
3% 珪素鋼	900°C より爐中冷却		0.633	16.6	65.5	30.0

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
炭素鋼 C=0.10%	0.10	0.016	0.41	0.014	0.023	0.118	—	—	—
" C=0.30%	0.29	0.160	0.77	0.043	0.017	0.076	—	—	—
" C=0.60%	0.62	0.390	0.47	0.040	0.020	0.220	—	—	—
クローム・モリブデン鋼	0.26	0.080	0.63	0.014	0.011	0.090	—	1.02	0.23
18-8 不銹鋼	0.11	0.340	0.15	0.020	0.026	0.060	8.5	18.40	—
3% 珪素鋼	0.09	3.030	0.55	0.011	0.005	0.130	—	—	—

第 3 表

マーク	寸法	引抜の荷	C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	P%	S%	Cu%
A	鋼管 49×45m/m	12.67%	0.26	0.08	0.63	1.02	0.23	0.014	0.011	0.09
B	" 49×46 "	16.85%	0.31	0.10	0.49	0.89	0.20	0.024	0.010	0.05
C	丸棒 15.0m/mO	12.20%	0.30	0.10	0.42	0.91	0.25	0.027	0.001	trace
D	" 18.0m/mO	13.00%	0.34	0.02	0.63	1.03	0.20	0.014	trace	0.13
E	" —	—	0.31	0.06	0.58	0.89	0.17	0.017	0.012	0.02
F	鋼板 4.0m/m	—	0.29	0.16	0.55	1.01	0.17	0.017	0.009	0.18
G	熔接棒	—	0.09	0.01	0.47	—	—	0.017	0.009	0.12
H	"	—	0.29	0.18	0.61	—	—	0.018	0.019	0.09
I	"	—	0.12	0.04	0.25	1.11	0.28	—	—	—
J	"	—	0.30	0.23	0.37	1.02	0.19	0.020	0.010	0.15
K	"	—	0.43	0.19	0.55	1.18	0.26	—	—	—
L	鋼管 49×45	13.00%	0.30	0.25	0.55	1.16	0.27	0.022	0.000	0.16
M	" 49×45	13.00%	0.27	0.18	0.52	—	—	0.017	0.017	0.12 V%
N	" 49×45	12.67%	0.26	0.28	0.83	1.33	—	0.033	0.025	0.05 0.20

第 4 表

焼鈍温度°C	抗張力 kg/mm ²	抗壓力 kg/mm ²	抗壓力% 抗張力	抗張耐力 kg/mm ²	抗壓耐力 kg/mm ²	抗壓耐力% 抗張耐力
引拔のまま	90.0	80.0	88.9	83.5	56.0	67.1
100	88.5	80.0	90.4	84.0	50.0	59.5
150	87.5	80.0	91.5	84.0	56.0	63.7
200	90.0	85.0	94.5	87.0	62.0	71.3
250	93.5	84.5	90.4	92.5	76.0	83.2
300	94.5	90.0	95.2	94.0	75.0	79.8
350	91.0	84.0	92.3	90.0	74.0	82.2
400	89.0	82.0	92.1	86.0	75.0	87.3
450	87.5	81.0	92.6	85.0	78.0	91.8
500	88.0	78.0	88.7	84.0	76.0	90.5
550	83.0	78.0	94.0	76.0	72.0	94.7
600	83.0	74.0	89.2	75.5	72.0	95.3
650	78.0	63.0	80.8	72.0	62.0	86.1
700	62.0	45.5	73.0	50.0	34.0	68.0
750	56.0	57.0	101.7	30.0	30.0	100.0

第 5 表

焼鈍温度 °C	試験片		動的抗張試験			静的抗張試験				硬度	
	標点距離 mm	直径 mm	吸収エネルギー Mkg/mm ²	伸 %	面積収縮 %	抗張力 kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	伸 %	面積収縮 %	ブリネル (3,000kg10mm)	シヨ ーア
引拔のまま	35	10	0.572	22	58.5	76.5	69.0	16.4	59.3	213.5	27
200°	"	"	0.677	22	62.0	78.5	69.0	17.4	64.9	221.8	27
300°	"	"	0.638	21	62.3	82.9	78.0	17.1	63.8	226.5	28
400°	"	"	0.684	22	64.2	80.3	75.0	18.5	63.1	230.8	28
500°	"	"	0.654	24	64.3	79.7	72.5	18.5	64.3	227.0	28
600°	"	"	0.713	28	65.7	73.7	61.0	21.7	64.5	206.5	25

第 6 表

焼戻温度 °C	抗張力 kg/mm ²	抗壓力 kg/mm ²	抗壓力 抗張力 %	抗張耐力 kg/mm ²	抗壓耐力 kg/mm ²	抗壓耐力 抗張耐力 %
空中冷却のまま	89.5	75.8	84.7	56.0	46.0	82.1
500°	84.0	69.7	83.0	62.0	57.0	91.9
550	82.0	66.8	81.4	67.5	57.0	84.5
600	77.0	61.0	79.2	60.0	52.0	86.7
650	74.5	57.4	77.1	58.0	47.0	81.0
700	67.5	56.0	82.9	55.0	36.0	65.5
750	63.5	74.4	117.0	54.0	38.0	70.4

第 7 表

焼戻温度 °C	動的抗張試験			静的抗張試験				硬 度		
	吸収エネ ルギー Mkg/mm ²	伸 %	面積 収縮 %	抗張力 kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	伸 %	面積 収縮 %	ブリネル 3,000kg 1,000kg	シヨ ーア	ロック ウェル C
焼入のまま	0.808	14.3	43.0	176.0	116	12.1	38.2	418 358	40	42.5
200°	0.731	15.7	44.0	172.0	116	13.6	40.8	418 375	38	42.5
300°	0.769	14.6	46.9	161.0	120	13.6	46.6	438 393	43	45.0
400°	0.763	16.7	50.3	150.0	113	15.0	46.8	425 377	43	43.0
500°	0.731	19.6	54.5	124.0	107	16.4	54.7	351 318	34	38.0
600°	0.746	23.0	63.0	104.0	80	18.6	61.6	307 303	33	33.0

第 8 表

熔接棒	フラックス	抗張力 kg/mm ²	耐 力 kg/mm ²	伸 %	熔棒接	フラックス	抗張力 kg/mm ²	耐 力 kg/mm ²	伸 %
		57.9	43.0	25	I	無	51.6	"	6
		57.5	"	26	J	"	57.4	46.0	5
G	無	47.3	39.0	5	"	"	55.9	"	7
"	"	43.0	"	3	"	"	57.5	"	7
"	"	42.2	"	4	K	無	61.0	46.0	10
H	無	59.3	45.0	10	"	"	59.4	"	9
"	"	58.6	"	8	"	"	56.7	"	9
"	"	58.4	"	9	J	有	58.5	45.0	9
I	無	54.0	46.0	5	"	"	61.2	"	14
"	"	52.9	"	5	"	"	61.2	"	8

第 11 表 (第 3 表 N 材)

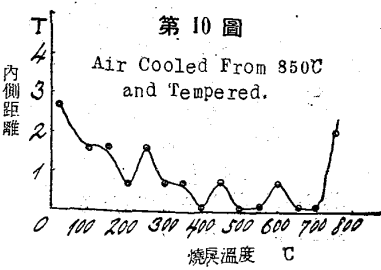
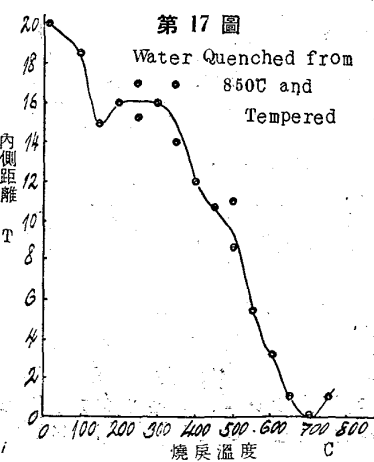
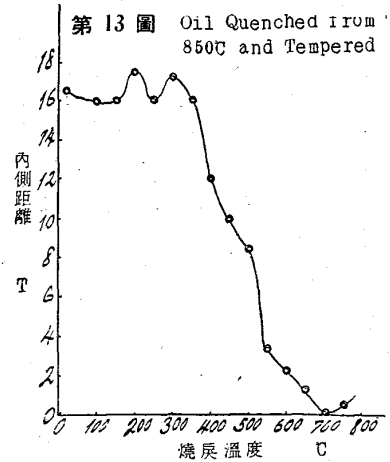
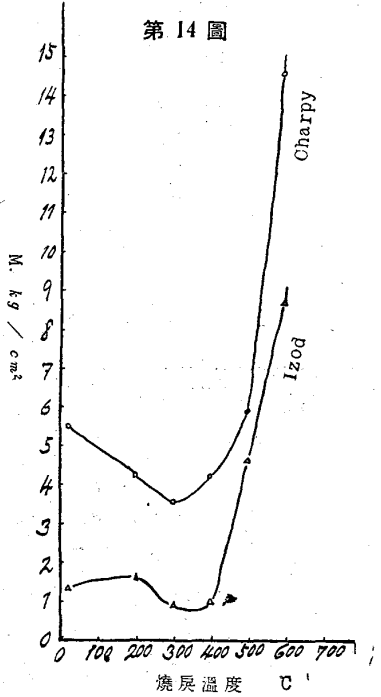
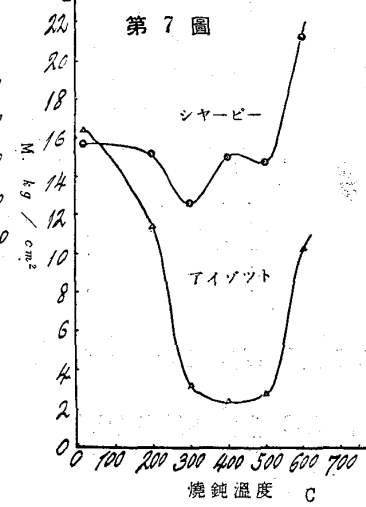
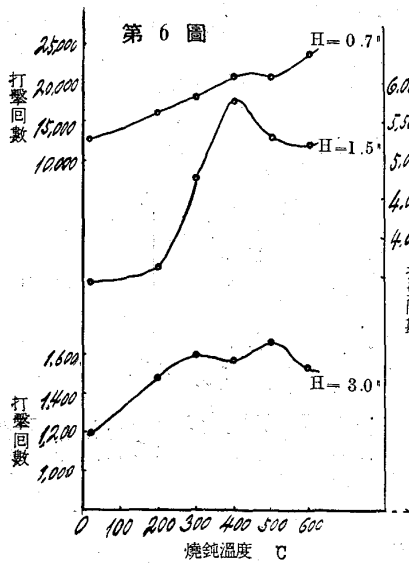
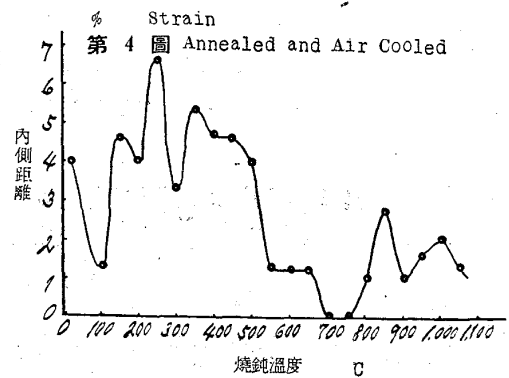
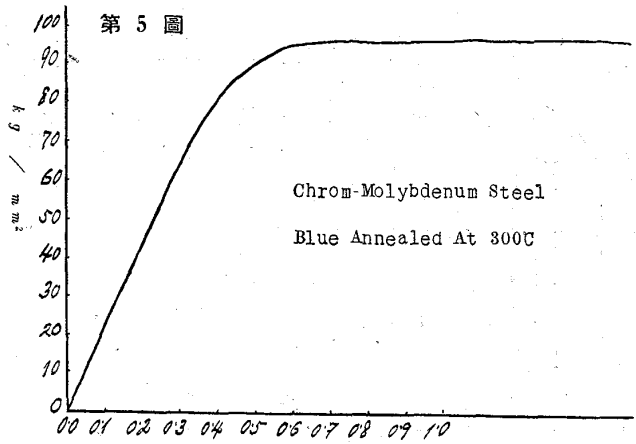
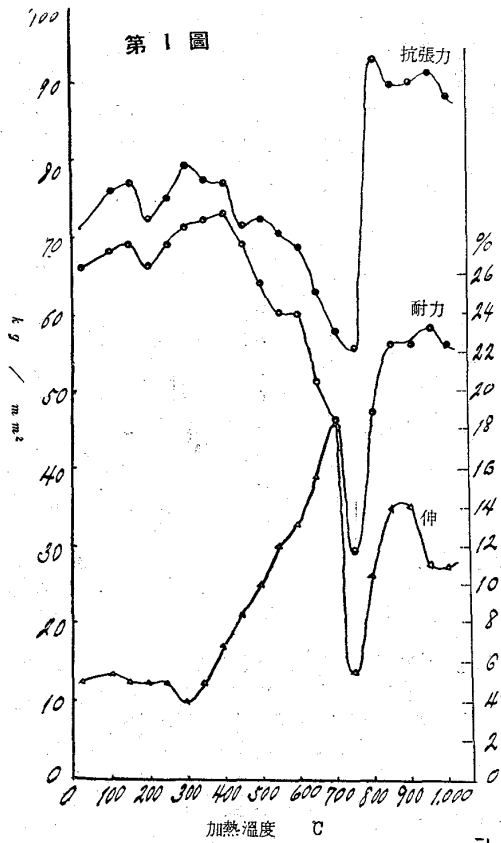
溶 液	鋼 管	初重量 (瓦)	重量減少量(瓦)			
			7 日後	14 日後	21 日後	28 日後
N/10H ₂ SO ₄	{Cr-Mo	24.8404	1.2446	2.1588	3.5656	4.5586
	{Cr-V	23.6835	1.5282	2.4472	3.7598	4.9505
N/10HNO ₃	{Cr-Mo	24.2405	0.7195	1.3220	2.1447	2.9030
	{Cr-V	23.8155	0.7498	1.5820	2.4703	3.2267
N/10HCl	{Cr-Mo	24.4618	0.3628	0.6239	0.8315	1.1002
	{Cr-V	24.6067	0.4862	0.8740	1.4298	1.9369
N/10CH ₃ COOH	{Cr-Mo	24.9871	0.3529	0.6143	0.8641	1.2249
	{Cr-V	23.9936	0.3382	0.5650	0.7242	0.8680
N/10NaCl	{Cr-Mo	23.3598	0.0413	0.0904	0.1323	0.1844
	{Cr-V	24.9608	0.0398	0.0832	0.1231	0.1620
3% NaCl	{Cr-Mo	24.4727	0.0410	0.0859	0.1240	0.1637
	{Cr-V	24.4684	0.0374	0.0849	0.1258	0.1614
3% NaCl+	Cr-Mo	23.7944	0.1509	0.2944	0.4044	0.5078
1% H ₂ O ₂	Cr-V	24.3567	0.0934	0.2167	0.3150	0.4173

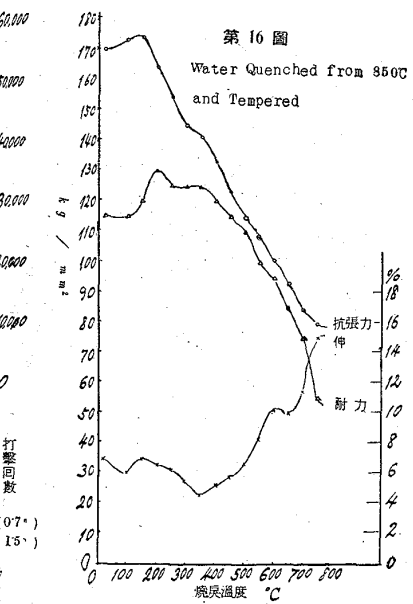
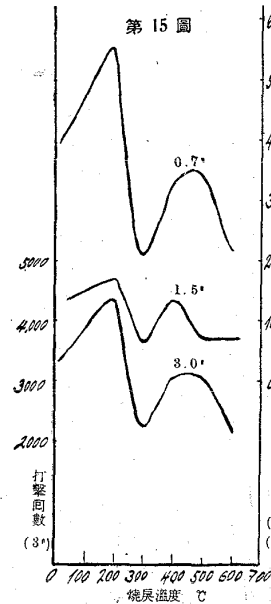
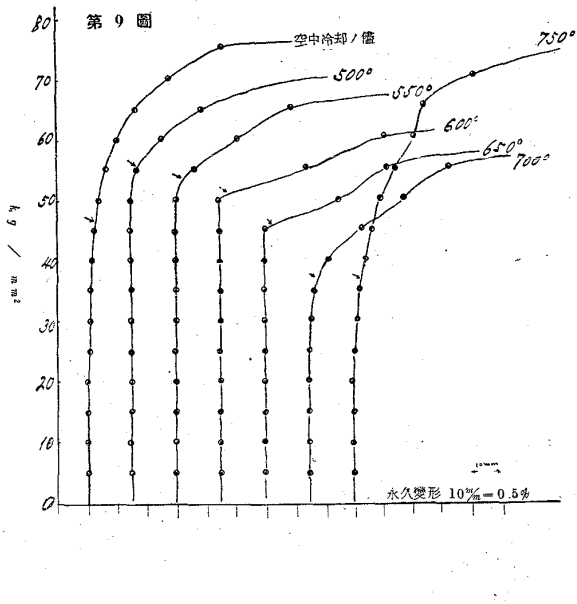
第 10 表 (第 3 表 M 材)

溶 液	熱 處 理	初重量 式	重量減少量(瓦)			
			7日後	14日後	21日後	28日後
N/10H ₂ SO ₄	常溫引抜のまま	25-2860	0-5198	1-6300	2-2820	3-4246
	750°に焼鈍	25-3377	0-3877	1-3166	1-9883	2-8331
	850°より空中冷却	24-4714	0-4187	0-9091	1-5139	2-2587
	550°より空中冷却	24-8275	0-3342	0-7161	1-1400	1-6151
N/10HNO ₃	常溫引抜のまま	25-0905	0-6805	1-4048	1-8710	2-5464
	750°に焼鈍	24-8622	1-0287	2-4185	3-5155	4-0464
	850°より空中冷却	24-5663	0-6881	1-6902	2-4136	3-1916
	550°より空中冷却	24-7318	0-7915	1-8449	2-9980	3-8170
N/10HCl	常溫引抜のまま	25-5278	0-1806	0-5616	0-8869	1-3031
	750°に焼鈍	25-7392	0-2277	0-5251	0-9614	1-2017
	850°より空中冷却	25-8794	0-1500	0-4553	0-7064	1-0194
	550°より空中冷却	25-3450	0-1753	0-3575	0-5495	0-7080
N/10CH ₃ COOH	常溫引抜のまま	24-9213	0-0821	0-1607	0-2392	0-3228
	750°に焼鈍	24-7446	0-1158	0-1937	0-2711	0-3743
	850°より空中冷却	25-5685	0-1281	0-2052	0-2793	0-3853
	550°より空中冷却	24-6362	0-1220	0-1943	0-2627	0-3365
N/10NaCl	常溫引抜のまま	25-8958	0-0450	0-0856	0-1264	0-1804
	750°に焼鈍	25-3115	0-0462	0-0888	0-1299	0-1732
	850°より空中冷却	25-1873	0-0421	0-0861	0-1284	0-1706
	550°より空中冷却	25-1105	0-0422	0-0808	0-1238	0-1607
3% NaCl	常溫引抜のまま	25-1341	0-1246	0-1682	0-2117	0-2516
	750°に焼鈍	25-7173	0-0580	0-1011	0-1426	0-1845
	850°より空中冷却	24-8747	0-0453	0-0872	0-1265	0-1640
	550°より空中冷却	25-8610	0-0463	0-0896	0-1325	0-1610
3% NaCl + 1% H ₂ O ₂	常溫引抜のまま	26-0821	0-1252	0-2383	0-3800	0-5215
	750°に焼鈍	24-5712	0-1237	0-2291	0-3639	0-4806
	850°より空中冷却	25-0315	0-1283	0-2265	0-3237	0-4280
	550°より空中冷却	25-5268	0-1222	0-2356	0-3693	0-4717

第 9 表 (第 3 表 L 材)

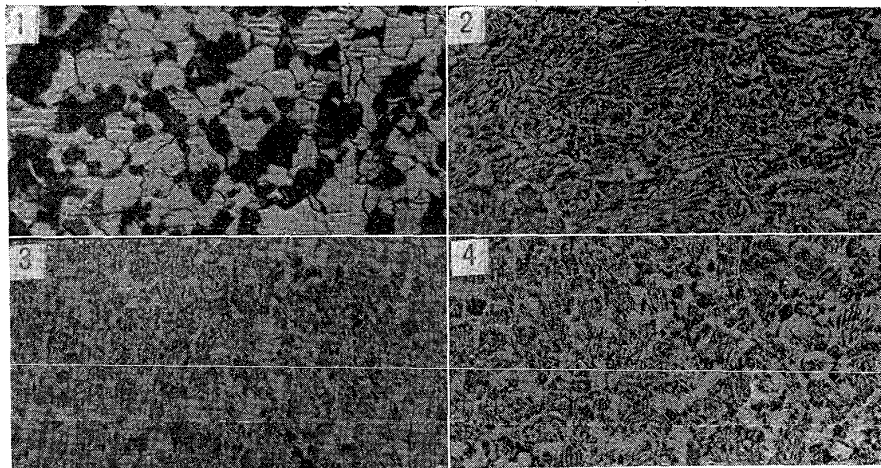
溶 液	熱 處 理	初重量 式	重量減少量(瓦)			
			7日後	14日後	21日後	28日後
N/10H ₂ SO ₄	常溫引抜のまま	24-8708	1-3664	2-3579	3-0753	4-6693
	750°に焼鈍	23-3856	1-2791	2-4352	3-4603	4-5333
	850°より空中冷却	24-7894	1-3081	2-4707	3-7365	4-6401
	550°より空中冷却	25-0128	1-3381	2-4798	4-0180	5-0375
N/10HNO ₃	常溫引抜のまま	24-6749	0-7553	1-5035	2-0151	3-0478
	750°に焼鈍	23-4925	0-7740	1-3977	1-8853	2-5892
	850°より空中冷却	23-6691	0-6593	1-4263	1-9726	2-5915
	550°より空中冷却	24-6700	0-7107	1-5815	2-4313	3-0313
N/10HCl	常溫引抜のまま	24-9066	0-3428	0-4341	0-6857	0-8950
	750°に焼鈍	23-4447	0-6829	1-3668	1-8098	2-2960
	850°より空中冷却	23-1563	0-4851	1-1649	1-5666	2-0055
	550°より空中冷却	23-3094	0-5033	0-7181	0-9870	1-2748
N/10CH ₃ COOH	常溫引抜のまま	24-0729	0-1636	0-3882	0-6004	0-8631
	750°に焼鈍	24-3746	0-5699	1-1334	1-6350	2-5035
	850°より空中冷却	24-1878	0-6475	1-3624	1-9403	2-7576
	550°より空中冷却	24-7231	0-3236	0-5042	0-7210	0-8248
N/10NaCl	常溫引抜のまま	24-0990	0-0449	0-0846	0-1272	0-1832
	750°に焼鈍	24-5877	0-0409	0-0829	0-1250	0-1743
	850°より空中冷却	24-1468	0-0443	0-0855	0-1240	0-1746
	550°より空中冷却	24-9002	0-0419	0-0826	0-1262	0-1681
3% NaCl	常溫引抜のまま	23-7136	0-1343	0-1707	0-2165	0-2598
	750°に焼鈍	24-3561	0-0461	0-0931	0-1293	0-1811
	850°より空中冷却	24-5382	0-0418	0-0814	0-1228	0-1656
	550°より空中冷却	24-9307	0-0403	0-0885	0-1140	0-1566
3% NaCl + 1% H ₂ O ₂	常溫引抜のまま	24-7929	0-1250	0-2415	0-3909	0-5315
	750°に焼鈍	23-8857	0-1310	0-2201	0-3409	0-4630
	850°より空中冷却	23-5085	0-1359	0-2661	0-4093	0-5436
	550°より空中冷却	24-1757	0-1221	0-2240	0-3462	0-4617





寫眞 1 950° より爐中冷却せるもの ×160

寫眞 2 常溫引拔後 300°C に低温焼鈍せるもの ×160



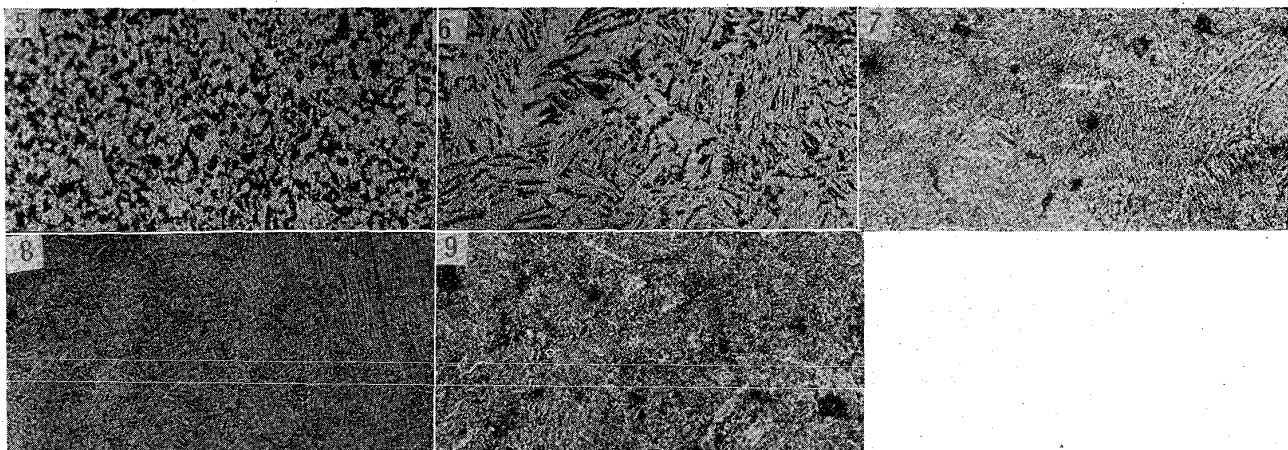
寫眞 3 850°C より空中冷却のもの ×160

寫眞 4 850°C より空中冷却後 600°C に焼戻せるもの ×160

寫眞 5 低炭素鋼熔接鋸を用ひたる熔接部 ×160

寫眞 6 軟鋼の熔接鋸を用ひたる熔接部 ×160

寫眞 7 低炭素クローム・モリブデン鋼の熔接鋸を用ひたる熔接部 ×160



寫眞 8 共金の熔接鋸を用ひたる熔接部 ×160

寫眞 9 高炭素クローム・モリブデン鋼の熔接鋸を用ひたる熔接部 ×160