

## 航空機用プロペラ・ハブ用材の研究

(日本鐵鋼協會第 18 回講演大會講演 昭和 12 年 10 月)

堀 造 爾\*

## A STUDY ON THE MATERIAL FOR AIRCRAFT PROPELLER HUBS.

Soji Hori

SYNOPSIS:—The mechanical tests were made on the appropriate properties required for the material for propeller hubs relating to the following five kinds of steel, viz.,

chrome-molybdenum steel (C 0.3%, Cr 1.2%, Mo 0.5%),

chrome-vanadium steel (C 0.3%, Cr 1.0%, V 0.1%),

nickel-chromium steel (C 0.3%, Ni 4.5%, Cr 0.5%),

nickel-chrome-molybdenum steel (C 0.3%, Ni 3.0%, Cr 1.2%, Mo 0.4%), and

nickel-chrome-molybdenum steel (C 0.45%, Ni 1.7%, Cr 0.8%, Mo 0.2%).

The tests were particularly made on the last named steel which appears not so widely used as the other kinds of material for the purpose.

The results show that this steel is of the excellent quality as a material for the manufacture of the hubs in view of its strength and economy.

## I 緒 言

金屬プロペラ用ハブは今日固定節と可變節の 2 種に大別出来る。固定節ハブは其の形状簡單で、ハブ本體と之を締め合はせる帶金等よりなり、使用鋼材の種類も殆ど各々單一であるが、可變節ハブは其の様式に依りて形状と構造を異にし、一般に甚だ複雑である。之に使用せらるゝ材料も亦其の種類多く、而も之に加ふるに夫々加工並びに熱處理を考慮に入れる時は一層複雑となる。

茲に記述しようとするものは、専ら固定節ハブ用鋼材に就いてあるが、之に使用せられる材料として要求せらるる諸性能は可變節ハブの強力を要する主要部品に對するものと本質的に何等異なるものではない。

現今内外に於て使用せられつゝある主なるハブ用鋼種と其の成分及機械的性質の概略を示せば次の様である。

鋼 種	Ni-Cr-Mo 鋼	Ni-Cr 鋼	Cr-V 鋼	Cr-Mo 鋼
主成分%	C 0.3 Ni 3.0 Cr 1.2 Mo 0.5	C 0.3 Ni 4.5 Cr 0.5	C 0.3 Cr 1.0 V 0.1	C 0.3 Cr 1.2 Mo 0.5
抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	167	95	100	93
降伏點* kg/mm <sup>2</sup>	92	75	90	80
伸 率 %	18	16	16	18
ブリネル 硬 度	335	305	310	300

\* 永久延伸 0.1% を生ぜしむる應力を以て表す。

上記の諸鋼材は夫々の有する特徴によりハブ用材として現今内外に使用せられつゝあるものであつて、其の各の一般性質に關しては從來既に其の詳細周知のものである。筆

\* 住友金屬工業株式會社伸鋼所

者が茲に主として記述しようとするものは凡そ次の成分を有する鋼材に就て上掲と他種鋼との比較實驗結果である。

C	Ni	Cr	Mo
(%) 0.4~0.5	1.5~2.0	0.7~0.9	0.15~0.35

即ち本鋼は普通使用せらるゝ Ni-Cr-Mo 鋼に比して炭素高く、Ni Cr 及 Mo 共に低いのが特徴である。

之がハブ用材としての適否の概念を得るために上掲鋼材中二三のものと凡そ次に示す様な諸條件に據て試験を行ひ其の結果を比較せんとするものである。

1. 鍛造の難易
2. 熱處理の難易
3. 機械的性質
4. 材質的缺陷

## II 實 驗

1. 試料 本研究に使用した鋼材及鍛造ハブの化學成分は第 1 表に示す様である。

試料は特別なる試験を除き總て直徑 25~30mm の鍛伸棒とし、之より各試験片を削製した。

2. 鍛造の難易に關する試験 ハブは其の形甚だ大ではないが、肉厚は全體を通じて均等ならず、其の輪郭も亦稍複雑である。之に加へて組織に於て所謂 Flow Line をして外形に沿はしむることが強度の點より特に必要とせらるるために鍛造の難易は其の材料として重要な性質の一である。

鍛造試験は實際作業に依るのが最も適切であるが、次の 2 試験並びに實地の經驗に依りて其の傾向を推定した。

第1表 試料の化學成分

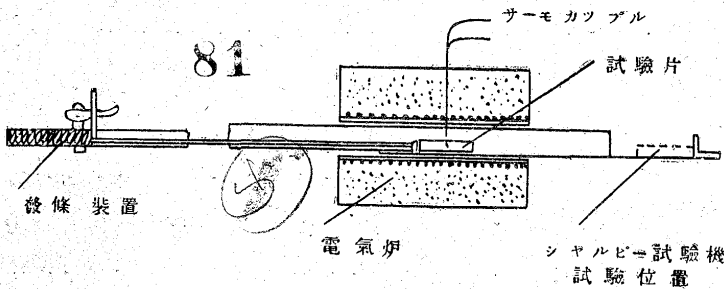
試料	成分%	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
Ni·Cr·Mo 鋼 A		0.4/0.5	<0.35	0.5/0.8	<0.03	<0.03	1.5/2.0	0.7/0.9	0.15/0.35	—
Ni·Cr·Mo 鋼 B		0.2/0.3	〃	<0.6	〃	〃	2.7/3.5	1.0/1.4	<0.65	—
Ni·Cr 鋼		0.3	0.2	0.5	〃	〃	4.5	0.55	—	—
Cr·Mo 鋼		0.25/0.35	<0.35	<0.6	〃	〃	—	1.0/1.5	0.3/0.65	—
Cr·V 鋼		0.3/0.4	0.15/0.35	0.5/0.8	<0.04	<0.04	—	0.8/1.1	—	0.15/0.25

試料: Ni·Cr·Mo-A, Ni·Cr·Mo-B 及 Cr·Mo 鋼

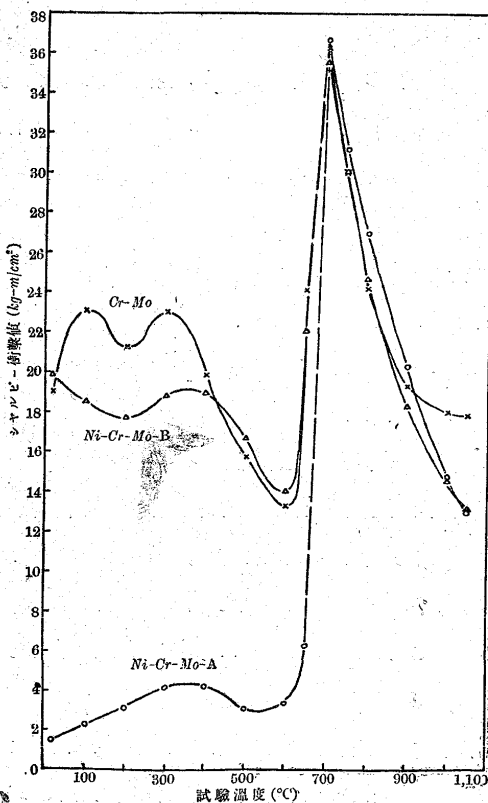
i. 高温衝撃試験 Mesnager notch を有する試験片を用ひ、次の如き装置によつて常温~1,050°C の温度で試験を行た。

試験装置は 30kgm シャルピー衝撃試験機及之に附属する管形電気爐よりなり、電気爐内には 1 本の断面凹型の誘導溝を貫通せしめ、其の一端はシャルピー試験機の試験片取付箇所連り、他端には發條装置ありて試験片は之等に依て爐内より急速に試験機所定の位置に運ばれる。之を

第1圖 高温衝撃試験装置略圖



第2圖 高温衝撃試験結果

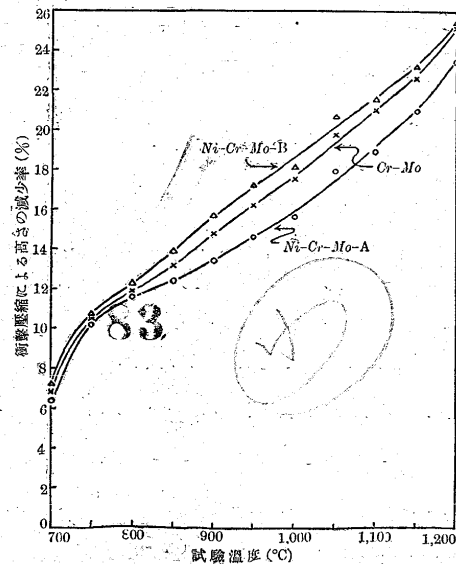


直に衝撃せられる。之に要する時間約 3 秒間に於て此の間の温度降下は高温試験に於ても甚だ僅少である。試験結果を示せば第 2 圖の様である。

以上の結果を見るに、3 種鋼とも 700°C に於て衝撃値の最高を示し、其の値は 3 者略同等で之より温度昇れば試験片は何れも破断せられず、notch 展開面の状況は温度上昇と共に平滑の度を増し、一方吸収勢力は連続的に益々低減す。斯して 700°C 以上に於て温度と共に粘性増加の状態を知るを得たが、鍛造の難易に關して 3 試料間に明かな相違は認め難い。猶 700°C 以下に於ては Ni·Cr·Mo 鋼 A は同 B 及 Cr·Mo 鋼に比して衝撃値は著しく低いが、之は材質による自硬性の大小にも因るものであつて、此の温度範囲に於ける之等の相違は此の際問題にはならぬ。

ii. 高温衝撃壓縮試験 鍛伸棒より採りたる直径 25 mm、高さ 40 mm の試験片を用ひ Universal Tup Machine により 700~1,200°C の間で試験を行た。試験は Tup Machine に近接せる電気爐により試験温度 700~50°C 毎に 1,200°C 迄の各温度に試験片を各 1 時間加熱後、速に Tup Machine の金敷上に移し、直に Hammer を落下し壓縮された試験片の高さの減少を測

第3圖 高温衝撃壓縮試験結果



圖示すれば第 1 圖の様である。

試験片は爐内に於て所定の温度に各 30 分間保持後、發條作用により急速に試験機に移動せられ

て温度との關係を知らんとするものである。但し Hammer の重量は 20kg にして、落下の高さ 4m とす。3 試料に依る試験結果を示せば第 3 圖の様である。

之等の結果によれば約 800°C

迄は温度による圧縮量は 3 試料凡そ同値を示すが、之より温度昇ると *Ni·Cr·Mo* 鋼 A は他の 2 種に比して圧縮量稍少くなる、他 2 者の中 *Ni·Cr·Mo* 鋼 B は *Cr·Mo* 鋼よりも更に高い圧縮量を示すが、 $1,100^{\circ}\text{C}$  以上では之等は略同等となる。

即ち本試験結果から *Ni·Cr·Mo* 鋼 A は他 2 試料に比し鍛造に幾分餘計な力を要するが其差違は僅少であることを知た。

iii. 実験鍛造作業に於ける経験

實際作業に於ける鍛造の難易に關しては *Ni·Cr·Mo* 鋼 A、同 B 及 *Cr·Mo* 鋼の間に著しき相違を認めぬ。

之を要するに鍛造の難易に關して之等 3 種鋼の間には大差が無いと言へる。

3. 熱処理の難易に關する試験 熱処理中焼入に於て割れ又は歪を生ぜぬか、焼戻脆性の有無、焼戻温度範囲の大きさ、熱処理後の均質程度等は總て熱処理の難易を示す條件

であるが、本項に於ては焼入に於ける質量効果と焼戻脆性に就いて行つた試験結果を記述せんとするものである。

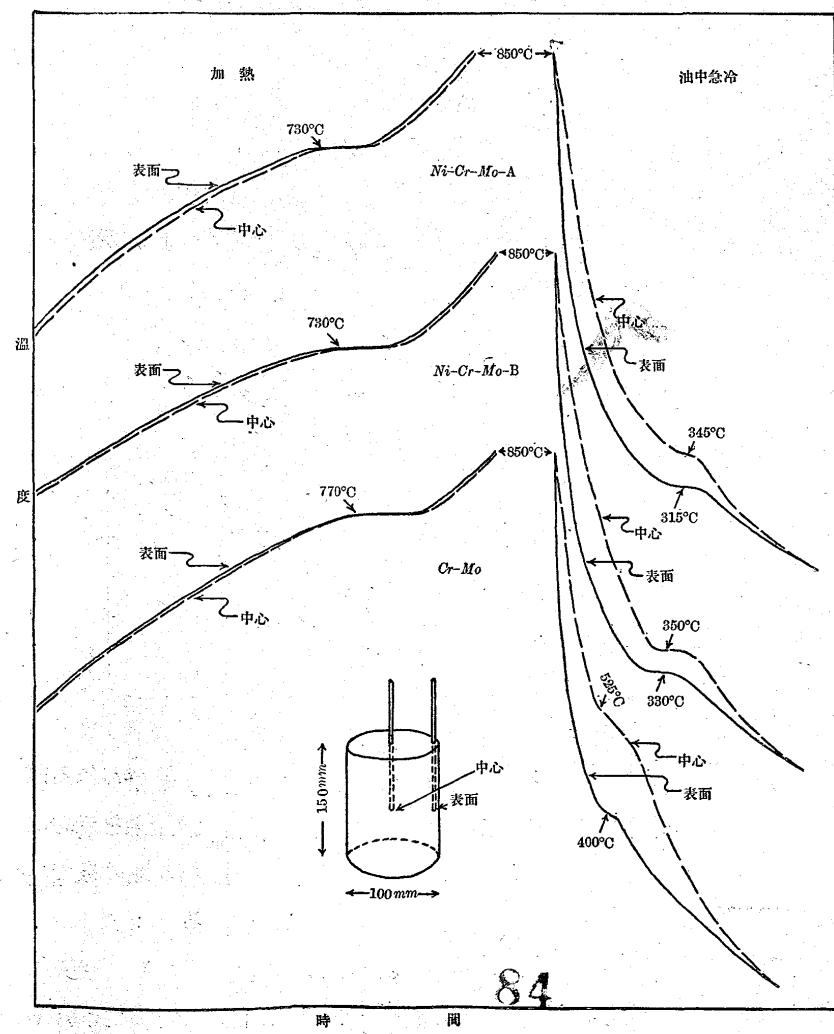
試料: *Ni·Cr·Mo* 鋼 A, *Ni·Cr·Mo* 鋼 B 及 *Cr·Mo* 鋼

i. 焼入に於ける質料効果 (Mass Effect) に關する試験 ハブの焼入前に於ける部分的肉厚には約  $10\sim 60\text{mm}$  の不同がある、此の肉厚不同が各點に於ける焼入効果に及ぼす影響を次の様な方法によつて比較試験した。

試験片は鍛伸棒より削出されたる直徑  $100\text{mm}$  高さ  $150\text{mm}$  の圓壩とし、之が加熱並びに油冷に依る焼入に於て其中心及表面の温度の變移狀況並びに焼入焼戻したる後の縦断面各部の機械的性質の相違等を各試料に就て比較せんとするものである。先づ最初の試験に於ては各試験片は其の縦軸に平行に中心及表面に沿ふて高さの  $1/2$  に達する各 1 本の小穴が穿たれ、之等に熱電對が挿入されて、1 個宛縦型管形爐によつて加熱せられ、 $850^{\circ}\text{C}$  に至る上昇と同温より油中に移して急冷したる際の各兩穴底に於ける温度の變移狀況を時間と共に測定した。之等の結果を圖示すれば第 4 圖の様である。

即ち各試料を通じ加熱に於ては中心點は表面に比し各温度を通じ僅に低く (約  $3\sim 10^{\circ}\text{C}$ )、之を各鋼材に就いて見ると其の間に明かな相違が認め難い程度である。油冷焼入に於ては中心點は表面に近い點に比し温度の降下稍遅れ、ために Ar 變態點が幾分高い温度で出現することになる。之等を各鋼材に就いて曲線から求めて見ると凡そ次の様である。

第 4 圖 表面及中心部の加熱及急冷に於ける温度—時間曲線



Ar 變態點,  $^{\circ}\text{C}$

	表面	中心	兩點の差
<i>Ni·Cr·Mo</i> 鋼 A	315	345	30
<i>Ni·Cr·Mo</i> 鋼 B	330	350	20
<i>Cr·Mo</i> 鋼	400	525	125

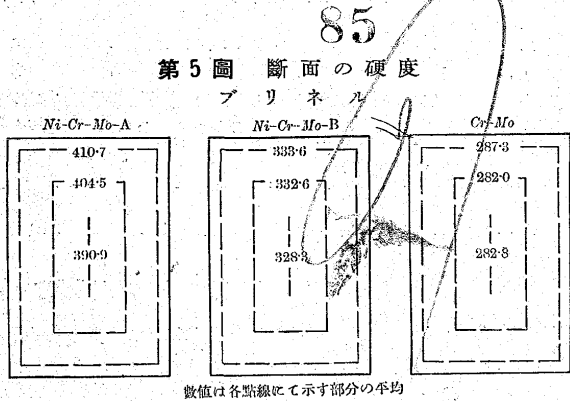
以上の結果に依りて加熱及焼入過程中、中心と表面の温度相違の狀況が略々判る、此の點に關し同種組成の *Ni·Cr·Mo* 鋼 A 及同鋼 B の兩鋼を比較すると、前者は後者に比し其の兩點間の差は幾分大であるが兩者間に格段の差違あるとも考へられぬ。 *Cr·Mo* 鋼では其の差特に大であるが前二者と組成に於て種類を異にし直接之等との比較は適切でない。

34x42-1428

次に行た試験は上の試験で得た 850°C で油中急冷されたものを次の様に焼戻したるものを用ひ、其の断面に於ける硬度分布及各部の抗張、衝撃の兩試験を行た。

	焼戻温度 °C	時間	冷却
Ni·Cr·Mo 鋼 A	480	2 時間	油 冷
" 鋼 B	600	"	"
Cr·Mo 鋼	600	"	"

中心線に沿ふ縦断面の硬度分布状況は第 5 圖の様である。

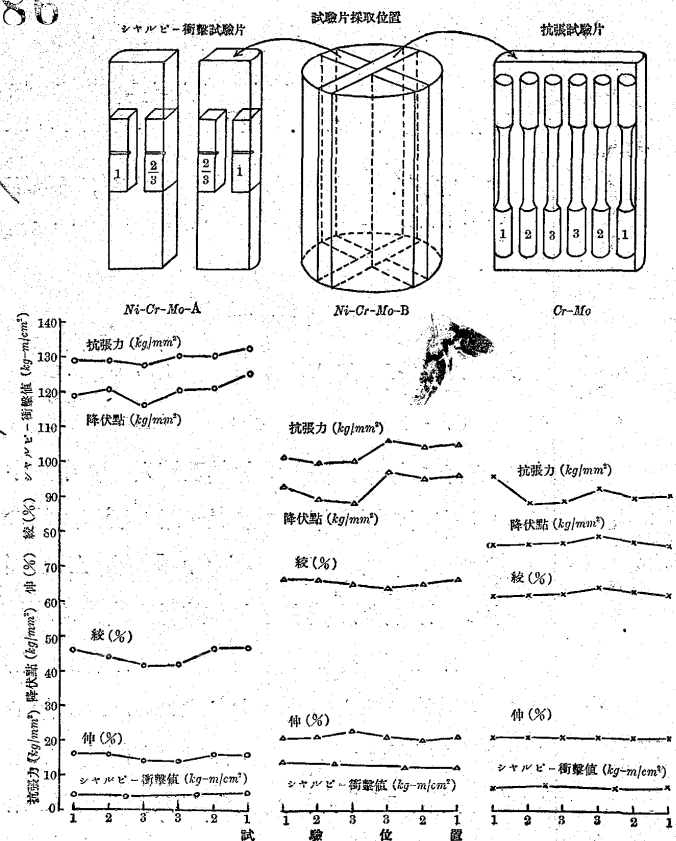


數値は各點線にて示す部分の平均

即ち Ni·Cr·Mo 鋼 B と Cr·Mo 鋼の兩鋼は内外の差違甚だ僅少であるが、Ni·Cr·Mo 鋼 A は之等と比較すると稍大である。但し之を單獨に見れば其の内外の相違は寧ろ少いと言ひ得よう。

次に第 6 圖に示した様に採た抗張及衝撃試験片に就い

第 6 圖 各部分の機械的性質



て試験した結果は第 6 圖の様である。

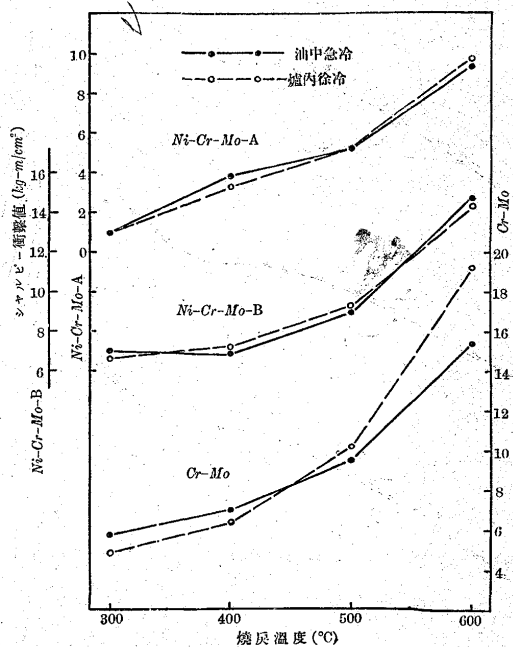
以上の結果を見るに 内外各部の抗張性及衝撃値は 3 試料とも夫々概ね均等で明かな Mass Effect と認められる様な相違を示さぬ。

之を要するに之等 3 種鋼は何れも 直徑約 100mm 大のものでは焼入に於ける効果の深部への進入に對する Mass Effect は甚だ輕微であつて此の點に關し相互間に大差なしと言ひ得る。

ii. 焼戻脆性 焼戻脆性を現し易い材質は之を防止するために焼戻温度から急冷せねばならぬ、從て充分除去せらるべき内部應力は尙其の幾分が残留するに至る結果徐冷せるものに比して弾性限が低下すると言はれてゐる、故に肉厚に不同あるハブ素材としては Mass Effect による内部應力が大となり易い傾向あるものでは焼戻脆性の有無は重要な條件の一である、

試験は衝撃試験に依り、試験片を豫め 850°C で油冷焼入し、續いて 300, 400, 500 及 600°C で焼戻したるものを油冷又は爐冷し、試験に供して冷却速度による衝撃値の相違を比較した、結果は第 7 圖に示す様である。

第 7 圖 焼戻後の冷却速度と衝撃値



此の結果によると Cr·Mo 鋼に於ては約 500°C 以上で爐冷によるものが油冷のものに比し衝撃値稍高値を示す様であるが、Ni·Cr·Mo 鋼 A 及 同鋼 B に於ては其の相違は各温度を通じて殆ど皆無である。即ち此の 3 種鋼に於ては焼戻脆性を現す懼は先づ無い。

之を要するに Ni·Cr·Mo 鋼 A は他の 2 鋼に比し、直

徑約 100mm 大のもので、焼入に於ける Mass Effect に關して特に劣るとも認められず、Mass Effect は何れも比較的小である。焼脆性に對する感受性又甚だ小さく熱處理に關し特に難點を感じしむるものはない。

3. 機械的性質 試料: Ni·Cr·Mo 鋼 A, 同鋼 B 及 Cr·Mo 鋼

i. 焼戻温度と抗張的性質, 衝擊値及硬度 焼入後焼戻温度と抗張的性質, 衝擊値及硬度の關係を試験した。其の結果を圖示すれば第 8 圖の様である。

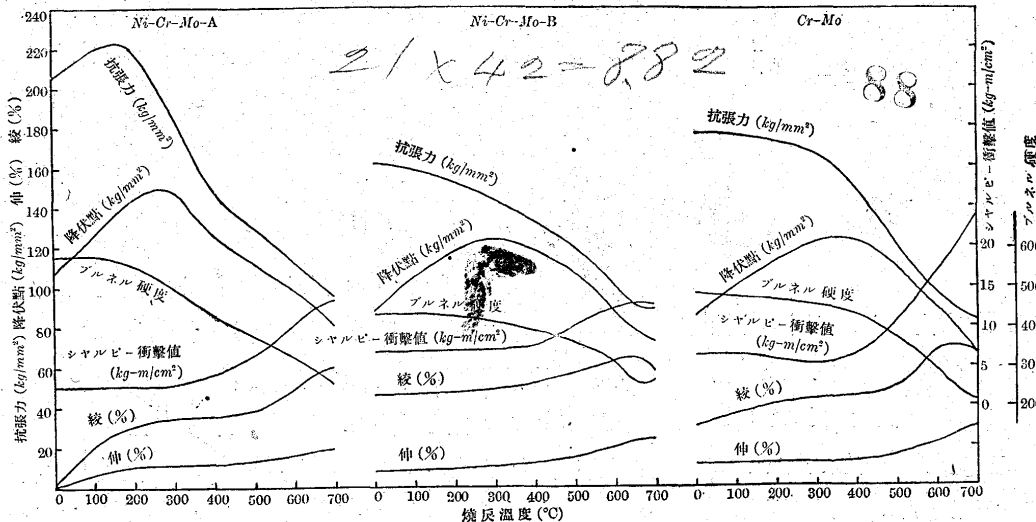
之等から夫々所要の諸性質の組合はせに對して焼戻温度が撰定されるわけであるが、今普通に使用される範圍として降伏點が最高に達し、抗張力に最も接近した點を最低焼

第 2 表 焼戻後の機械的性質

鋼種 焼入焼戻 度°C	Ni·Cr·Mo 鋼 A		Ni·Cr·Mo 鋼 B	Cr·Mo 鋼
	H 830	H 830	H 830	H 850
諸性質	T 400	T 600	T 600	T 600
比例限 $kg/mm^2$	101.5	93.4	70.7	84.8
降伏點 "	125.8	100.2	86.3	94.1
抗張力 "	147.6	116.8	102.5	96.1
破斷力 "	120.0	93.1	62.4	59.1
破斷力 %	81.2	79.7	60.9	61.5
抗張伸 "	11	15	20	23
絞 "	36	45	63	66
彈性率 $kg/mm^2$	20,370	20,690	20,570	21,040
ブリネル硬度	425.1	352.9	309.5	299.3
シャルピー衝擊値 $kg-m/cm^2$	4.0	9.2	17.1	17.9
疲勞限 $kg/mm^2$ *	63.2	55.0	51.2	49.0

\* 廻轉屈曲による、回数 10<sup>7</sup>

第 8 圖 焼戻温度と諸機械的性質



鋼 A は他の 2 鋼に比して强度高く、靱性稍低い Notch Effect に對する感度を表すと考へられてゐる 破斷力 / 抗張力 は Ni·Cr·Mo 鋼 A 最大で次に Ni·Cr·Mo 鋼 B, Cr·Mo 鋼は最小である。疲勞限に於ては Ni·Cr·Mo 鋼 A 最大で次で同鋼 B, Cr·Mo 鋼最小値を示す。

4. 材質的缺陷 此の種の高級鋼材に存する材質

的缺陷の主なものゝは鑄滓又は非金屬夾雜物、白點、毛割疵等である。之等個々の缺陷に就いて上掲の鋼材には從來唱へられてゐる夫々の特徴とも言ふべき傾向が認められぬでもないが、實驗により明かな區別は容易につき兼ねる。而て Ni·Cr·Mo 鋼 A が之等の缺陷に關し他種鋼に比して何等劣る處や特異な點の無いことを附言する。

戻温度とし、最高を假に 600°C とすれば有效焼戻温度範圍は、Ni·Cr·Mo 鋼 A 及同鋼 B は 300~600°C, Cr·Mo 鋼は 400~600°C となり、此の温度範圍内にて Ni·Cr·Mo 鋼 A は他の 2 鋼に比して遙に高き抗張力、降伏點及硬度を具へ、强度高き割合に左程低からざる伸、絞及衝擊値を有す。

5. 各種鋼材より造られたるハブの實體試験 前掲 5 種鋼材より鍛造せられ熱處理を施されたるハブに就いて各部より採取せる試験片により硬度、抗張性及衝擊値等を比較した。試験位置及試験片採取箇所と試験結果を示せば第 3 表の様である。

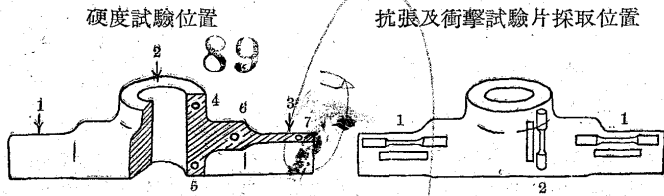
特に強力を要する可變節プロペラハブに對し本鋼が撰ばれ、且つ比較的低温焼戻の状態で使用されてゐるのは更に他の諸條件と共に理由あることであらう。

之等の結果に依ると力の強いものは靱性に乏しく、靱性大なれば力が弱い等の差異があり、直に其の優劣を定めることは出來ぬが、此の種實體試験は材質的缺陷の有無、鍛造方法及熱處理の適否に對する概念を得んとするものであ

ii. 400 及 900°C で焼戻されたるものゝ靜的機械的性質並びに疲勞限 Ni·Cr·Mo 鋼 A に就いて焼入後 400 及 600°C で、Ni·Cr·Mo 鋼 B 及 Cr·Mo 鋼は共に 600°C で夫々焼戻されたるものゝ靜的機械的性質及廻轉屈曲による疲勞限を試験し第 2 表に示す結果を得た。

之等を比較すると、600°C 焼戻状態では Ni·Cr·Mo

第3表 各種鋼材より造られたるハブの機械的性質



鋼種	Ni·Cr·Mo鋼A	Ni·Cr·Mo鋼B	Cr·Mo鋼	Ni·Cr鋼*	Cr·V鋼*	
主要成分%						
C	0.44	0.30	0.32	0.30	0.33	
Ni	1.86	3.25	—	4.54	—	
Cr	0.81	1.16	1.29	0.55	0.94	
Mo	0.25	0.44	0.31	—	—	
V	—	—	—	—	0.10	
焼入/焼戻 °C	830/600	850/610	870/550	不明	不明	
硬 ブリネル	1	358.8	335.2	305.0	290.7	332.0
	2	350.8	332.0	282.6	296.6	319.0
	3	336.6	329.8	299.8	288.8	353.6
	4	325.4	329.8	278.2	298.4	294.8
	5	336.8	333.6	277.8	287.4	332.0
	6	338.4	333.6	280.0	305.0	294.8
	7	336.8	333.6	290.0	300.0	319.0
抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	1	110.3	107.7	94.8	99.0	102.0
	2	111.5	108.0	93.5	97.1	92.6
降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	1	97.0	93.8	82.0	84.2	95.2
	2	95.6	95.0	80.0	81.3	80.2
伸 %	1	20	21	17	15	18
	2	14	14	12	14	8
絞 %	1	54	60	64	57	53
	2	38	34	33	43	21
衝撃値 シャルピー kg/cm <sup>2</sup>	1	10	11	13	8	6
	2	6	5	8	8	3

\* 外國製品

って、たとへばハブが部分的に又は方向によって著しく性質を異にすることは問題とするに充分である、之を上の結果の抗張性及衝撃値に於て見ると、2の位置のものが1のものに比して著しく劣る様なものである。之は主として素材の鍛錬不充分が原因となることが多い。

又部分的に硬度に不同が有るものは熱処理又は素材の良否が原因となる。而て1個のハブに於てブリネル硬度の部分的相違が20以下であれば實際問題としては良品と言へよう。之等の點に關して各試料間には著しい相違なく、

概して相似た成績を示してゐる、たゞ Ni·Cr 鋼製のものが靱性に於て他に比し特に均等であるが之は主として優れた素材の鍛錬作業に因るものと考へられる。

### III 結 言

プロペラハブ用材としての Ni·Cr·Mo 鋼の主として C 及 Ni 量を異にする2種と Cr·Mo 鋼に就いて普通に考へられる必要條件に關して一通りの試験を行ひ其結果を記述した。

然らば之等の結果から何れの材料が最も之に適するやを直ちに決定するは甚だ困難であつて、現に種々な條件に基いて撰定が行はれ上掲の各種が實用されてゐる次第である。従て以上本文記述の諸試験結果は夫々の標準又は目的に對してのみ参考となるものである。諸機械的性質中ハブとしての最も重要な性質は耐振動疲勞であるが、之とても其の試験方法に關して、たとへば notch の狀況又は其の有無による試験數値に對しても明瞭な判斷が下され得ぬ現狀では單なる試験結果では之又不充分である。然しながら之等の試験以外に適切なる方法が殆ど他に無いために之等の結果を綜合し設計方面と協力し更に進んで實體の運轉による強度試験によつて材料撰定に資する他はない。

本研究は主として其組成に於て在來のものに比し炭素高く Ni·Cr·Mo 低き Ni·Cr·Mo 鋼を従來使用の Ni·Cr·Mo 鋼及 Cr·Mo 鋼に比しハブ用材としての性能を試験したもので其の結果本材が他の2種鋼材に比して遜色なきのみならず更に一二の利點を具ふことが判明し、將來實用に供せらるゝ可能性充分あるものとの結論を得た次第である。此の利點の一である國內資源に乏しき Ni 等の含有量の少いことは特に注目すべきことであらう。

### 正 誤

「鐵と鋼」第24年第8號

頁次	場 所	誤	正
725	上欄外	Ca	Cb
727	"	Ca	Cb
279	"	Ca	Cb
"	左上より 1行	Ca	Cb
"	" " 5行	Ca	Cb
"	右上より 6行	Ca	Cb