

長距離機試作報告 311

エレクトロンフォーク各部の 強度試験成績に就て

嘱 託 廣 津 萬 里
技 手 中 所 正 人
徳 田 武 次

目 次

1 序 論	6 振り試験
2 試験目的及び供試材	7 衝撃試験
3 フォーク主體の肉厚實測	8 硬度試験
4 引張り試験	9 結論
5 壓縮試験	文 献

1. 序 論

近時輕量なマグネシウム合金鑄物が種々喧傳せられてはゐるが、主な用途は航空發動機の曲軸室、車輪の轂、發動機のピストン等に限られてゐて、其の他の航空機機體に強度部材として用ひられてゐるのは至極稀である。

この原因は、弾性限度が低い事、衝撃抗力が低い事、耐蝕性が非常に劣等である事等以外に、鑄物する事自體が非常に困難で、製品の均一性を缺く事が主要な誘因をなしてゐるものと思はれる。

今日までに報告せられてゐる結果は總て特に試験用として別個に製作された試験片に就ての結果であつて、製品の各所から、試験材を切り出して、製品の均一性を調べた結果は見掛けない。従つて均一性が悪い事は豫想されてゐても、實際にどの程度に悪いかは分らない譯である。均一性を無闇に怖れて、輕量である云ふ、航空機にとつて必要缺く可からざる長所を利用しないのは、至極残念な事である。

押出、壓縮、壓延等の機械的加工及び適當な熱處理を経た棒或は鋸の或る種の成分のものでは、既に往時のデュラルミンの域に達してゐる。然るにマグネシウムの結晶形は六方晶形に屬する爲自由に折り曲げる事が出來ず、特定溫度範圍以外ではすぐ折損じて了ふ。一例を挙げれば Al 10%⁽⁹⁾ のもので 37~42 kg/mm² の強度を示すものがあるが加工性が極端に悪い。故に均一な高い強度の鋸或は棒が出來てもすぐには使ひ物にならず従つてマグネシウム合金に於ては鑄物が特に重大な意義を持つ事になる。

鑄物にあつては強度其他が遙に低い事は自然であるが漸次向上中であるから、鑄物用マグネシウム合金の研究に努力すると同時に、各種の形狀を有する鑄物の均一性に就ての研究も又必須の命題である。出来るだけ強力で且鑄物し易い合金の研究と、實際に航空機用部材として必要な形狀の鑄物技術の研究とは兩々相俟つて進まねば、直接航空機設計に資するに至らない。

マグネシウム合金の研究は、現在ドイツに於て最も盛んであり、従つて又最も進歩してゐる。I. G. 染料會社の獨占事業として純マグネシウムの年産は世界主位の 6,000 噸に達する。Salt lake を資源とする北米は 2,500 噸を産し 2 位である。マグネシウムの原鑛は、アルミニウムの様に殆んどボーキサイト一點張りに限られる事なく、マグネサイト、岩鹽、苦汁等種々のものがある。資源に乏しいドイツでは岩鹽等から、採取出来るので完全に國產の原料により精製された Heimstoff として重要視してゐる譯である。先年 11 月には VDI は第 1 回マグネシウム會議を開いて、マグネシウム合金の研究とその用途につき討論し、鐵材等と置き換へる事を合議した。航空機、自動車に用ひる事は勿論、電磁氣的に働かない電氣機械のケーシング等に用ひる事迄討論され或は鍛鑄接のきく合金に就て、或は又内燃機のピストンに用ひる爲高温に於ける性質を改善する事にも論及した。且又機械加工性、切子の状態、又物の角度、仕上面の滑度等討議されたが、而し、消費現況は 6,000 噸の 73% しか使ひきれない状況にあるといふ。

ボーキサイトを全然持たぬ吾國に於ても古くからの理研の研究により理論上無盡藏である所の苦汁から工業的にとれるのではあるし又朝鮮及び滿洲に豊富なマグネサイトを有するのであるから、國策上輕金屬の研究はマグネシウムに就ても大いに留意せらるべきものであると思ふ。

本報告は、極めて大寸度の、鑄物製片持型降着車輪支持材（フォーク）より系統的に多數の試験片を切り出し各種の強度試験を行つた結果で均一性に就ての量的な、明瞭な概念を與へる事と思ふ。材料の成分はマグネシウムに Al 及び Zn を主成分として加へ且つ少量の Mn を添加した所謂エレクトロンと稱するものである。第 1 表に別鑄物の強度試験結果と分析試験結果を示す。只單に試験結果だけであつて、この種形狀の鑄物に就て均一性を引き

第 1 表 試験材成績表 (10. 5. 9)

試 符 驗 片 號	強 度 試 驗						分 折 試 驗						備 考	
	試 驗 片 寸 法				抗 張 力		伸 率 %	Al	Zn	Mn	IMP	Mg		比重
	標點 距離 m.m.	外徑 m.m.	切面 面積 mm ²	實際 荷重 lb	kg mm ²									
Z 52	50	14.2	158.4	7400	21.2	9.5	5.25	2.60	0.25	0.18	殘	1.8	主 脚 フ ォ ー ク 尾 輪 フ ォ ー ク	
Z 53	50	〃	〃	8260	23.7	13.0	5.48	1.30	0.29	—	〃	1.81		

あげる爲には如何なる手段を講じて鑄物すべきであるか且は又、鑄物をできるだけ易くする爲には如何様に形狀を變更すべきであるかといふ問題には深く立入つてゐない。が然し、これでウエークポイントは分るから、何處に留意すべきかは、はつきりする譯である。

2. 試験目的及供試材

i 試 験 目 的

大體“序論”の中に述べたやうに、エレクトロン鑄物部材の全體としての強さでなく、各部の強さがどの程度に均一であるかを調べる爲に行つた實驗である。

施行した試験の種類は、引張り、圧縮、捩り、衝撃、硬度の5種である。尚ほ鑄物寸度がどの程度に圖面と喰ひ違つてゐるかを調べる爲に、フォーク主體の肉厚實測を行つた。

ii 供 試 材

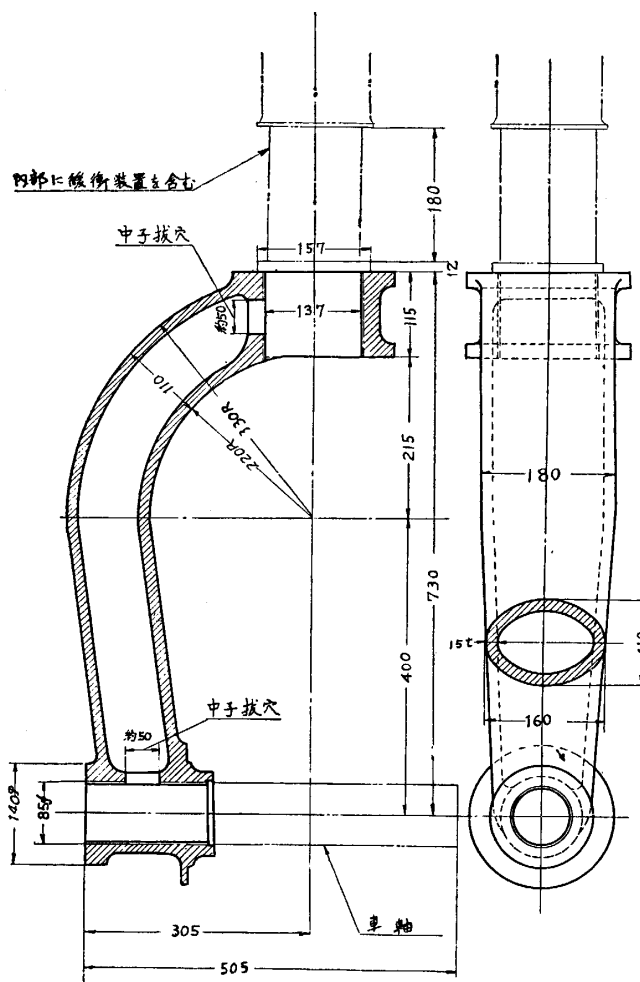
一番最初に某製作所に於て製作した試作長距離機エレクトロンフォークが、呼稱1200×400

の車輪が約 20 耗オーバーサイズした爲實際に使用出来なくなつたものを試材とした。主要寸法は第1圖の通りであり、第2圖の寫眞はその外觀を示す。外觀的に見た鑄物の出来工合は極めて良好の様に見え、機械仕上を行つた各面は非常に美麗に見えた。

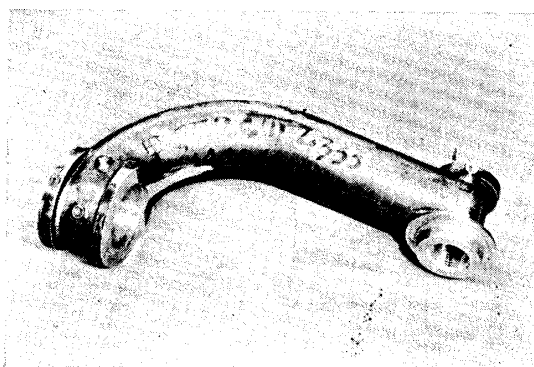
各試験片の切り出し位置は第3圖 A, B, C, D, E に示す通りであるがこれに就ては各試験の種類ごとに説明を加へる。

3. フォーク主體の肉厚實測結果

外觀的な寸度は機械仕上後、検査を受けて合格してゐるのであるから、大體圖面通



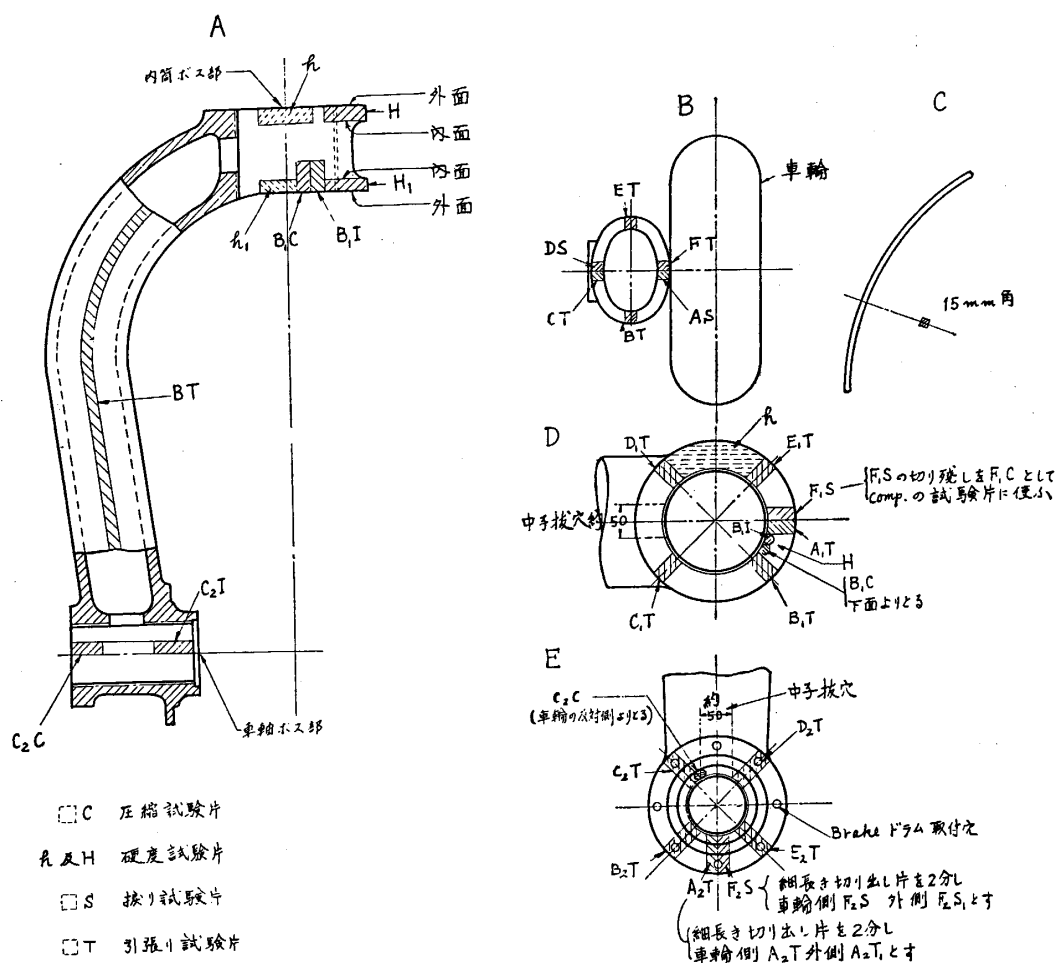
第1圖 試作長距離機エレクトロンフォーク
主要寸度



第2圖 供試エレクトロンフォーク外觀

りになつてゐる譯である。従つて寸度試験は、外部からは測れないフォーク主體部の肉厚實測のみにとどめた。

第3圖 B に示すやうに、斷面橢圓形のフォーク主體から、軸心に沿ひ、AS, BT, CT, DS, ET, FT なる6本の細長く彎曲したC圖のやうな 15 mm 角の素材を切り出した。A 圖には BT の側面位置が指示してある。それ等の素材につき 30 mm 置きに肉厚を實測した。その結果圖面指定寸度 15 mm と可成りの開きがある事が分つた。第2表は各素材片に就き、最大と最小値のみを表す。全體としての最大値は 18.2 mm (+21.3 %), 最小値は 11.8 mm (-21.3 %) で開きの度合は同一である。従つてこの肉厚不齊一的主要原因は、鑄物が中子を支へるに非常に困難な形状をしてゐるので中子がずれた爲と思はれる。このフォークでは鑄



素 材 符 號	AS		BT	CT	DS	ET	FT
圖面の指定厚み	15 (mm)		15	15	15	15	15
實 測 最 大 値	實 測	15.4	18.2	14.9	14.3	16.8	14.3
	誤 差	+0.4	+3.2	−0.1	−0.7	+1.8	−0.7
	%	+2.7	+21.3	−0.7	−4.7	+12.0	−4.7
實 測 最 小 値	實 測	13.2	14.2	12.7	11.8	12.9	13.5
	誤 差	−1.8	−0.8	−2.3	−3.2	−2.1	−1.5
	%	−12.0	−5.3	−15.3	−21.3	−14.0	−10.0

物の強さを外形寸度を増さず少しでも多くする爲、且つは又外觀を綺麗に見せる爲、中子抜穴を外に出さないやうにした爲益々支持が困難になつたものと思はれる。尙現在試作機に使はれてゐるものでは、中子抜穴は、緩衝装置を含む内筒の挿ち込まれる内筒ボス及び車軸のネジ込まれる車軸ボスをつき抜けて外部に現れてゐる。

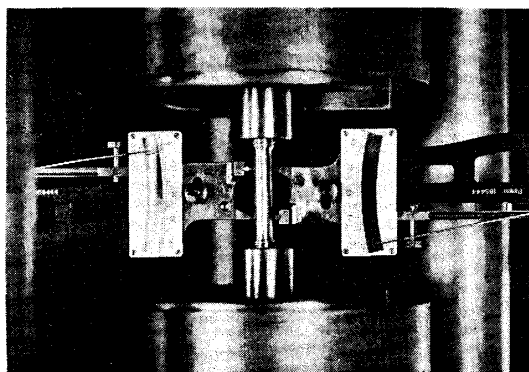
4. 引張り試験

i 試験片切り出し位置と試験方法

引張り試験は、フォーク主體部、内筒ボス部及び車軸ボス部の3部について行つた。

フォーク主體部に就ては肉厚試験を行つた C 圖のやうな 6 本の素材片の内 BT, CT, ET, FT の 4 本を約 80 mm の長さに切り、その素片から出来るだけ大きく試験片を仕上げた。第 3 表中 80 mm より短くなつてゐるものゝあるのはフォークの彎曲の爲に、80 mm の長さのまゝ仕上げたのでは試験部の径があまり小さくなるので止むを得ず短くしたものである。各試験片番號の No. 1 は最も内筒ボスに近い部分で、番號が増すに従ひ順次車軸ボス部に近寄る。

試験片寸度、強さ其他は第 3 表により明瞭である。歪計と共にアムスラー 10 噸試験機に取付けた狀況は第 4 圖の寫眞の通りである。取付けてある試験片は FT-4 である。



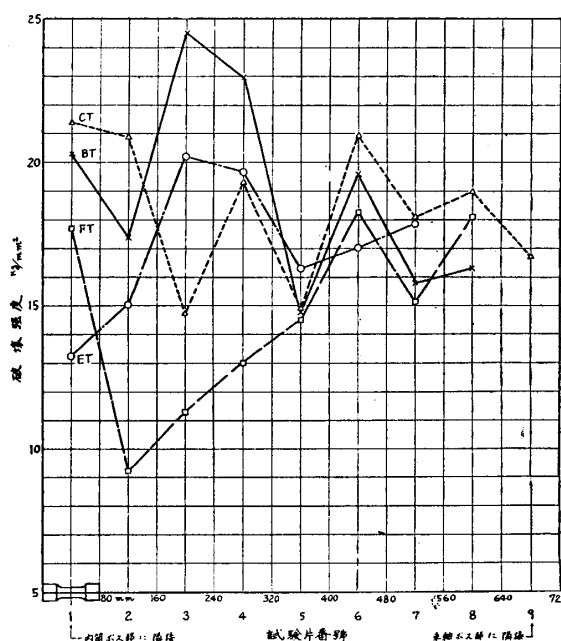
第 4 圖 引張試験の狀況

ii フォーク主體部破壊強度の「むら」

破壊強度は位置により可成り變化し最高 24.5 kg/mm^2 最低 9.24 kg/mm^2 である。切り出し彎曲素材 BT, CT, ET, FT 各々の平均を取つて見ると夫々 19.0, 18.4, 17.0, 14.7 kg/mm^2 である。第 5 圖は第 3 表を圖

示したものであるが、この圖で明瞭に分る事は、試験片番號の 2, 3, 4 に相當するフォーク彎曲部が一番變動が激しくフォークの直線部になると割けに開きが少なく大體 $15 \sim 20 \text{ kg/mm}^2$ の範囲内にある事である。斷面の長軸端に相當する BT と ET では彎曲部で強くなる傾向を示し、短軸に相當する CT と FT では弱くなる傾向を示し、彎曲半径の最も小さい車輪側即ち FT が最も悪くなつてゐる。備考の部に書き込まれてある通り、この FT には甚しく巣が多い。これは冷え方、縮み工合等の種々の原因に依るものであらうが彎曲部のあるパイプ様のものを鑄物する時には、彎曲部の鑄型に特に注意しなければならぬ事は、明かにこの圖によつて指示される。

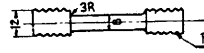
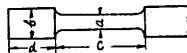
iii 應力歪圖に就て



第 5 圖 フォーク主體部引張試験結果

第 3 表 フォーク主體部引張り試験結果

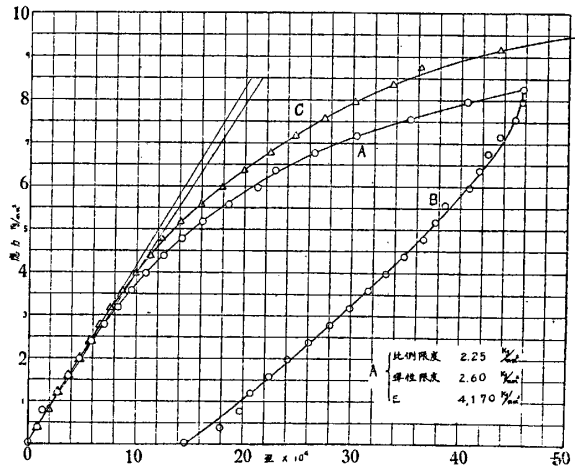
試験片 番号	全長 mm	a mm	b mm	c mm	d mm	$\frac{\pi d^2}{4}$ mm ²	破壊荷重 kg	破壊強度 kg/mm ²	比例限度 kg/mm ²	E kg/mm ²	弾性限度 kg/mm ²	硬度 シヤー	備 考
BT 1	80	9.97	14.5	40	20	78.05	1585	20.3	1.75	4115	2.1		断面異状なし
・ 2	80	10.	14.5	40	20	78.5	1365	17.4	1.72	4200	2.01		黒灰色
・ 3	80	10.	15.0	40	20	78.5	1920	24.5	2.78	5150	3.05		断面異状なし
・ 4	80	10.	15.0	40	20	78.5	1800	22.94	2.35	4495	2.84		全上
・ 5	80	10.	14.5	40	20	78.5	1160	14.8	1.68	4225	2.37		黒
・ 6	79.8	10.	15.0	39.8	20	78.5	1539	19.6	2.35	4260	2.64		断面異状なし
・ 7	81	7.96	12.0	40	20.5	49.74	785	15.78					より濃く灰色
・ 8	79.	9.99	12.5	40	19.5	78.4	1275	16.28					断面異状なし
CT 1	62	8.	11.0	32	15	50.24	1080	21.41					全上
・ 2	65	8	11.5	35	15	50.24	1050	20.9					全上
・ 3	56	10.	11.5	26	15	78.5	1155	14.73					光沢あり 光沢なし 断面に不規則な黒灰色の部分あり
・ 4	64.	8	11.7	35	14.5	50.24	970	19.3					黒
・ 5	59.5	9.98	11.2	29.5	15	78.25	1170	14.9					切断面光澤不足にて 周辺に黒灰色の部分あり
・ 6	66	8.	12.0	36	15	50.24	1050	20.9					断面異状なし
・ 7	80	10.	12.5	40	20	78.5	1420	18.1					全上
・ 8	80	8	12.0	40	20	50.24	955	19.0	2.25	4170	2.6	28.5	全上 中央部より切断
・ 9	80	8.	12.0	40	20	50.24	840	16.71				30.7	全上
ET 1	67	10	12.0	37	15	78.5	1040	13.25					クランプ側の掴み部は切断 断面に不規則な黒灰色の部分あり
・ 2	64	8	11.5	34	15	50.24	755	15.03					黒
・ 3	59	10	12.0	29	15	78.5	1585	20.2					断面異状なし 上クランプの 掴み部は切断
・ 4	70	10	13.0	40	15	78.5	1545	19.68					全上 掴み部は切断
・ 5	80	10	13.0	40	20	78.5	1280	16.3	2.15	4060	2.56		全上
・ 6	80	8	11.0	40	20	50.24	855	17.01					全上
・ 7	80	10	12.5	40	20	78.5	1400	17.84					灰白色 光澤なし
FT 1	80	10	12.4	40	20	78.5	1390	17.72					黒く黒灰色
・ 2	80	10	12.8	40	20	78.5	725	9.24					外観異状なし 黒灰色の異状なし
・ 3	80	9.99	12.7	40	20	78.4	890	11.3					普通の毛様 断面に不規則な黒灰色の部分あり
・ 4	82	8	12.0	40	21	50.24	655	13.03	0.76	2720	0.84		殆んど全面的に 黒灰色
・ 5	80	10	13.3	40	20	78.5	1140	14.53	1.34	4630	1.64		光沢より黒く灰色 光澤ある灰色
・ 6	80	10	12.8	40	20	78.5	1433	18.27					黒灰色
・ 7	80	8	12.0	40	20	50.24	760	15.12	3.0	3750	3.57	29.0	灰白色 黒灰色
・ 8	82	7.99	12.0	40	21	50.15	908	18.12					時に黒く黒灰色



CT-8 及び 9, FT-4 及び 7 は
左図の如く掴み部にネジを切った。

エレクトロン, フォーク各部強度試験成績に就て

エレクトロンの一時的残存歪は、俗に、時間を置くと元に戻ると云はれてゐるが本実験に於ては、残存歪の時間による変化は全然認められなかつた。即ち CT-8 (径 8mm) に於て



第 6 圖 CT-8 引張試験片應力歪圖

約 8.26 kg/mm^2 の應力をかけた後再び歪計を読み乍ら零に戻し、一晝夜に亘り數回歪計を読んだが殆んど變化なかつた。荷重を下して行く時の歪計の読みによる曲線は第 6 圖 B の如く行きの A と歸りの B では相當な開きがある。

他の試験片の應力歪圖も第 6 圖 A と、巢がある場合に於ても殆んど變りなく銅等の様に丸味を帯びてゐて、降伏點は認められず比例限度の決定は困難である。一般に弾性限度は極端に低く問題にならぬ位である。

履歴閉曲線の圍む面積は合金成分並に熱處理で左右される事は勿論自明であるから、僅か 8.26 kg/mm^2 でこのやうなループを描くやうでは使途に困るから、合金成分並に鑄物品全體の熱處理は大いに研究せらるべきものであると思ふ。尤も弾性限度が上昇すれば、自ら或る程度迄この問題は解決される。

一晝夜放置の後再度歪を読み取り乍ら破壊したがその時の應力歪圖は第 6 圖 C に示す通り、第 1 回の A 曲線より遙か上方に位する。

即ち塑性變形により比例限度、弾性限度及び E は第 4 表の通りに變化した。比例及び弾性限度は大きく上昇し E は僅かに増加の傾向を示す。

第 4 表

CT-8	比例限度	弾性限度	E
A 曲線	2.25	2.6	4,170
C 曲線	3.10	4.0	4,190
C 曲線 A 曲線	1.38	1.54	1.04

アルミニウム合金に就ては塑性變形⁽¹³⁾後 E は小さくなる傾向を示すと言ふから、マグネシウム合金の此の性質は注目に價する。

iv ボス部の引張り試験結果

ボス部引張試験は一般現用規格の径 14 mm 試験片を削り出す事が出来たので、主としてこれに就て種々の測定を行ひ径 8 mm の試験片では破壊強度を求むるに留めた。径 14 mm の試験片に於けるゲージ長さは試験片の長さの都合上規定の 50 mm に出来なくて 40 mm にとつた。

切り出し位置は第 3 圖 D 及び E に明らかである。第 5 表は試験結果を示す。書き込まれてある硬度は試験片の径 16 mm の處の周圍に就き片側 4 回計 8 回試験した平均である。この表により第一に分る事はフオーク主體部より概して非常に破壊強度が小さい事である。これはこのボス部は主體部よりも肉厚が大きかつた事に基くものと思はれる。第 7 圖 A は内筒

(1) 弾性限度は井口博士の方法に依つた。

T. Inokuti, "Practical Determination of the Elastic Limit" W.E.C. 1929. paper No. 791.

ボス部, Bは車軸ボス部の強度を圖示するものである。試験片符號第2字目にSが付いてゐるのは振り試験の結果である。A圖に就て見れば一般的に強度が低いだけであるが, B圖に就て視ると強さの分布が目立つて現れてゐる。即ちフォーク主體部とボス部と合さる處から切り出した C_2T , D_2T は何れも極端に弱い。而も切斷箇所は 14 mm の處に非ずして 16 mm の處であつて局部的な巢があるのではなく断面全體が表に記載の通り病的な狀況を呈してゐた。これは兩部が合さる處に贅肉の肉厚があつたのと車輪外側部に第1圖左下方に示されてある通り極めて厚いフランジがつけてあつた爲らしく, 16 mm の處で切れた側が即ち車輪外側にあたるものと思惟される。

B_2T 及び E_2T の部はいづれも主體部同様約 15 mm の處で只兩側にフランジが付いてゐるだけである。車軸軸心に沿つての位置が明瞭でないから, はつきり論斷出来ないが何れも C_2T 及び D_2T よりは強くなつてゐる。車軸ボス最下部の所では巢の現れた車輪側の A_2T だけが弱く他は引張りも剪斷も極端に強く, 又断面も健康的であつた。

14 mm のものに就ては伸び, 断面收縮も測定したが, 殆んど何れも巢が現れ従つて破壊強度も低く, 測定値は意味のないものになつたが参考迄に第5表に記載する。

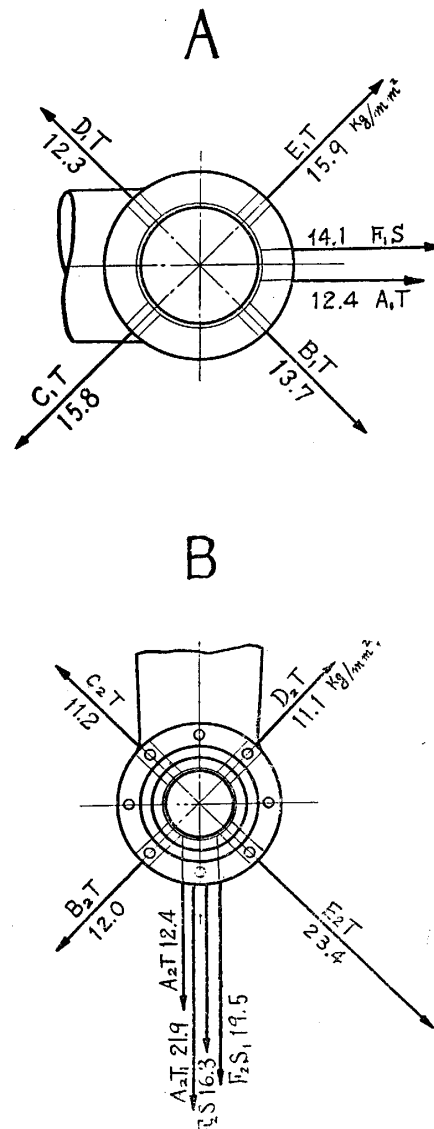
弾性限度が径の小さい試験片よりいくらかよくなり 3 kg/mm^2 程度に出てゐるがこれは理解に苦しむ處である。

弾性係数は, フォーク主體部をも通じて純マグネシウムの $4,000 \text{ kg/mm}^2$ に對し, 巢のないものではいくらか多く, 巢のあるものでもいくらか少なくなる程度で, 何れにしても大約 $\pm 7\%$ 範囲内の開きである。只一つ BT-3 だけが $5,150 \text{ kg/mm}^2$ の飛びぬけた高値を示した。

以上のボス部試験の結果から見て分る通り, ボス部に於てもフォーク主體より甚しく肉厚を増す事を避け主體部程度の肉厚で幾つもの贅を付けて所要の強度を持たす可きであつた事が分る。








5. 壓 縮 試 験

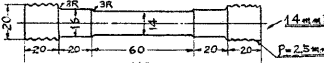
壓縮試験は第6表に示す通り径 9.95 mm, 14.0 mm, 19.5 mm の3本の試験片に就き行つた。切り出し位置は第3圖 D 及び E に示してある。



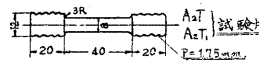
第7圖 ボス部の引張り試験結果

第 5 表 ボス部引張り試験結果

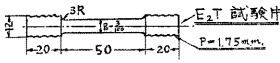
試験 番号	a mm	断面積 mm ²	破壊荷重 Kg	破壊強度 Kg/mm ²	比例限度 Kg/mm ²	E Kg/mm ²	弾性限度 Kg/mm ²	伸び % (ゲージ長 40 mm)	断面収縮率 %	硬度 シヤー	備 考	
内 筒 ボ ス 部	A.T	14.	153.9	1,910	12.4	1.3	3,970	2.3	1.5	4.16	253	 黒灰色。下側キヤック寄り ゲージ長の外にて切断。
	B.T	14.	153.9	2,100	13.7	2.25	3,950	2.6	3.	4.16	27.9	 通常の黒色。14 mm. dia の 黒灰色。最下部にて切断。
	C.T	14.	153.9	2,430	15.8	2.6	4,020	2.98	4.5	5.45	29.3	 黒灰色にて裏 面にて灰白色を呈 す。通常光澤。 正端の光澤。最上部にて切断。
	D.T	14.	153.9	1,890	12.3	1.4	3,785	2.25	3.	5.45	31.1	 黒灰色。 両中央にて切断 正常光澤の影の 比較的薄い黒灰色全面に散在。
	E.T	14.	153.9	2,440	15.9	2.9	4,200	3.25	5.	6.82	28.3	 黒灰色。両中央にて切断 切断箇所より約15mm下側 に僅かにけがれ状のひびあり
車 軸 ボ ス 部	A ₂ T	8.	50.24	622	12.4							 全面に黒灰色。下側キヤック寄りに 他部より更に黒し。切断。
	A ₂ T _i	8.	50.24	1,023	21.9							断面異状なし。 下側キヤック寄りにて切断。
	B ₂ T	14.	153.9	1,850	12.0	2.2	3,665	2.75	2.	4.16	28.3	 黒灰色。14 mm dia の 少し薄く灰色。最下部にて切断。
	C ₂ T	14.	153.9	1,730	11.2	1.8	4,340	3.1	0.5	中央の dia. 変化なし	26.1	全体に黒灰色。 下側キヤック寄り径16mmの所にて切断。
	D ₂ T	14.	153.9	1,700	11.1	1.95	4,290	2.93	0.75	1.45	28.1	全体として光澤のない比較的薄い黒灰色 下側キヤック寄り径16mmの所にて切断。
E ₂ T	7.97	50.0	1,168	23.4								断面異状なし。 上側キヤック寄りにて切断。



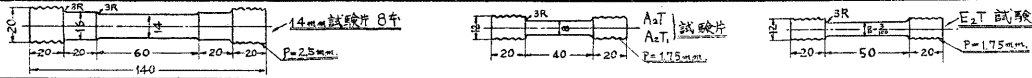
14mm 試験片 B.T
P=2.5mm



A₂T 試験片
P=1.75mm



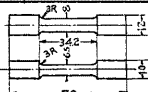
E₂T 試験片
P=1.75mm



第 7 表 振 り 試 験 結 果

試験片番号	試験片径 ⁽¹⁾ mm	破壊荷重 kg/cm	振れ角(比例係数) rad/kg/cm	剪断破壊強度 kg/mm ²	比例限度 kg/mm ²	弾性限度 ⁽²⁾ kg/mm ²	G kg/mm ²	硬 度 ⁽³⁾ シヤー	試験開始より 終止に至る 時間(分)	備 考 ⁽⁴⁾
AS 1	8	187.25	0.0001391	18.65	0.996	1.195	1,788	24.2	53	断面異状なし
2	6.5	93.0	0.0003138	17.30	1.116	1.301	1,819	24.2	40	全 上
3	8	176.4	0.0001403	17.57	1.294	1.842	1,772	24.2	47	全 上
4	8	194.2	0.0001509	19.34	1.493	1.992	1,648	20.3	46	全 上
5	8	193.6	0.0001290	19.28	1.493	1.792	1,926	17.4	39	全 上
6	8	194.8	0.0001453	19.40	0.962	0.996	1,708	23.3	37	全 上
7	8	127.6	0.0001441	12.72	0.996	1.443	1,725	25.2	28	果
DS 1	8	182.0	0.0001391	18.12	1.892	2.190	1,788	18.6	39	断面異状なし
2	6.5	92.2	0.0003480	17.14	0.930	1.116	1,642	23.2	53	全 上
3	6.5	72.1	0.0003200	13.40	1.208	1.674	1,784	22.1	33	断面全振れあり
4	6.5	72.8	0.0003265	13.53	1.023	1.228	1,749	23.7	42	果
5	6.5	90.2	0.0003368	16.68	0.837	0.950	1,694	23.8	41	断面異状なし
6	8	177.6	0.0001386	17.68	1.742	1.992	1,793	19.0	42	全 上
7	6.5	87.3	0.0003138	16.23	1.023	1.116	1,818	23.3	41	全 上
8	6.5	88.1	0.0003335	16.38	1.116	1.673	1,712	24.2	46	全 上
9	8	148.0	0.0001418	14.74	1.493	1.792	1,753	16.7	27	果 固定部に近い鋭利な 部にて切断
10	8	150.0	0.0001515	14.94	1.493	1.792	1,642	21.3	38	7 少ない断面異状なく 中央部は僅かに色あせる部あり
F.S	8	142.0	0.0001600	14.14	0.996	1.194	1,554	—	32	光澤なき灰色
F.S	6.5	87.8	0.0003235	16.32	1.116	1.488	1,766	27.7	36	断面異状なし
F.S ₁	6.5	105.0	0.0003369	19.53	2.232	2.790	1,695	26.1	44	全 上
平均	—	—	—	16.66	1.273	1.578	1,739	21.2	40.2	—

(1) 試験片寸法 8 mm とあるは
試験片寸法 6.5 mm とあるは



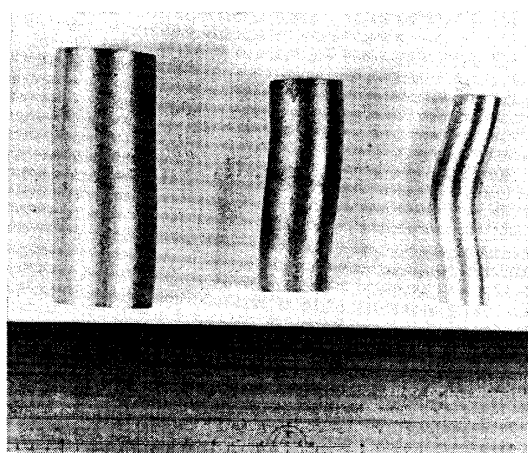
(2) 弾性限度の決定は引張り若しくは圧縮に公称開口係数の方法による
(3) 硬度試験の参考照の事
(4) 切断箇所に関しては 第 11 図参照の事。

エレクトロン、フォーク各部強度試験成績に就て

第 6 表 圧 縮 試 験 結 果

圧縮試験片 番 号	径 mm	全 長 mm	断面積 mm ²	荷重後 の長さ mm	最大荷重 kg	圧縮強度 kg/mm ²	比例限度 kg/mm ²	弾性限度 kg/mm ²	E kg/mm ²	硬 度 シ ョ アー
B ₁ C	9.95	49	77.7	42.7	1,840	23.7	2.6	2.9	3,945	26
C ₂ C	14.	50	153.9	43.	4,900	31.9	2.25	2.75	3,750	
F ₁ C	19.5	58	299.7	51.	9,600	32.1	1.0	1.20	4,550	

3 本とも何れも完全に破壊せず，單に皺を生じて變形するのみである．試験後の形状を第 8 圖の寫眞に示す．



第 8 圖 試験後の圧縮試験片

圧縮試験に於ける應力歪圖は第 9 圖に示す通り，大體に於て引張りの場合と同様の様子を示すが，引張りの場合より應力の低い處でいくらか明瞭に直線的傾向を示す．然し弾性限度は引張りの場合と略同様の數値である．

圧縮強度は第 6 表より分る通り，引張り或は捩り強度より強いから，出来るだけ圧縮部材になる様に設計すべき事は他の鑄物材料と同様である．

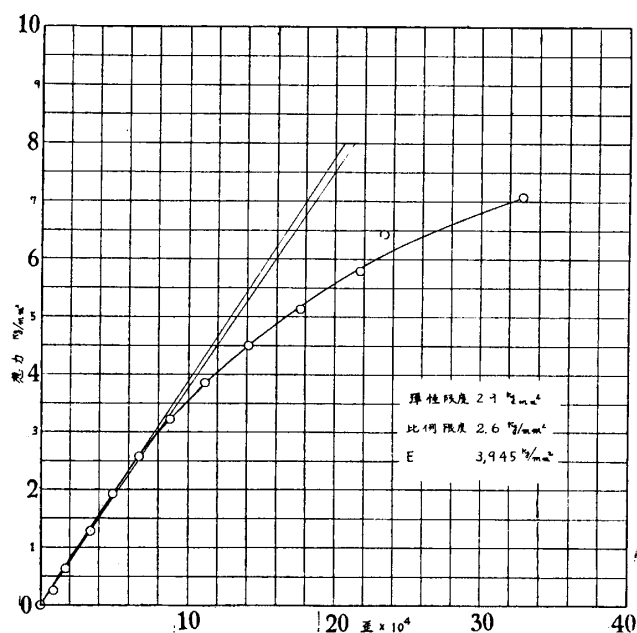
F₁C 試験片に於て應力 5.69 kg/mm² より一度零に戻して見たが試験片の長さ 1 mm につき 3.804/10,000 mm の永久歪が残つた．

6. 捩 り 試 験

捩り試験はフォーク主體部から 17 本，ボス部から 3 本，計 20 本の試験片を作つて施行した．

フォーク主體の切り出し位置は第 3 圖の B に示してある．AS, DS の彎曲切り出し素材から長さ 70 mm の素片を夫々 7, 10 本切り出し第 7 表の下欄に示してある通り二種類の試験片を作つた．

内筒ボス部 F₁S は第 3 圖 D に示してある位置より切り出した．同圖 E に示してある車軸ボス部の F₂S は車軸軸心に沿ひ細長い素材を切り出す事が出来たので更に之を二つに分け

第 9 圖 B₁C 圧縮試験片應力歪圖

て、車輪に近い方を F_2S とし、車輪外側を F_2S_1 とした。

振り試験装置は飛行機部工場に於て製作したもので外觀は第10圖の通り。取付けてある試験片は径 8 mm の AS-3 である荷重は寫眞の左下方に見えてゐる 2 個のブリキの筒に細かい散彈を徐に注入して、この二つの重量により圓盤にトルクを與へこれをボールベアリングで支持されたシャフトを通じて試験片に傳達した。

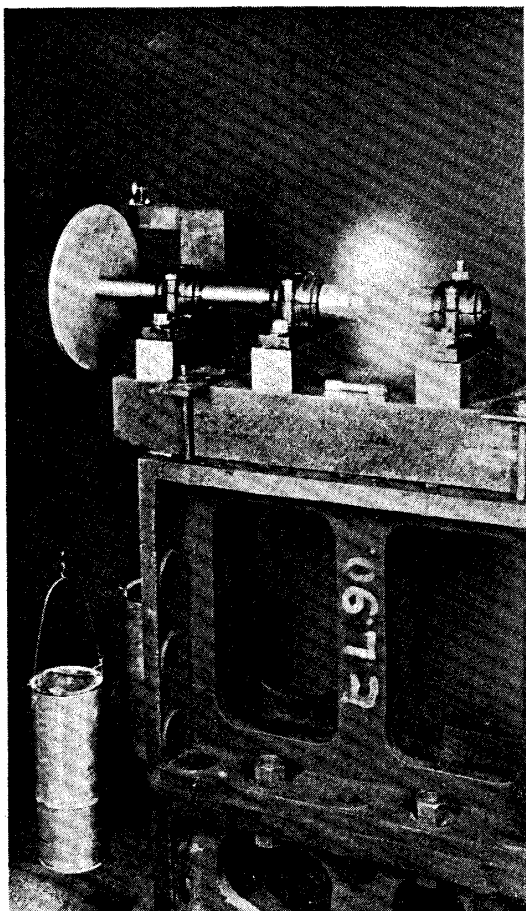
試験片が破壊すると同時に手早く散彈の注入をやめ、後に之を臺秤で計量して破壊荷重を決定した。捩れ角の測定は寫眞に光つて見えてゐる鏡を試験片に 20 mm の間隔を置いて取付け、これに對應して約 1,400 mm の距離にスケールを置きそのすぐ横に望遠鏡を置いて測定した。

試験の結果は第7表に明示されてある通り、剪斷破壊強度は最大 19.5 kg/mm^2 最小 12.7 kg/mm^2 で引張りの場合より變動が少ない。

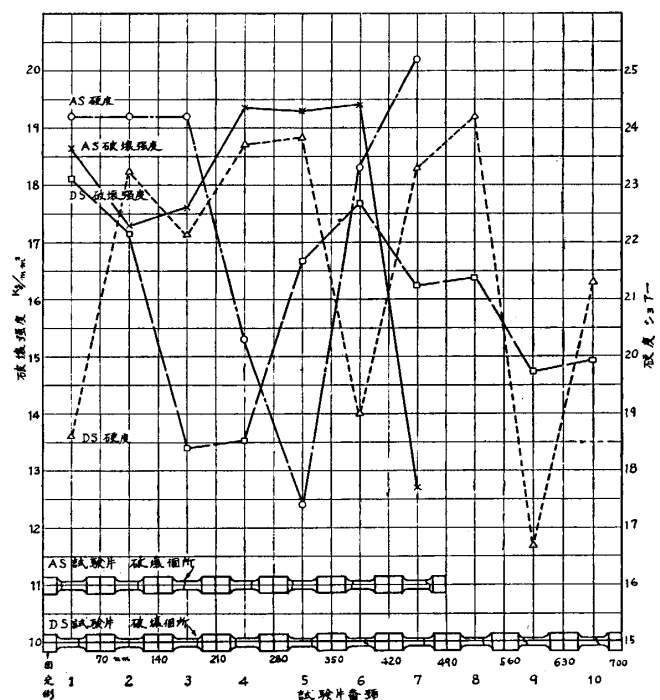
第11圖は第7表を圖示したもので、同時にショアー硬度と、破壊個所が書き入れてある。

FT に隣り合せて切り取つた AS に殆んど巢が現れてこない處を見ると、巢は幅狭く軸心に沿ひ細長く入つて居たものと思惟される。

鑄物するに當りこの事も大いに注意すべき事であると思ふ。



第10圖 振り試験装置

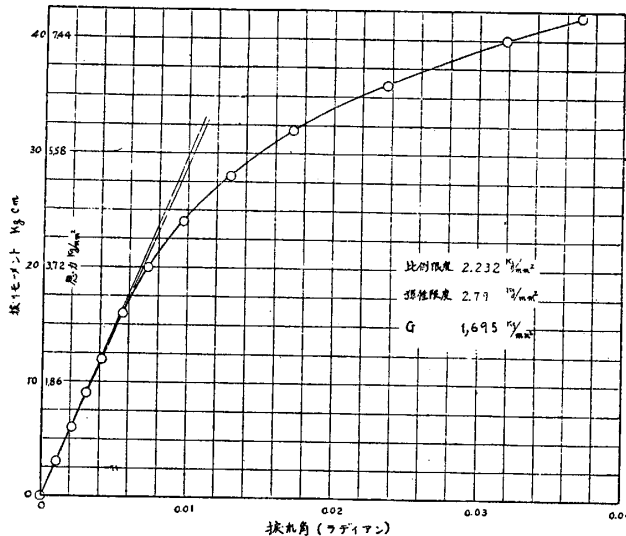


第11圖 フォーク主體部振り及び硬度試験結果

強さに大きな變動がある場合には平均強度は無意味なものであるかも知れぬが試みに引張りの場合と平均強度の比をとつて見ると、フォーク主體部の全部の平均は 17.1 kg/mm^2 であり、

振り20本の平均は 16.7 kg/mm^2 であるから剪断強度は破壊強度の 97.7 %となる。

第 12 圖は代表的な剪断の場合の應力歪圖を示す。引張り及び 壓縮と同様最初僅かに直線的



第 12 圖 F_2S_1 振り試験片應力歪圖

はれる應力 1.673 kg/mm^2 の處から一端零に戻して見たが矢張り $14.7''/\text{cm}$ の振れが残存した。

的であり、漸次圓味を帯びて行く。

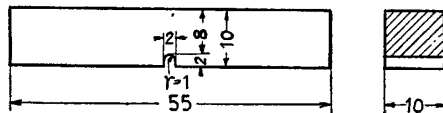
振りの弾性限度も極端に低く 3 kg/mm^2 を越すものは一つもなかつた。巢がなく切断面には何等肉眼では異状を認められぬものでも、巢が明瞭に現れてゐるものより却つて低いものがあり、平均僅に 1.6 kg/mm^2 である。

應力の大きい所で荷重をかけながら、望遠鏡を睨んでゐると、荷重をかけ終つてからも、可成振れて行き、所謂塑性變形を爲すが、約 1 分の後には殆んど振れなくなるので、振れの測定は總て荷重をかけ終つてから 1 分後に行つた。

DS-8 なる試験片で略々弾性限度と思

7. 衝 撃 試 験

試験片の寸度は第 13 圖の通りで、日本標準規格の特殊鋼規格に於けるシャルピー試験機の



第 13 圖 衝擊試験片寸度

ものと同型である。

切り出し位置は第 3 圖 A に示してある。使用した試験機は 10 kgm シャルピー衝擊試験機（本館地階材料實驗室）である。實驗結果は第 8 表の通りで、断面に異状がなく、硬度も相等しく而も吸収エネルギーが非常に違つてゐる。石田博士⁽²⁾の研究

第 8 表 衝 撃 試 験 結 果

試 験 片 番 號	全吸収エネルギー kgm/cm^2	比吸収エネルギー kgm/cm^2	硬 度 (ショアー)	備 考
$B_1 I$ 内筒に振込まれる部分のボスより切り出す	0.323	0.4	22.4	断面異状なく均一なる性状を呈する
$C_2 I$ 車軸を振込むボスより切り出す	0.506	0.6	22.4	全 上

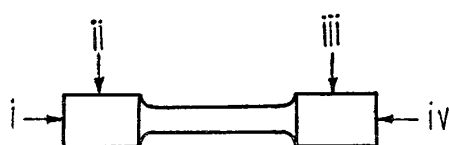
によれば硬度と吸収エネルギーの變り方は非常に似かよつた傾向を示して居るから、これは成分の差異か又は冷え工合によるものと思はれる。かゝる差異は熱處理を完全に行へば大いに匡正出来るものと思惟される。然し後藤：合金學の 572 頁の 303 圖によれば Al 6 % のものでも 0.21 kgm/cm^2 位に過ぎず本試験片の方が遙に高くなつてゐる。

比較の爲更に外の材料の衝撃値を上げて見ると鍛錬用普通デュラルミンの棒では約 4.1 kgm/cm² であるから、エレクトロンの場合はこの数値の大約 $\frac{1}{10}$ に當る譯である。

8. 硬 度 試 験

i ショアー硬度試験結果

ショアー硬度試験は各試験片に就て行つた。最も完全に試験したフオーク主體部振り試験片に就ての測定結果は第 8 表の通りである。表中 i ii iii iv とあるは第 14 圖に示す相當位置で各この表面に於て 3 回宛測定した平均が表の各相當欄に記入してある。この平均した結果は第 11 圖の振り強度の圖表に書き込んであるが、一見して分る通り、破壊強度と硬度の線は上下に交叉しまちまちであつて、ショアー硬度により強度を判定する事は困難である。硬度試験用として特に作つた試片ではなく丸い試験片に就ての結果であるから、幾分開き易い事は考へられるが、衝撃試験片の場合にはこの懸念はない譯であるし、且つ又元々度数が低いのであるから先づショアー硬度と強度とは餘りよく揃はないものと見なければならぬ。然し全體としての開きは割合に小さく、熱処理が完全に行はればもつとよく一致するものと思はれる。



第 14 圖 振り試験片に於ける
ショアー硬度試験位置

位置で各この表面に於て 3 回宛測定した平均が表の各相當欄に記入してある。この平均した結果は第 11 圖の振り強度の圖表に書き込んであるが、一見して分る通り、破壊強度と硬度の線は上下に交叉しまちまちであつて、ショアー硬度により強度を判定する事は困難である。硬度試験用として特に作つた試片ではなく丸い

試験片に就ての結果であるから、幾分開き易い事は考へられるが、衝撃試験片の場合にはこの懸念はない譯であるし、且つ又元々度数が低いのであるから先づショアー硬度と強度とは餘りよく揃はないものと見なければならぬ。然し全體としての開きは割合に小さく、熱処理が完全に行はればもつとよく一致するものと思はれる。

第 9 表 振り試験片硬度試験結果

試験片 番 號	i	ii	iii	iv	平 均 硬 度	試験片 番 號	i	ii	iii	iv	平 均 硬 度
AS1	29	23	15.7	29	24.2	DS1	22.3	19	16.5	16.7	18.6
≒ 2	25.7	22.7	22.3	26	24.2	≒ 2	24.3	22.7	22.3	23.3	23.2
≒ 3	26.3	22.7	21.7	26	24.2	≒ 3	26.3	20	17.3	24.7	22.1
≒ 4	27.7	14.7	16.7	22	20.3	≒ 4	26.7	21.7	22.3	24	23.7
≒ 5	18.3	17	12.3	22	17.4	≒ 5	25.3	23	22.7	24.3	23.8
≒ 6	27.3	22	15.7	28.3	23.3	≒ 6	24.7	18.3	13	20	19
≒ 7	29.7	22.3	23.7	25	25.2	≒ 7	23.7	24	21.3	24.3	23.3
						≒ 8	28.7	22	19.3	26.7	24.2
						≒ 9	12.7	18	15	21	16.7
						≒ 10	27.3	19.7	14	24.3	21.3

各試験片のショアー硬度の平均値は、引張り 29.4, 壓縮 26.0, 衝撃 22.4, 振り 22.0 である。

ii エレクトロンに對する各種硬度試験法の優劣

他の仕方の硬度数がどの程度になるものか、且又エレクトロンに對して最も適當な硬度試験法を知る爲に、ブリネル、ロックウエル及びヴィツカースの硬度を測定した。試験片の切り出し位置は第 3 圖の A に明かである通り、内筒ボス部のフランジ上下より切り出し、そ

第 10 表 各種硬度試験結果の表

試 験 片			試 験 法	ア リ ネ ル 荷重=500kg ボール径 10mm 荷重時間 30 秒 凹みの直径より求めた硬度	シ ョ ア ー	ヴィツカース 荷重=10kg
H	外面	平 均 硬 度		56.8	38.3	62.4
		試 験 回 数		3	6	5
	内面	外側	平均硬度	55.6	33.3	57.8
			試験回数	2	3	6
		内側	平均硬度	43.9	32.2	53.0
			試験回数	4	3	8
H ₁	外面	平 均 硬 度		56.3	34.7	60.5
		試 験 回 数		2	7	5
	内面	外側	平均硬度	58.0	35.2	58.5
			試験回数	1	3	3
		内側	平均硬度	56.7	31.9	57.8
			試験回数	1	4	3
h	外面	平 均 硬 度		55.1	28.9	63.6
		試 験 回 数		4	14	5
	内面	外側	平均硬度	55.2	25.3	58.3
			試験回数	1	6	9
		内側	平均硬度	55.2	26.5	57.6
			試験回数	1	8	12
h ₁	外面	平 均 硬 度		54.5	28.0	55.6
		試 験 回 数		4	14	5
	内面	外側	平均硬度	55.2	30.1	57.8
			試験回数	2	6	9
		内側	平均硬度	53.4	27.3	59.3
			試験回数	1	7	12

の内外面の各處に就き測定を行つた。試験面の仕上は順次 1, 0, 00, 000, 0000, のエメリーペーパーで仕上げた。

第 15 圖の寫眞は試験片の形狀を示し、全部外面を寫したものである。左上 H、左下 H₁、右上 h、右下 h₁ である。

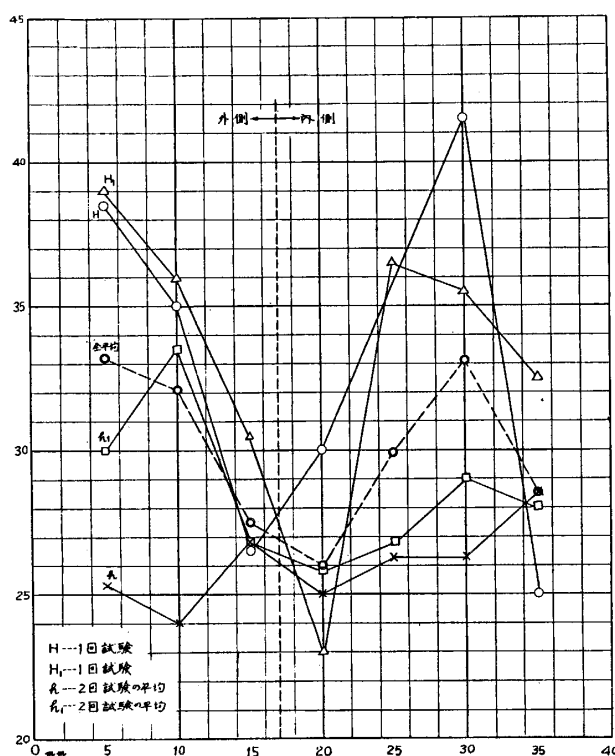
ロツクウェルの B スケールによる硬度數、即ち $\frac{1}{16}$ " ボール 100 kg 荷重のものでは試材の

材質が柔らか過ぎてボールが餘り深くは入り過ぎる爲、無意味な數値を與へるから、測定を中止した。尙ほ引掻硬度試験が出来なかつたのは非常に残念であつた。

第10表は各種硬度試験の平均結果を表す。ショアー硬度は前に各種試験片に就て測定した結果より高くなつてゐる。ブリネル並にヴィツカースは非常に開きが少なく出てゐる。

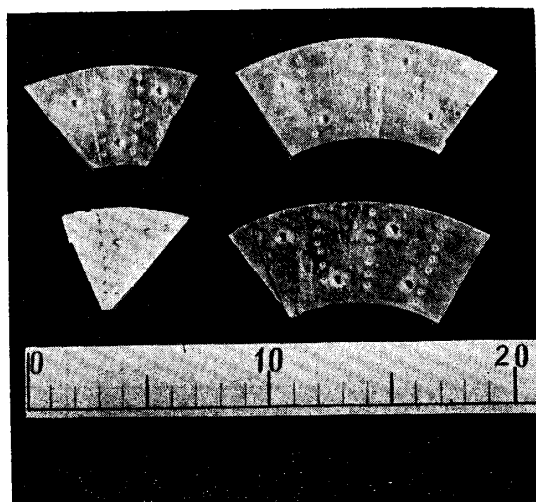
只一つH試験片内面内側のブリネル硬度が他の何れの面よりも低くなつてゐるが、試験回数4回共大した開き無く低く出るのであるから、この部分は明らかに他の部分と性質が違ふ事が推定される。

各試験片の内外面に就き外側から内側、即ちボス中心に向つて約5mm置きに、ショアー及びヴィツカース硬度試験を行つた。ショアー硬度は大きく荒れるがヴィツカースは非常に開きが少ない。今内面に就ての結果を圖示すれば第16圖、17圖の通りである圖の中央部に太い點線で示してある線は第18圖に於ける180 ϕ に相當する線でボス中間肉厚を現してゐる。



第16圖 内筒ボス部内面ショアー硬度試験結果

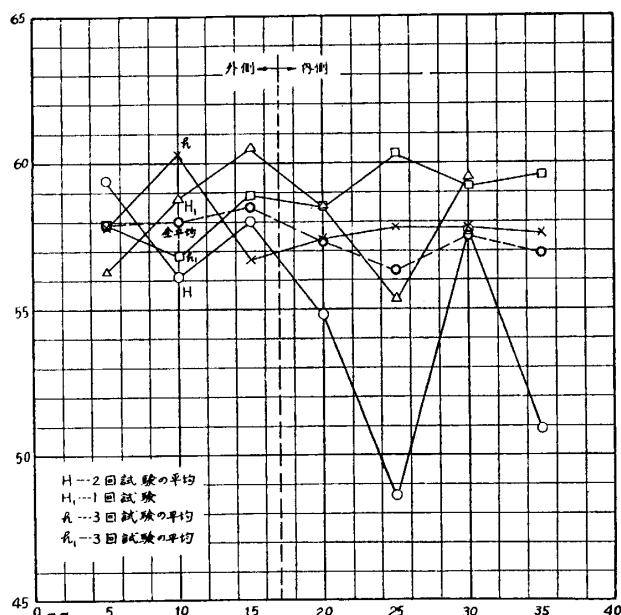
以上の結果から分る通り硬度試験方法としてはヴィツカースが最も都合よく、ブリネルでも開きの少ない數値は出て來るが大きな窪みが出来るのであるから、製品に就ては行へない。



第15圖 試験後の硬度試験片

なほ第18圖に波形の線で示してある面が試験面である。ボス部中間肉厚の硬度に對する影響はヴィツカースでは明瞭でないが、ショアーではこの肉厚がなくなる處が低い硬度になつてゐるのが目立つ。

第19圖はヴィツカースの場合ダイヤモンドピラミッドを押しつけることによつて生ずる窪みの寫生で、跡形は眞四角にならず明白に彈性的な回復が認められる。即ち各邊は内側に曲り、その廻りに細かい線が現れる。ブリネルでは窪みが圓であるからかゝる回復は只見ただけでは認められぬが、ヴィツカースの場合から推して明らかに回復してゐるものと思はれる。従つてこの種の柔い材料では一般に硬度が高く測定される事に注意しなければならぬ。



第 17 圖 内筒ボス部内面ヴァイツカース硬度試験結果

ショアーによるものはごく近接した點の測定値に於ても大きく變動し、ロックウェル B スケールでは測定不能である。

9. 結 論

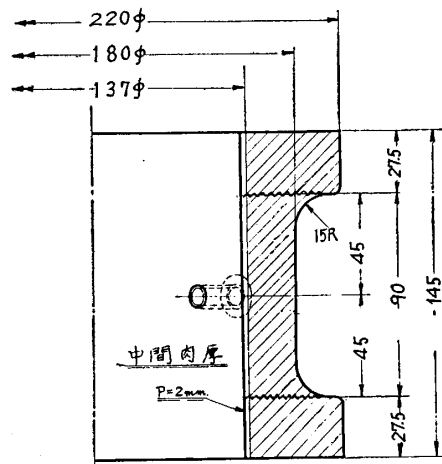
以上報告した通り、フオーク主體部の肉厚に相當寸度の足りない處があり、各部の強度に至つては甚しい變動がある。

之等の缺點を可及的に除去する爲に設計者側として變更し得る事は、大體このフオークの形狀を踏襲するものとすれば、ボス部の肉厚を減少して多くの壁を植える事、並びに中子支へを強固にする爲車軸部に近よるに従つて断面寸度を減少させるのをやめ、途中更にもう一個中子支持穴を設ける位のものである。

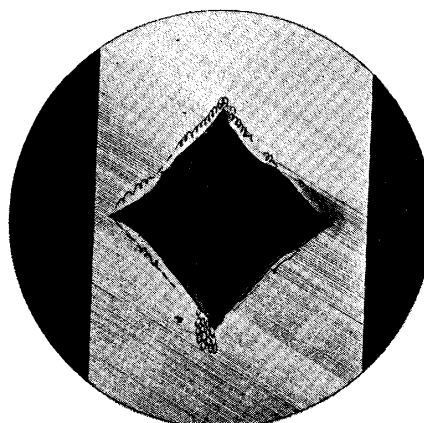
フオーク主體彎曲部に於ける特に甚しい變動、軸心に沿ふ細長い巢、及び各所に散在する局部的巢に對しては、鑄型、鑄型の溫度、注ぎ方、冷し方、縮ませ方、ガスの抜き方等鑄造當事者の考慮を俟つ處が多い。

然し乍ら本鑄物に用ひられたエレクトロン材は破壊強度は巢がなければ相當強いにも拘らず、彈性限度が 3 kg/mm^2 に満たず、極端に低い。これでは如何に輕量であると言つても先づ航空機用強度部材材料としては使用できない譯である。

従つて如何なる隨伴議論も、このマグネシウム鑄物合金素材の研究が確立しなければ全く用をなさぬ事になる。先づ第一に急を要する研究は破壊強度は兎も角として彈性限度の高いマグネシウム鑄物合金の研究である。



第 18 圖 内筒ボス部内面硬度試験位置



第 19 圖 ヴァイツカース硬度試験に於ける窪みの寫生

マグネシウム合金に於て Al を増す時は、比重は大きくなるが弾性限度は向上する事は明らかである。尙ほ Al の多い方がかへつて鑄物しやすいとも云はれてゐる。只伸びは一般に非常に小さくなるが⁽¹⁴⁾ Al 10% の鑄物用合金で弾性限度⁽⁵⁾ 12~15 kg/mm²、伸1~4% に達してゐるものがある。8.5% Al 及び 0.4% Zn のもので砂型鑄造後適當な熱處理後の破壊強度 24~27 kg/mm² に達するものがあり弾性限度は 10~11 kg/mm²、伸びは 8~12% である。

これ等の事實より視れば、此處に報告した供試材成分（第1表分析試験参照）に就ては尙ほ研究の餘地があるものと推察される。但し鑄造後の熱處理が非常に重大な役割をするのであるから、この供試材⁽¹⁾も適當な且つ十分な熱處理を行へばこの儘の成分でも、もつと向上するものと思はれる。且又マグネシウム合金は鑄造前の過熱によつても性質が向上するから、鑄造前の状態も問題になる。

尙ほマグネシウム合金の硬度については硬度試験の部に述べた通り、測定にはブリネルか又はヴィツカースが都合よく、鋼等でよく用ひられる。ショアー硬度で製品の強度を大體に判定する簡便な方法はマグネシウム合金に於ては先づ用ひる事が出来ない。

最後に附言して置きたいのは破壊強度が比例限度の約26倍⁽¹⁾にも達するマグネシウムのやうな特殊の金屬を素地として作られる合金にあつては、破壊強度が如何に強く出ても弾性限度が低くては工業上役に立たぬものであるから、弾性限度若しくは試験の容易な耐力を特に明確に規格する必要がある事である。例へば陸軍規格では破壊強度 19 kg/mm² となつてゐるから少く共 9.5 kg/mm² 以上の弾性限度を要求する必要がある。然らざれば所謂抗張力は航空機設計データとしては頗る不備なものになる。

本報告の實驗は木村技師の御指圖に従つて行つたものである。尙ほ、本館地階材料實驗室の試験機械を度々拜借した。記して以て深く感謝の意を表明する。

於飛行機部 昭和13年3月

(1) この供試材は單に内部應力をとる爲に約 200°C で2時間の熱處理が製作所で行はれた。

文 献

- [1] 後 藤 正 治：合金學. 602 頁に引用書目録有り.
- [2] 石 田 四 郎：鑄造マグネシウム合金の性質 日本鑄業會誌. 昭和7年10月其他
數回.
- [3] 工業圖書株式會社：輕金屬及輕合金最近の進歩.
- [4] 機 械 學 會：機械工學便覽. 昭和12年版.
- [5] 三 島 德 七：金屬材料最近の狀勢.
精機協會，精密機械昭和13年1月. 又は同年同月火兵學會誌.
- VDI 1937.
- [6] G. Siebel : Die hexagonale Struktur des Magnesiums 126
- [7] K. Bungardt : Magnesium und seine Legierungen1289
- [8] A. Schanz : Magnesium Legierungen für Gehäuseteile von Elektro-
maschinen1329
- [9] K. Bungardt : Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von
Magnesiumlegierungen (1. Magnesium-tagung 1937).....1487
- [10] A. Grützner, G. Apel, U. C. Götze: Magnesium-Legierungen.
- [11] VDI : Werkstoff Magnesium 《今年1月刊行された筈にしてマグネシウ
ームに關する種々の數表を含む筈》
- [12] K. Bungardt : Neuere Fortschritte und Erfahrungen im Ausland über
die Eigenschaften von Magnesium Legierungen.
Band 14 Lfg. 6. S. 527. Luftfahrtforschung.....1937
535 頁に 85 種の文獻あり内 9 種は日本に於て發表せられたもの.
- [13] R. H. Greaves : Elastic Properties of some Aluminum Alloys ; Metallurgist,
Suppl. to the Engrs, Oct. 29, 1937; 72/74 頁 航空學會誌 13 年 3
月 295 頁抄録.
- [14] W. G. Harvey : Modern Magnesium Alloy Practice, Metal. Jan. 21. 1938.
- [15] W. G. Harvey : Manufacture Characteristics and Uses of Magnesium Castings.
S.A.E. Jan. 1938.

以 上