

鍛錬用マグネシウム軽合金に就いて

(日本鐵鋼協會 第7回講演大會講演)

石田 四郎

第I編 研究方針

凡そ鍛錬材をして強力ならしむる方法は次の三方法以外に無し。

- (a) 固溶體を作る事 (b) 熱處理をなす事
(c) 冷間加工をなす事

故に板材を強力ならしめんには (a)(b)(c) の三法を併用せは完全なり、もし三法を併用し得ずとせば二法の併用に依る可く、二法の併用も不可能なりとせば一法に依り満足せざる可らず。

(a) 法即ち固溶體を作る事に關しては既に報告せる處(著者、日本鑛業會誌昭和四年五月及八月)にしてマグネシウムと固溶體を作るものは次の諸元素にして其範圍次の如し。

合金名	固溶體の範圍
Mg-Al	常溫 Al=5%, 高溫 Al=13%
Mg-Zn	常溫 Zn=3%, 高溫 Zn=7%
Mg-Cd	全範圍
Mg-Al-Zn	少範圍
Mg-Al-Cd	少範圍

本表に示しある諸元素は(a)の目的に適するものなるも此中カドミウムは比較的高價なると熔解に當り酸化蒸發し易き缺點を有するを以て暫らく研究の對象外とす可し、從つてアルミニウム及亜鉛をマグネシウムに添加せしものに就き研究する事とせん。

次に(b)法即ち熱處理する事に就きても既に報告せる處(著者、日本鑛業會誌昭和五年四月)にしてマグネシウム—アルミニウム合金に於てはAl=8%以上となれば焼入焼戻に依り其性質を改

善し得るを知れり、從つて抗張力大なる板の成分が此熱處理法を應用し得る範圍以上なれば本法を應用す可きなり。

最後に(c)法即ち冷間加工をなす事に就きては未だ何等の研究無きを以て本研究は先づ此點に就き充分研究し次に其結果に基き(a),(b),(c)三法を全部採用し得るや否やを決定すると共に強靱なる板材用合金を選定し其製作方法を決定せんとす。

第2編 鑄塊法

マグネシウム軽合金の熔解法の一法に就きては既に報告(著者、日本鑛業會誌昭和四年十一月)せり、今該法の要點を摘記せば次の如し。

マグネシウム合金の熔解には鐵製坩堝を用ふ、之を先づ電氣爐、瓦斯爐或は散炭爐等の適當の爐中に於て約900°Cに豫熱せし後マグネシウムの一塊を此中に投入せば金屬は直ちに熔解す可し、之に次次に新マグネシウム塊を投入せば熔解金屬は常に其熔解溫度に保持せられ何等の酸化を受くる事無く熔解を完了す。

然るに其後の研究に依り本法を適用し得る材料は所謂酸化マグネシウムの電解に依り作りたるもの(主として以前の米國材料)に限られ鹽化物の電解に依り作りたる材料(獨逸材料は之に屬す)には應用し難きを知れり、即ち鹽化物電解に依る材料を上法に依り熔解せば熔解金屬の表面黒變し

次第に酸化進行し遂には引火するに到る、此處に於て鹽化物電解に依り作りたる金屬マグネシウム(以下單にマグネシウムと略稱す)に就き改めて其熔解法を研究せる事次の如し。

第1章 カーナライト蔽護法

カーナライト($K.MgCl_3 \cdot 6H_2O$)を鐵製坩堝中に熔解し置き其中に金屬マグネシウムを投入し熔解す、熔解金屬の増大に依り始めのカーナライトに依り蔽護し得ざるに到れば更に脱水せるカーナライトを追加す、斯くて所望量のマグネシウムを熔解し終りたる時一度熔解金屬の溫度を約 $800^{\circ}C$ に過熱せばカーナライトは盛んに發煙しつゝ蒸發し遂に熔解金屬中には唯少量のカーナライト及酸化マグネシウムのみを残留するに到る、此處に於て熔解金屬の溫度を低下せしめ適當なる鑄造溫度に到りたる時鑄造す。

本法に依り鑄造せば熔解金屬は殆んど酸化する事無きも上述の如く幾分カーナライトを含有し居るか故に鑄造品中にも自ら之を伴ひ製品の腐蝕を招く原因となる、此缺點を除去せしものを次法とす。

第2章 カーナライト蔽護法に於ける鑄造法の改良

熔解法は第1章と同様なるも鑄造前の $800^{\circ}C$ に於ける過熱に當り時々硫黃粉末を投入し其酸化を防ぎつゝカーナライトをなる可く充分に蒸發せしむ、尙熔解金屬を底部より鑄出する爲に鐵製坩堝の構造を改造せる事附圖第1の如し、即ち坩堝底部に開孔の上、鐵管を挿入す、然かもaの如く鐵坩堝内底面より約 $20mm$ 突出せしむ、而して此鐵管内に鐵棒を押し込み止となす事bの如し、鑄造時は此bを抜き熔解金屬を底部より流出せしむる

ものとす、蓋しカーナライトの比重はマグネシウムの比重と大差なき故前者は唯に後者の表面を蔽ふのみならず坩堝壁部にも附著し熔解合金は其中に包まるゝ事恰も餅に於ける餡の如し、従つて普通一般の鑄造の如く坩堝の上部より熔解金屬を流出せしむる時は必ずカーナライトの一部も共に流出す、之を防止す可く底注となせしなり、然かれ共尙底部に存するカーナライトの混出の惧ある故突起部aを作りカーナライト無き部に流出口を開口せしめたるものなり。

勿論本法に依るとも鑄造の始めには幾分カーナライトを伴ふを以て始めの熔解金屬は之を棄つものとす、斯の如き方法に依り鑄造品中へのカーナライトの混入は殆んど防止し得れども尙完全を期す可く鑄込に當り附圖第2に示すが如き鑄込口を裝置したり、此裝置に用ゆる型は半乾燥の場合は鑄物砂中に適當量の硫黃を混入し、完全乾燥の場合は川砂或は珪砂になる可く少量の粘土を加えたるものに依り造型し尙鑄肌に亞鉛華：硫黃：酸化マグネシウム=8：1：1の混劑を水にて溶きたるものを塗布す、而して附圖第2の如く2ヶ所に金網(約1分或は0.5分目)を裝置す、本裝置を鑄込口に用ゆる時は湯に混入し居るカーナライト及酸化マグネシウムは主として第1網に依り捕集せられ第2網にも多少捕集せらる、結局鑄物本體には是等の有害なる含有物無きに到る。

第3章 一般的注意

上述の如き裝置を施したる後鑄込口の周圍に酸化マグネシウム、硫黃、亞鉛華の前記混劑を堆積したる後型内の空氣を亞硫酸瓦斯にて置換す、斯くて熔解合金の入り居る坩堝を鑄込口上に置き止棒を抜き鑄造するものとす、鑄造時は適當に亞硫

酸瓦斯を導き鑄物の表面の酸化を防止するを要す。

斯の如き方法に依り得たる鑄塊は寫眞圖第1の如し、鑄塊の表面は一般に平滑なるを以て其儘壓延するも可なれども必要に應じ表面を機械仕上げするも可なり。

第3編 冷間加工に依るマグネシウム合金の性質の變化

第1章 壓延可能範圍

鑄塊の壓延は一般に之を熱間壓延と冷間壓延とに區別し得べし、前者は壓延を容易ならしむる一便法にして後者は製品に抗力を附與するものなり。

以下兩者の可能範圍に就き研究せんとす。

1) 壓 延 法

(イ) 熱間壓延溫度

熱間壓延溫度は前報告(著者、日本鑛業會誌昭和四年五月)に於て次の如く豫想せり。

合金名	壓延溫度 °C
Mg-Al	400
Mg-Zn	300

此溫度は合金の平衡圖より考へたるものにして共晶溫度より約 40°C 下位を選定せしものなり、従つて合金は極めて粘性ある柔軟状態にして熱間壓延容易なるは明なるも他方合金の再結晶溫度と果して如何なる關係あるや尙不明なり、故に壓延溫度として理想的のものなりとは斷言し得ざるも豫備的に本溫度を以て壓延し其可能範圍を決定せり、蓋 此の如き高溫に於ても尙材料の抗力大にして壓延し得ざるものは合金の再結晶溫度を考慮せる、より低き理想的壓延溫度に於ては到底壓延し得ざる事明瞭なるを以てなり、換言せば理想的

壓延の範圍は本研究法に依り決定せし壓延可能範圍より小なるとも大なる事無ければなり。(第4編第2章参照)

(ロ) 熱間壓延 A

鑄塊の寸法は 30×100×160mm

加熱溫度は前記(イ)の如し。

1 回の加熱時間約 30 分

1 回の壓延(遞減率 3%)毎に焼鈍す。

ロールの溫度は略々室温

(ハ) 熱間壓延 B

鑄塊の寸法は前記の如く小なるを以て常温のロール(直徑 250mm)に接觸せば鑄塊の熱は直ちにロールに奪はれ爲めに鑄塊は其表面より内部に熱勾配を生じ、鑄塊表面は所定溫度以下に低下す、之を防ぐ爲めロールの溫度を 250~300°C に加熱せり、其加熱装置は附圖第3の如し。

其他の條件は熱間壓延 A と全く同様なり。

(ニ) 冷間壓延

ロール並に壓延板共に常温

2) 壓 延 結 果

Zn %	(イ) Mg-Zn 合金 熱間壓延 A		熱間壓延 B	300°C に於ける組織	冷間壓延	常温に於ける組織
	能否	摘要				
2	壓延可能		容易に壓延	單相 α	可能	單相 α
3	同上		同上	同上	同上	同上
4	注意せば可能	2mm 板と なるも處々に 疵あり	壓延し得	單相 α	不能	α+β
5	壓延不能	20mm 以下に 壓延し得ず	同上	同上	同上	同上
6	同上	同上	壓延不能	同上	同上	同上
7	同上	同上	同上	同上	同上	同上
8	同上	同上	同上	α+β	同上	同上
10	同上	同上	同上	α+β	同上	同上
Al %	(ロ) Mg-Al 合金 熱間壓延 A		熱間壓延 B	300°C に於ける組織	冷間壓延	常温に於ける組織
	能否	摘要				
2	壓延可能		壓延可能	單相 α	壓延可能	單相 α

4	壓延可能	壓延可能	單相 α	壓延可能	單相 α	$Al=5\%$ $\alpha+\beta$ 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上 同上
6	注意せば可能	同上	同上	壓延不能	同上	
7	同上	同上	同上	同上	同上	
8	壓延不能	18.5mm以下に壓延し得ず	同上	壓延不能	同上	
9	同上	同上	同上	同上	同上	
10	同上	同上	同上	同上	同上	
11	同上	同上	同上	同上	同上	
12	同上	同上	同上	同上	同上	

(ハ) 冷間壓延度

合金名、(純 Mg), (Zn=2% Mg=殘), (Al=2 及 4% Mg=殘)

冷間壓延度%	50	40	30	20	10	5
壓延の能否	不能	前同	前同	前同	可能	前上

以上の3表より次の如く考へらる可し。

(a) 熱間壓延 A の成績は著しく悪し。

(b) 熱間壓延 B 可能の範圍は Mg-Al 合金に在りては Al=7% 迄、Mg-Zn 合金に在りては Zn=5% 迄なり、此限界は略々 300°C に於ける兩合金の單一固溶體の限界に相當す。

(c) 冷間壓延可能の範圍は Mg-Al 合金に在りては Al=4% (恐らく 5%) 迄、Mg-Zn 合金に在りては Zn=3% 迄なり、此限界は略々兩合金の常溫に於ける單一固溶體の限界に相當す。

(d) 冷間及熱間壓延可能の範圍が完全に平衡圖上の固溶限界に一致せざる事あるも是は鑄塊時のデンドライトの生成に基因するものなる可し、之を要するに概念としては壓延溫度(常溫或は高溫)に於ける單一固溶體に限り壓延し得ると考へて大なる誤にあらざる可し。

(e) 冷間壓延可能の範圍内に在る合金と雖も其冷間壓延度は最大約 10% なり。

第2章 牽引に依る冷間加工進行の經過

實驗方法は合金試片を牽引しつつ冷間加工をな

し其際の結晶粒の内外に起る變化を顯微鏡に依り測定するに在り。

マグネシウム合金 (Al=4% Mg=殘部) の厚 2mm、幅 15mm、標點距離 50mm の試片を 400°C にて充分焼鈍後試片上に 10mm 毎に標點を附す然る後其面をよく研磨し 0.5% 硝酸アルコール液にて腐蝕し結晶粒界を明瞭ならしむ、次に寫眞圖第 2 乃至 9 と共に示しある略圖の如く I, II, III, IV の 4ヶ所に目標を附し此部の結晶粒の有様を寫眞に撮影す次に荷重をかけ一定負荷後試片を試験機より取りはずし前記 4ヶ所に就き再び結晶粒を撮影す、此操作を試片の破斷迄繰り返す。

負荷は次表の如し。

寫眞撮影回数	荷重 (kg/mm ²)	伸 (%)	摘要
1	0	0	400°C 焼鈍の儘
2	10	0	粒内外に變化なし
3	15.8	1.6	
4	19.8	6.0	
5	21.5	15.6	

今 III 及 IV の部分の結晶粒の變化を示せば寫眞圖第 2~9 又再研磨後は寫眞圖第 11~13、破斷部を示せるものは寫眞圖第 14~15 の如し。

寫眞圖第 2 は牽引前の組織とす、本組織は完全なる粒のみにして双晶等無し、中央に大きく結晶らしく顯はれ居るものは實は腐蝕の際生じたる皮膜なり¹⁾ 眞の結晶は其よりも遙かに小なるものにして薄く顯はれ居れり。

10kg/mm² 負荷後尙伸を認め得ず、又結晶粒の内

¹⁾ 皮膜の境界は眞結晶粒界に無關係にして1個の皮膜中に數個の眞結晶を含有す。牽引に依り皮膜には必ず附圖第 4 の如く牽引方向に直角なる無數の割を生ず一見入り層の如きも實は引き離されたるを示す之に反し同一皮膜内に含有せられある眞結晶粒には各々其粒特有の方向に双晶又は入り層を示す。是等の二事實は是が腐蝕に依る皮膜なるを證すに充分なり。

外にも認め得べき変化無し、即ち 10kg/mm^2 は未だ弾性限内に在るを知る。

寫眞圖第 3 は 15.8kg/mm^2 、伸 1.6% 後の粒形にして伸の發生に伴ひ二三の結晶には既に牽引方向に或る角をなしたる双晶を生ぜり¹⁾、前記皮膜には既に牽引方向に直角なる割れを生ぜり又或小粒は何等の變化を受くる事無く其儘浮き揚れり、其様恰も附圖第 5a の如し。

寫眞圖第 4 は荷重 19.8kg/mm^2 、伸 6% の時の結晶粒の變化にして双晶の他に²⁾ じり層を示す。

寫眞圖第 5 は破斷荷重 21.5kg/mm^2 、伸 15.6% の場合の結晶粒の變化にして各粒は凹凸甚しく加ふるに双晶及じり層を増大せり、(或部は凹凸甚しく焦點合致せず) じり層の發生は恰も附圖第 5b の如し。

寫眞圖第 6~9 は IV 部に就きての同様な寫眞なり。

寫眞圖第 10 は或結晶のじり層を明示せしものにして a b 断面は見取圖の如し。

寫眞圖第 11~13 は前述試片破斷後再研磨したるものにして双晶の數か破斷部に近き程多きを示す。

以上結晶粒内外の變化を綜合するに著しき現象次の如し。

(1) マグネシウム合金を冷間にて牽引せば先づ或る粒には双晶を(幾分じりも發生し居る可し)或る他の粒には結晶粒境界の移動或は廻轉に依る浮き揚り現象を呈す。

(2) 荷重の増大につれじり層を生ずる事大なり。

¹⁾ 再研磨後痕跡の残り居るものを双晶とせり。寫眞圖第 11~13 参照の事。

次に同一結晶系に屬する純亜鉛に就き本合金の場合と全く同様な試験をなしたる結果亜鉛に於ても牽引に依る冷間加工の経過はマグネシウム合金と全く同一にして先づ主として双晶又は結晶粒界移動或は廻轉を生じ次に多くのじり層を生ずるを知れり。

第 3 章 壓延に依る冷間加工後の加熱に依り起る物理的及機械的性質の變化

1) 物理的性質の變化

(イ) 冷間加工後の加熱に依る電氣抵抗の變化
試料は冷間加工 10% のものにして其寸法は厚 2mm 、幅 8mm 、長 200mm とす、試料の加熱は空氣浴にてなし所定溫度の $+2$ 乃至 -5°C の範圍に保持す、而して同一試料を繰り返し加熱す、例へば或試片を 100°C にて 1 時間加熱空冷し其表面を研磨せし後其電氣抵抗を測定す、次に之を更に 130°C に 1 時間保持し、前同様の操作を繰り返す、之を 425°C 迄行ふものとす、即ち加熱毎に試料の表面を研磨せしを以て嚴密に云へば測定毎に試片の斷面積減少し居るも其差極めて少きを以て特に補正をなさず。

電壓の測定はポテンシヨ・メーターに依る、而して電流 4, 5, 6 アンペアーにて測定し各々の場合の全抵抗を計算し其平均を求めたり、尙電壓測定中の室溫は $11\sim 12^\circ\text{C}$ とす。

測定の結果次表の如し。

純マグネシウム Mg (10% 冷間加工)

加熱溫度 $^\circ\text{C}$	全抵抗 10^{-4} オーム				測定距離 100mm 斷面積 mm^2
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
壓延の儘	2.73	2.73	2.73	2.73	16.06
65	2.72	2.72	2.73	2.72	
100	2.71	2.71	2.72	2.71	
130	2.70	2.70	2.71	2.70	
150	2.71	2.71	2.72	2.71	
170	2.71	2.71	2.72	2.71	
190	2.71	2.71	2.72	2.71	

210	2.69	2.69	2.70	2.69
230	2.68	2.68	2.69	2.68
250	2.69	2.69	2.70	2.69
270	2.71	2.70	2.72	2.71
290	2.74	2.74	2.75	2.74
315	2.73	2.73	2.73	2.73
345	2.69	2.69	2.70	2.69
377	2.68	2.69	2.69	2.69
425	2.69	2.69	2.70	2.70

230	2.70	2.71	2.72	2.71
250	2.71	2.71	2.72	2.71
270	2.71	2.71	2.73	2.72
290	2.75	2.75	2.75	2.75
315	2.75	2.76	2.76	2.76
345	2.72	2.72	2.73	2.72
377	2.72	2.72	2.73	2.72
425	2.71	2.72	2.73	2.72

純マグネシウム M₁₄ (10% 冷間加工)

(Zn=2% Mg=残部)合金 Z₁₄ (冷間加工 10%)

加熱温度 °C	全抵抗 10 ⁻⁴ オーム				測定距離 100mm 断面積mm ²
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
壓延の儘	2.73	2.73	2.73	2.73	16.04
65	2.72	2.72	2.73	2.72	
100	2.72	2.72	2.73	2.72	
130	2.71	2.71	2.72	2.71	
150	2.71	2.72	2.72	2.72	
170	2.71	2.71	2.72	2.71	
190	2.71	2.71	2.72	2.71	
210	2.70	2.70	2.71	2.70	
230	2.69	2.69	2.70	2.69	
250	2.70	2.70	2.71	2.70	
270	2.71	2.72	2.72	2.72	
290	2.73	2.74	2.74	2.74	
315	2.73	2.73	2.74	2.73	
345	2.70	2.69	2.71	2.70	
377	2.69	2.69	2.70	2.69	
425	2.70	2.70	2.71	2.70	

加熱温度 °C	全抵抗 10 ⁻⁴ オーム				測定距離 100mm 断面積mm ²
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
壓延の儘	2.78	2.78	2.79	2.78	16.72
65	2.75	2.74	2.76	2.75	
100	2.73	2.73	2.74	2.73	
130	2.71	2.72	2.73	2.72	
150	2.72	2.72	2.73	2.72	
170	2.72	2.72	2.74	2.73	
190	2.72	2.72	2.73	2.72	
210	2.69	2.70	2.71	2.70	
230	2.70	2.70	2.71	2.70	
250	2.70	2.71	2.72	2.71	
270	2.71	2.72	2.73	2.72	
290	2.73	2.74	2.74	2.74	
315	2.74	2.75	2.76	2.75	
345	2.71	2.72	2.72	2.72	
377	2.71	2.71	2.72	2.71	
425	2.71	2.72	2.73	2.72	

純マグネシウム M₁₅ (冷間加工 10%)

(Zn=2% Mg=残部)合金 Z₁₅ (冷間加工 10%)

加熱温度 °C	全抵抗 10 ⁻⁴ オーム				測定距離 100mm 断面積mm ²
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
壓延の儘	2.75	2.75	2.76	2.75	16.12
65	2.73	2.74	2.74	2.74	
100	2.71	2.72	2.74	2.72	
130	2.72	2.72	2.73	2.72	
150	2.72	2.72	2.73	2.72	
170	2.72	2.72	2.73	2.72	
190	2.72	2.73	2.74	2.73	
210	2.72	2.72	2.73	2.72	
230	2.71	2.71	2.72	2.71	
250	2.71	2.71	2.72	2.71	
270	2.73	2.72	2.74	2.73	
290	2.75	2.74	2.75	2.75	
315	2.74	2.74	2.75	2.74	
345	2.71	2.71	2.72	2.71	
377	2.70	2.70	2.71	2.70	
425	2.70	2.71	2.71	2.71	

加熱温度 °C	全抵抗 10 ⁻⁴ オーム				測定距離 100mm 断面積mm ²
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
壓延の儘	2.79	2.79	2.80	2.79	16.92
65	2.75	2.76	2.77	2.76	
100	2.74	2.74	2.75	2.74	
130	2.71	2.72	2.73	2.72	
150	2.73	2.73	2.74	2.73	
170	2.73	2.73	2.74	2.73	
190	2.73	2.73	2.74	2.73	
210	2.73	2.74	2.75	2.74	
230	2.71	2.71	2.72	2.71	
250	2.72	2.72	2.72	2.72	
270	2.73	2.74	2.74	2.74	
290	2.75	2.76	2.76	2.76	
315	2.76	2.76	2.76	2.76	
345	2.72	2.73	2.74	2.73	
377	2.72	2.73	2.74	2.73	
425	2.73	2.73	2.74	2.73	

以上の3表を曲線とせしもの附圖第6の如し。

以上の3表を曲線とせるものは附圖第7の如

し。

(Zn=2% Mg=残部)合金 Z₁₃ (冷間加工 10%)

(Al=4% Mg=残部)合金 A₁₃ (冷間加工 10%)

加熱温度 °C	全抵抗 10 ⁻⁴ オーム				測定距離 100mm 断面積mm ²
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
壓延の儘	2.77	2.77	2.78	2.77	16.93
65	2.75	2.74	2.75	2.75	
100	2.73	2.73	2.74	2.73	
130	2.72	2.73	2.73	2.73	
150	2.73	2.72	2.73	2.73	
170	2.73	2.73	2.74	2.73	
190	2.73	2.73	2.75	2.74	
210	2.70	2.71	2.72	2.71	

加熱温度 °C	全抵抗 10 ⁻⁴ オーム				測定距離 100mm 断面積mm ²
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
壓延の儘	6.14	6.14	6.14	6.14	16.97
65	6.09	6.09	6.08	6.09	
100	6.09	6.08	6.07	6.08	
130	6.00	6.00	6.00	6.00	
150	5.94	5.93	5.93	5.93	
170	5.83	5.82	5.83	5.83	

190	5.74	5.73	5.74	5.74
210	5.68	5.68	5.69	5.68
230	5.72	5.71	5.72	5.72
250	5.82	5.80	5.81	5.81
270	5.89	5.87	5.88	5.88
290	6.00	5.99	6.00	6.00
315	6.04	6.03	6.03	6.03
345	6.05	6.05	6.06	6.05
377	6.07	6.06	6.08	6.07
425	6.09	6.08	6.09	6.09

16.82

(Al=4% Mg=残部)合金 A₁₄(冷間加工10%)

加熱温度 °C	全抵抗 10 ⁻⁴ オーム				測定距離 100mm 断面積mm ²
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
圧延の儘	5.78	5.78	5.79	5.78	17.00
65	5.75	5.74	5.75	5.75	
100	5.70	5.68	5.70	5.69	
130	5.61	5.60	5.62	5.61	
150	5.57	5.57	5.57	5.57	
170	5.47	5.46	5.46	5.46	
190	5.39	5.38	5.40	5.39	
210	5.31	5.30	5.32	5.31	
230	5.33	5.32	5.33	5.33	
250	5.41	5.41	5.41	5.41	
270	5.55	5.54	5.54	5.54	
290	5.68	5.69	5.69	5.69	
315	5.71	5.72	5.73	5.72	
345	5.75	5.74	5.75	5.75	
377	5.73	5.73	5.74	5.73	
425	5.74	5.74	5.75	5.74	

16.77

(Al=4% Mg=残部)合金 A₁₅(冷間加工10%)

加熱温度 °C	全抵抗 10 ⁻⁴ オーム				測定距離 100mm 断面積mm ²
	4Amp	5Amp	6Amp	平均	
圧延の儘	5.79	5.78	5.80	5.79	17.00
65	5.81	5.81	5.80	5.81	
100	5.74	5.73	5.74	5.74	
130	5.66	5.66	5.67	5.66	
150	5.63	5.62	5.62	5.62	
170	5.50	5.50	5.50	5.50	
190	5.43	5.43	5.43	5.43	
210	5.39	5.37	5.38	5.38	
230	5.36	5.36	5.37	5.36	
250	5.44	5.44	5.44	5.44	
270	5.44	5.46	5.46	5.55	
290	5.71	5.71	5.70	5.71	
315	5.76	5.75	5.77	5.76	
345	5.78	5.77	5.78	5.78	
377	5.76	5.77	5.76	5.76	
425	5.76	5.78	5.79	5.78	

16.76

以上の3表を曲線とせしものは附圖第8の如し。

今附圖第6を見るに純マグネシウムの冷間加工を受けたるものは加熱と共に電気抵抗を減し100~170°Cに於て先づ極小を示したる後170~180°Cにて極大を示す、爾後約230°Cに於て再び極小を示し270~300°Cに於て極大を示す又370°C

附近にて極小を示す。

附圖第7に示しある亜鉛2%含有合金に於ても之と全く同一の経過を示す。

附圖第8アルミニウム4%含有合金に於ても略同様なるも著しき變化點は約100°Cに於て曲線轉向し210°C附近に於て極小を示し300°Cにて再び轉向す。

今附圖第6,7,8を一圖に纏めたるものは附圖第9の如し、同圖に依り3合金の冷間加工後の加熱に依る電気抵抗の變化の大勢を知り得べし。

同圖に於て極小點をIにて示しI₁, I₂, I₃とす、又極大點をAにて示しA₁, A₂とすればI₁, I₂, A₂は3合金共明瞭に示し、A₁, I₃は2合金には明瞭にアルミニウム4%合金には極めて弱く現はれたり。

一般に冷間加工材の加熱に依る電気抵抗の變化は冷間加工に基く内部歪の除去に依り抵抗減し結晶粒の發達に依り結晶粒の大きさ或大きさに達する迄は増大す、従つて兩效果の結合效果を考ふるに前者¹⁾(歪の除去)か後者(結晶の發達)に比し大なる間は電気抵抗減少し後者か前者に比し大なる時は電気抵抗増大す、又兩者等しき時は變化なし、此變化無き時は極大或は極小として曲線上に顯はる可く此極大及極小の中に所謂再結晶開始温度は存在す可し。

今上述の考に基き曲線上の極大、極小の意味即ち其加熱温度に依る内部組織の變化を想像し得る事次の如し。

(a) 常温よりI₁迄は内部歪の除去に依る電気抵抗の減少なり。

(b) I₁は再結晶核の發生。

¹⁾ 後藤正治 日本鑛業會誌 大正15年12月 p. 1009,

- (c) I_1-A_1 の間は 2 合金にありては再結晶核の發達か歪の除去より速なる範圍にして恐らく強烈なる加工を受けし部分に於ける結晶核の發達なる可し、此範圍内の A_1 に近接せし某溫度に於て X 線的に始めて再結晶粒を認め得。
- (d) A_1 以後 I_2 迄は加工度小なる部分の再結晶及歪の除去の混在。
- (e) I_2 は再結晶の終了點、硬度の測定に依り認め得る所謂再結晶溫度に相當す。
- (f) I_2-A_2 の間は全體として結晶の發達範圍。
- (g) A_2-I_3 は顯微鏡的組織に明なるが如く冷間加工歪流線の消失區域。恐らく或る種の双晶の消失區域と考へらる。
- (h) I_3 以後は歪流線の消失後の單なる結晶發達區域。

要之に冷間加工後の加熱に依る電氣抵抗の變化曲線の一般的性質より組織上の變化を案するにマグネシウム合金は冷間加工後の加熱に依り先づ其内部歪を除かれ約 120°C 附近に於て既に一部分再結晶核を發生し約 170°C 附近に於て X 線的に再結晶粒を認め得るに到り 230°C 附近に於て完全に再結晶を完了し爾後約 300°C 迄結晶の生長をなし 300°C 以後 350°C 位迄の間にて歪流線消失し其後は完全なる結晶の生長をなすものと考へらる、尙純マグネシウムと亞鉛 2% 含有合金とは其抵抗に大なる差異なきにアルミニウム 4% 含有合金は著しく抵抗大なり。

〔附言〕

純亞鉛の再結晶溫度は常溫に在りと稱する者あり、少くとも冷間加工に於ける摩擦熱に依る溫度上昇に依り容易に再結晶するは經驗上よく知ら

れたる處なり、此點はマグネシウムと異なる處なり。

(ロ) 冷間加工後の加熱に依る X 線寫眞圖の變化

試料は $Al=4\%$ 合金にして之を夫々 5 及 10% 冷間壓延せしめたる 1mm 板なり、寫眞撮影に當り管球はモリブデンを對陰極とす、電流 $60,000$ ボルト $4\text{mm} \cdot \text{A.m.p}$, 8 時間 X 線に曝露せしむ。

寫眞圖第 16 は同合金の 5% 冷間加工の儘のものなり、單に環狀を呈するのみにして所謂星條 (Asterism) を呈せず、即ち確かに幾分の歪は受け居るも未だ大なる歪にあらず従つて結晶軸が或る定方向に整ひ所謂纖維狀組織とはなり居らざるを示す、此事實は顯微鏡的組織とよく一致す。

寫眞圖第 17 は同試料を 175°C に 30 分間加熱せしもので依然環狀を呈し結晶粒を認め得ず。

寫眞圖第 18 は 185°C に 30 分間加熱せるものにして僅に環狀内に粒の發達せるを知る、即ち此溫度に於て X 線的に再結晶粒の存在を確認し得るに到れり、但し全體としては尙歪の多分に残留せるを示せり。

寫眞圖第 19 は 400°C に 30 分間加熱せるものにして環は多數の粒に分離され明らかに合金の完全なる結晶構造となり歪の除去せられたるを示す。

即ち $Al=4\%$ 合金の 5% 冷間加工を受けたるものは X 線に依れば 185°C に於て再結晶粒を認め得。

同様にして 10% 加工材に就き研究せるに再結晶開始溫度 175°C なるを知れり。即ち冷間加工度の増大につれ再結晶開始溫度の低下する事一般合金の場合と同様なり。

(ハ) 冷間加工後の加熱に依る顯微鏡的組織の變化

厚 2mm の板材に就き其顯微鏡的組織を検せり、試料の研磨甚だ困難にして腐蝕に依り其粒を顯す事甚だ難し、腐蝕は硝酸 0.5% を含有するアルコール液に依る。

寫眞圖第 20 は 10% の冷間加工を施したる純マグネシウム板の壓延の儘の組織にして其板の平面を研磨せるものとす、粒堺明瞭にして一見焼鈍組織の如し、即ち X 線寫眞圖による研究結果とよく一致す。

寫眞圖第 21 は第 20 のものを 400°C にて焼鈍せるものにして冷間加工材に比し粒の生長を示し居れり。

寫眞圖第 22 は亞鉛 2% 合金を 10% 冷間加工後 130°C に加熱したるものにして其の断面の組織なり、結晶粒堺明瞭なり尙壓延に依る歪流線を明瞭に示すと共に部分に依り粒の大きさの差違甚だしきを示す。

寫眞圖第 23 は同じく 250°C に 1 時間加熱せるものにして尙歪流線明瞭なり。

寫眞圖第 24 は同じく 300°C に加熱せるものなり尙歪流線明瞭なり。

寫眞圖第 25 及 26 は夫々 350°C 及 400°C に 1 時間加熱せるものにして歪流線消失し結晶著しく生長せり、即ち歪流線の消失は 300°C 以上に於て始めて起るを示す、此歪流線は研磨後依然として存在し且夫が結晶粒間の不純物に基因するにあらず且各結晶粒毎に方向を幾分異にする等より考へ恐らく双晶を多分に含むものなる可し、即ち双晶の完全なる消失は 300°C 以上ありとも考へらる、此點はマグネシウム合金加工上頗る重大なる事項なり。

2) 機械的性質の變化

(イ) 冷間加工後の加熱に依るブリネル硬度の變化

(a) 10% 冷間加工せるもの

豫め冷間加工の儘の硬度を測定し之を A とす、次に之を所定温度に 30 分間加熱後再び硬度を測定し之を B とし (A-B) を求む、次に前記 30 分加熱せしもの即ち B を更に 30 分同温度に加熱後三度硬度を測定し之を C とし (A-C) を求め之を 1 時間加熱後の硬度の變化とす、次に之を圖示するに當り冷間加工の儘の硬度の代表として或る一定値 H をとり H と (A-B) 及 (A-C) との差を求め之と加熱温度との關係曲線を求めたり。

純マグネシウム

(附圖第 10 参照)

試料 番號	加熱 温度 °C	ブリネル 硬 度											
		10%冷間壓延の儘			30 分 加 熱 後				1 時 間 加 熱 後				
		平均(A)			平均(B)(A-B)				平均(C)(A-C)				
M ₁	50	42.0	42	42	43.0	43.0	43.0	-1.0	41.7	42.3	42.6	42.2	-0.2
M ₂	100	42.6	42	42.3	41.9	42.6	42.3	0	42.0	42.3	42.0	42.1	0.2
M ₃	130	41.6	42	41.8	40.7	40.5	40.6	1.2	40.9	41.1	41.1	41.0	0.8
M ₄	160	43.2	42.9	43.1	41.9	40.6	41.3	1.8	40.4	41.1	40.9	40.8	2.3

M ₅	190	42.6	43.2	42.9	38.1	38.3	38.2	6.7	37.9	38.5	37.6	38.0	4.9
M ₆	220	42.7	42.6	42.7	33.9	34.0	34.0	8.7	34.7	34.8	34.1	34.5	8.2
M ₇	250	41.1	42.3	41.7	33.1	32.9	33.0	8.7	34.5	33.7	34.0	34.1	7.6
M ₈	280	42.3	42.3	42.3	32.5	33.1	32.8	9.5	32.5	32.1	32.7	32.4	9.9
M ₉	300	43.1	42.2	42.7	33.3	33.0	33.0	9.7	32.9	34.3	34.0	33.7	9.0
M ₁₀	350	40.8	40.9	40.9	32.2	32.1	32.2	8.7	32.5	33.2	32.3	32.7	8.2
M ₁₁	400	43.0	42.6	42.8	32.7	31.5	31.9	10.9	32.2	32.5	32.2	32.3	10.5

(Zn=2% Mg=残部)合金 (附圖第 10 参照)

試料番號	加熱溫度 °C	ブリネル 硬度											
		10%冷間壓延の儘			30分 加熱 後				1時間 加熱 後				
		平均(A)			平均(B)(A-C)				平均(C)(A-C)				
Z ₁	50	54.1	52.3	53.2	50.7	51.5	51.1	2.1	52.1	51.7	51.3	51.7	1.5
Z ₂	100	54.3	53.3	53.8	51.8	51.1	51.5	2.3	51.7	52.1	51.8	51.9	1.9
Z ₃	130	54.5	54.5	54.5	49.1	48.2	48.7	5.8	47.6	48.3	48.8	48.2	6.3
Z ₄	160	52.0	52.3	52.2	45.2	46.2	45.7	6.5	46.7	46.5	47.0	46.7	5.5
Z ₅	190	53.3	52.4	52.9	42.2	41.4	41.8	11.1	42.8	42.3	42.8	42.9	10.0
Z ₆	220	54.5	53.1	53.8	38.9	38.3	38.6	15.2	38.3	38.6	37.1	38.0	15.8
Z ₇	250	51.8	53.5	52.7	36.5	36.6	36.6	16.1	37.2	36.8	36.6	36.9	15.8
Z ₈	280	54.5	53.5	54.0	37.2	36.5	36.9	17.1	36.4	36.9	36.2	36.5	17.5
Z ₉	300	53.1	53.7	53.4	34.6	35.8	35.2	18.2	36.0	35.8	35.8	35.9	17.5
Z ₁₀	350	53.5	54.3	53.9	36.0	36.2	36.1	17.8	35.6	35.6	35.8	35.7	18.2
Z ₁₁	400	54.1	53.7	53.9	34.8	35.2	35.0	18.9	35.0	35.2	36.6	35.6	18.3

(Al=2% Mg=残部)合金 (附圖第 10 参照)

加熱溫度 (30分間)	ブリネル 硬度 平 均				加熱溫度 (30分間)	ブリネル 硬度 平 均			
10%冷間 壓延の儘	55.6	54.9	53.2	54.6	220	46.5	46.5	46.1	46.4
100	53.2	53.7	53.2	53.4	250	42.7	42.3	42.3	42.3
130	52.3	51.8	54.0	52.7	270	41.1	40.5	41.1	40.9
150	49.8	52.5	51.0	51.8	300	40.1	40.5	40.2	40.2
170	49.8	49.3	49.8	49.6	350	40.3	39.6	40.0	40.0
200	48.0	47.5	47.5	47.7	400	40.7	39.6	39.6	40.0

(Al=4% Mg=残部)合金 (附圖第 10 参照)

試料番號	加熱溫度 °C	ブリネル 硬度											
		10%冷間壓延の儘			30分 間 加 熱 後				1時間 加 熱 後				
		平均(A)			平均(A)(B-B)				平均(C)(A-C)				
A ₁	50	77.2	75.4	74.8	74.8	76.5	75.7	-0.9	76.0	74.2	73.9	74.7	-0.1
A ₂	100	72.4	71.8	72.1	70.1	71.0	70.6	1.5	72.7	71.6	73.6	72.6	0.5
A ₃	130	73.6	73.9	73.8	69.6	69.6	69.6	4.2	69.6	68.8	67.1	68.5	5.3
A ₄	160	76.5	77.8	77.2	67.6	67.6	67.6	9.6	68.8	67.3	68.3	68.1	9.1
A ₅	190	77.2	77.2	77.2	64.1	64.1	64.1	13.1	66.6	67.1	67.1	66.9	10.3
A ₆	220	86.8	87.2	87.0*	71.3	71.8	71.6	15.4	71.6	71.6	71.0	71.4	15.6
A ₇	250	82.9	84.0	82.9*	63.4	63.4	63.4	19.5	63.9	63.6	63.1	63.5	19.4
A ₈	280	82.6	84.7	83.7*	61.4	64.8	64.6	19.1	62.9	62.6	62.9	62.8	20.9
A ₉	300	71.4	71.5	71.4	47.9	49.1	48.5	22.9	47.6	49.1	48.2	46.3	25.6
A ₁₀	350	75.4	76.2	75.8	46.4	45.1	45.8	30.0?	46.0	44.9	44.8	45.2	30.6?
A ₁₁	400	67.6	68.1	67.9	42.3	43.0	42.7	25.2	40.8	42.6	41.6	41.7	26.2

(b) 5% 冷間加工せるもの

をなしたり、加熱時間は 30 分間とす。

本項に於ける硬度の測定は便宜上個々別々に之

純 マグネシウム					(Al=2% Mg=残部)合金				
加熱温度	ブリネル硬度			平均	加熱温度	ブリネル硬度			平均
100	40.9	40.9	43.0	41.6	冷間加工の儘	55.5	54.9	55.1	55.2
150	40.0	40.1	40.9	40.3	100	50.9	51.3	51.1	51.1
200	38.9	40.1	40.4	39.8	150	50.4	50.4	49.4	50.1
220	38.3	38.9	38.3	38.5	200	49.1	48.2	48.5	48.6
250	36.1	35.6	35.8	35.8	220	48.4	47.2	46.9	47.5
300	31.8	32.1	33.0	32.3	250	47.9	44.8	43.6	45.4
400	32.4	30.7	32.0	31.8	300	39.7	40.8	39.5	40.0
					400	38.0	39.0	39.3	38.8

Al=0.3% Mn=0.7% Zn=0.2% Mg=残

加熱温度	ブリネル硬度			平均	加熱温度	ブリネル硬度			平均
冷間加工の儘	62.6	61.3	61.8	61.9	230~240	43.5	43.9	44.0	43.8
100	57.8	57.7	57.4	57.7	250~260	43.4	43.3	43.5	43.4
140~150	50.2	50.1	49.9	50.1	300~310	43.8	42.5	43.0	43.1
170~180	45.2	44.7	45.7	45.2	350	42.2	42.0	42.4	42.2
200~210	44.1	44.8	44.5	44.5	400	40.4	41.4	41.2	41.0

(Al=4% Mg=残部)合金

加熱温度	ブリネル硬度			平均	加熱温度	ブリネル硬度			平均
冷間加工の儘	51.8	51.3	51.7	51.6	220	47.4	48.5	47.6	47.8
100	51.1	50.9	51.1	51.0	250	42.0	41.8	42.8	42.2
150	49.4	49.4	48.8	49.1	300	38.7	40.1	39.3	39.4
200	47.6	47.6	46.4	46.9	400	38.6	39.1	39.4	39.0

(c) 10% 冷間加工せるもの

測定せり即ち1個の試料に付 400°C迄の試験を

同一試料に就き連続加熱せるものに就き硬度を

なせるもの。(附圖第 11 参照)

純マグネシウム					(Zn=2% Mg=残部)合金				
加熱温度°C	ブリネル硬度			平均	加熱温度°C	ブリネル硬度			平均
冷間加工の儘	42	42		42	冷間加工の儘	54.1	52.3		53.2
60	41.7	40.9	41.1	41.2	60	52.6	53.3	53.9	53.3
100	41.4	42.3	42.6	42.1	100	51.5	52.1	51.5	51.7
130	40.5	40.3	40.4	40.4	130	47.6	47.9	47.9	47.8
150	40.7	39.5	40.9	40.4	150	45.4	46.9	45.8	46.0
170	39.7	39.7	39.4	39.6	170	46.0	45.5	46.2	45.9
190	38.6	38.2	38.3	38.4	190	44.3	44.9	43.7	44.3
210	36.3	36.8	37.2	36.8	210	39.4	38.9	40.2	39.5
230	32.7	33.6	33.5	33.3	230	36.2	36.8	36.4	36.5
250	33.0	32.5	32.5	32.7	250	37.2	36.3	37.9	37.1
270	32.2	33.0	33.1	32.8	270	36.2	36.3	37.0	36.5
290	32.3	30.1	31.2	31.2	290	35.5	36.0	37.4	36.3
315	32.0	32.0	31.2	31.7	315	31.4	33.5	32.2	32.4
345	32.5	32.3	32.7	32.5	345	35.8	34.5	36.9	35.7
377	32.6	31.8	31.3	31.9	377	36.0	35.7	34.8	35.5
425	31.6	32.2	32.4	32.1	425	37.2	36.9	37.8	37.3

(Al=4% Mg%残部)合金

加熱温度°C	ブリネル硬度			平均	加熱温度°C	ブリネル硬度			平均
冷間加工の儘	77.2	75.4		74.8	230	56.1	56.3	56.7	56.4?
60	74.2	75.1	75.4	74.9	250	61.9	61.1	61.1	61.4
100	73.3	74.2	73.6	73.7	270	58.9	60.3	60.1	59.8
130	74.5	71.8	71.3	72.5	290	50.7	50.4	50.1	50.4
150	69.6	68.1	69.6	69.1	315	49.2	48.3	48.5	48.8
170	67.4	66.9	66.6	67.0	345	43.7	47.2	47.8	47.9
190	65.4	65.6	66.6	65.9	377	46.9	45.7	46.1	46.2
210	60.5	61.9	61.9	61.4	425	44.2	44.8	43.9	44.3

以上の結果を曲線とせしものは附圖第 10 及 11 の如し。

曲線の形狀は細部には多少の差異あるも大體に於て同形なり、即ち比較的低温に於て硬度減少し始め其割合始めは急にして或る溫度に到りて略々一定となり爾後極めて徐々に低下す、今上述實驗結果に於て冷間加工 10% のものに付き冷間加工の儘の硬度、加熱に依り硬度の低下が略一定となる溫度及其際の硬度等を表示せば次の如し。

試験法	合金の種類	冷間加工の儘の硬度 (A)	冷間加工 10%			
			溫度°C	硬度略々一定となる		硬化度 $\frac{A-B}{B} \times 100$
				ブリネル硬度 (B)	硬度差 (A-B)	
個々の試験料	純 Mg	42	220	31	8	24
	(Zn=2%)	53	250	37	16	43
	(Mg=殘部)		250	40	15	38
	(Al=2%)			300	48	27
	(Mg=殘部)		75		300	48
1つ個連の試験料に	純 Mg	42	230	33	9	27
	(Zn=2%)	53	230	36	17	47
	(Mg=殘部)		290	50	25	50
	(Al=4%)	75		290	50	25

本表より次の事實を知る。

(I) 冷間加工の儘に於ても研究せしマグネシウム合金の硬度は比較的小なり、即ち最大 70 程度なり、是恐らく實驗せし合金が常溫に於て固溶體なるに基因す可きも冷間加工し得るものが固溶體合金に限らるゝの事實より考へ此數値をマグネシウム合金の冷間加工の儘の硬度と(一般的に)考へて支障なし。

(II) 冷間加工後の加熱に依り硬度低下し略々一定となる溫度は Al=4% 合金は略々 300°C なるも其他の合金は 220~250°C なり。

(III) 硬化度は合金に依り異なる。純マグネシウム最小にして次に Al=2% 合金、次に Zn=2%

合金、而して Al=4% 合金最大なり、即ち冷間加工し得る成分上の限界換言せば常溫に於ける單一固溶體の限界に近き程硬化度大なるが如し。

(ロ) 冷間加工後の加熱に依る抗張性の變化
冷間壓延 5% 及 10% なる 2mm 板より幅 15mm、平行部 70mm、標點距離 50mm の試験片を作製し之を各溫度に 30 分間保持せしものに就き研究の結果次の如し。

純マグネシウム (5% 冷間壓延)

附圖第 12 参照

加熱溫度 (°C)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)
冷間壓延の儘	21	2	2.4
100	18	1	2.4
150	20	1	2.4
200	20	2	3.3
220	21	3	3.3
250	18	2	4.0
300	18	5	4.8
400	18	9	8.5

摘要 各處に裂罅を生ず

純マグネシウム (10% 冷間壓延) 附圖第 12 参照

加熱溫度 (°C)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	摘要
冷間壓延の儘	20	2	5.0	
100	18	2	5.6	
150	20	3	6.6	
200	21	4	7.2	
220	19	3	3.1(?)	
250	19	8	11.8	
300	18	6	9.6	
400	19	8	9.0	各處に裂罅を生ず

以上 2 表を曲線とせるものは附圖第 12 の如し本曲線の特徴は抗張力、伸、断面收縮に於て冷間加工の儘のものとの之を加熱せるものとの差比較的小なる事なり、又抗張力及伸の數値比較的小なり特に伸が 10% 以下なるは注意す可き事なり。

(Al=0.3%, Zn=0.2%, Mn=0.7% Mg=残部)

合金 (5%冷間壓延)

加熱溫度 (°C)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	摘要
冷間壓延の儘	18	1.0	なし	脆く眞の抗張力を示さず
100	18	1.2	1.2	
145	20.0	1.4	5.6	
175	22.0	5.0	5.6	
205	21.5	6.4	5.3	
235	21.0	4.8	4.1	
255	21.8	5.0	4.1	
305	21.2	5.2	4.5	
355	21.6	6.6	5.6	
395	20.8	4.8	4.3	

(Al=2% Mg=残部)合金 (10%冷間壓延)
(附圖第 15 参照)

加熱溫度 (°C)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	摘要
冷間壓延の儘	25	2	6.5	各處に裂罅を生ず
100	24	2	5.9	
150	23	8	10.5	
200	23	14	18.5	
220	24	17	19.5	
250	22	24	26.3	
300	22	22	27	
400	22	24	21.5	

(Al=4% Mg=残部)合金 (冷間壓延5%)
(附圖第 16 参照)

(Zn=3% Mg=残部)合金 (5%冷間壓延)

(附圖第 13 参照)

加熱溫度 (°C)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	摘要
冷間壓延の儘	28.3	3.6	2.4	
100	26.9	3.8	8.3	
150	26.3	4.6	8.3	
200	23.5	4.8	7.6	
230	23.8	10.8	10.8	
250	23.5	12.4	14.7	
300	23.3	14.6	17.7	
400	24.6	12.4	9.1	

加熱溫度 (°C)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	摘要
冷間壓延の儘	28	12	11.2	
100	27	12	13.1	
150	26	14	16.9	
200	27	18	23.8	
220	24	20	19.2	
250	25	22	25.8	
300	25	24	25.8	
400	22	20	21.8	

(Al=4% Mg=残部)合金 (冷間壓延 10%)
(附圖第 17 参照)

(Al=2% Mg=残部)合金 (5%冷間壓延)

(附圖第 14 参照)

加熱溫度 (°C)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	摘要
冷間壓延の儘	26	10	11.2	
100	24	10	15.2	
150	23	12	20.2	
200	23	14	19.8	
220	23	16	20	
250	22	17	22.0	
300	21	25	25.2	
400	21	24	23	

加熱溫度 (°C)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	摘要
冷間壓延の儘	28	1	5.5	
100	28	1	5.1	
150	28	11	20.0	
200	16	20	26.5	
220	27	24	24.2	
250	25	23	23	
300	24	22	24	
400	23	21	22	

以上の結果を曲線とせるものは附圖第 14~17

の如し、曲線の形状は大體に於て同形なり。

今前項と同様に冷間加工の儘の状態と 300°C 及 400°C にて加熱せし状態との差異を曲線より求め表示せば次の如し。

合金の種類	冷延間の壓儘 A	冷間加工 5%						冷延間の壓儘 D	伸%					
		抗張力 kg/mm ²							伸%					
		300°C加熱			400°C加熱				300°C加熱			400°C加熱		
		B	A-B	$\frac{A-B}{B} \times 100$	C	A-C	$\frac{A-C}{C} \times 100$		E	E-D	$\frac{E-D}{E} \times 100$	F	F-D	$\frac{F-D}{F} \times 100$
純 Mg	21	18	3	17	18	3	17	2	7	5	71	7	5	71
Al=0.3%, Zn=2%, Mn=0.7%, Mg=残	22	21	1	5	21	1	5	1	5	4	80	5	4	80
(Zn=3% Mg=残)	28	23	5	22	23	5	22	4	14	0	71	14	10	71
(Al=2% Mg=残)	26	22	4	18	22	4	18	10	24	14	58	24	14	58
(Al=4% Mg=残)	28	25	3	12	22	6	27	12	23	11	43	20	8	40

合金の種類	冷間加工 10%													
	冷延間の 壓儘 A_1	抗張力 kg/mm^2						伸%						
		300°C加熱			400°C加熱			冷延間の 壓儘 D_1	300°C加熱			400°C加熱		
		B_1	A_1-B_1	$\frac{A_1-B_1}{B_1} \times 100$	C_1	A_1-C_1	$\frac{A_1-C_1}{C_1} \times 100$		E_1	E_1-D_1	$\frac{E_1-D_1}{E_1} \times 100$	F_1	F_1-D_1	$\frac{F_1-D_1}{F_1} \times 100$
純 Mg	21	17.5	3.5	17	18.2	2.3	13	2	8	6	75	8	6	75
(Al=2%) (Mg=殘)	25	22	3	14	22	3	14	2	24	22	92	24	22	92
(Al=4%) (Mg=殘)	28	24	4	17	23	5	22	2	22	20	90	21	19	91

上表より次の如く考へらる可し。

(I) 抗張力の冷間加工に依る増大率は冷間加工度 5% 及 10% 共に餘り大ならず、即ち最小 5% 最大 27% なり。

(II) 之に反し冷間加工に依る伸の減少率は相當大なり、即ち最小 40%、最大 92% なり、断面收縮の減少も亦略々之に同し。

(III) 即ちマグネシウム合金は冷間加工に依り抗張力の増大する事少きに反し伸及断面收縮の減少甚し、然かも冷間加工度僅に 5~10% に於て既に此事あるは注意す可き事なり。

(IV) 即ち一般的に考ふるにマグネシウム合金の特徴として冷間加工に依り普通合金の如く抗張力の増大無く徒らに靱性を失するを知る。

(V) 尙冷間加工に依る抗張力の増大率は純 Mg 及微量の Zn, Al, Mn 等を含む合金等は比較的少く Al=2% 及 Al=4% 合金は比較的大にして然かも伸の減少率比較的小なり、Zn=3% 合金は抗張力の増大率及伸の減少率共に大なり即ち壓延材としては Mg=Al 合金の最も適當なるを知る。

(VI) Mg=Al 合金に於て冷間加工度 5% 及 10% の兩者を比較するに抗張力は兩者間に餘り差異無きに伸著しく異なる、従つて是非共冷間加工を行ふ要ある時例へば熱間加工後板を平坦となす

如き際は 5% 或は其以下の極く輕き加工をなす可きを指示するものなり。

3) 總括

(イ) 焼鈍後の冷間加工に依る性質變化

(a) マグネシウム合金は冷間加工に依り其顯微鏡的組織に双晶出現する以外は一見焼鈍組織の如く略々完全に近き多角形粒を示す、然るに之を低倍率に依り見るに全體として歪流線の存在を知る、換言せば纖維狀組織となる事無く略々完全なる結晶粒を有しつゝ全體としては歪流線を示す、又 X線寫真にても所謂星條を呈する事無く唯環狀を呈するのみ、即ち僅かに歪の存在を示すのみにして歪の大なる纖維狀組織にあらざるを示す事顯微鏡的組織と全く同一なり、又抗張力の増大は比較的少きに反し伸及断面收縮の減少甚たしく硬度の上昇著し。

(b) 故にマグネシウム合金は原則として冷間加工を施さざるを可とす、然れども是非共冷間加工を要する時例へば熱間壓延後板を平坦となすが如き場合はなる可く少量の冷間加工例へば 5% 以下に止む可し。

(c) 壓延材として Mg-Al 合金は他の Mg-Zn 合金又は純 Mg に比し加工し易し故に壓延材としては主として Al を含有する合金を選定するを可とす。

(ロ) 冷間加工後の加熱に依る性質の變化

(a) 10% 冷間加工材の冷間加工後の加熱に依る電氣抵抗の變化を見るに純マグネシウム、 $Zn=2\%$ 合金は共に $130^{\circ}C$, $190^{\circ}C$, $230^{\circ}C$, $290^{\circ}C$, $375^{\circ}C$ に折點を示す、 $Al=4\%$ 合金に在りては明瞭なる折點は $230^{\circ}C$, $290^{\circ}C$ の 2 點なるも前記純 Mg 及 $Zn=2\%$ 合金に示されある其他の折點即ち $130^{\circ}C$, $190^{\circ}C$, $375^{\circ}C$ に對し夫々弱き變化を曲線上に示す事附圖第 9 の如し、他面 $Al=4\%$ 合金の同一處理材に就き X 線寫眞に依り其再結晶開始溫度を測定せるに $175^{\circ}C$ なるを知れり、即ち電氣抵抗曲線上の第 1 折點と第 2 折點の間に位す、第 1 折點は恐らく再結晶核の生成點なる可く爾後其核が相當に發達せる時始めて X 線的に再結晶粒を認め得るに到るならん、従つて嚴密なる意味に於ては X 線測定に依る可き又は電氣抵抗測定に依る可きか尙不明に屬すと雖も今暫らく X 線測定に依る $175^{\circ}C$ を同合金の 10% 冷間加工材の再結晶開始點とせん、其他純 Mg 及 $Zn=2\%$ 合金に在りても略々同一の關係に在る可し。

(b) 冷間加工後の加熱に依る機械的性質の變化は全く焼鈍後の冷間加工に依る變化の逆なり、即ち硬度著しく減じ伸及斷面收縮の増大亦著しく抗張力の減退少なし、而して何れの合金に在りても此變化は $230\sim 300^{\circ}C$ に於て現はる、即ち前記電氣抵抗曲線の第 3 及第 4 折點の間に在り、工業上の焼鈍溫度は此範圍内に在るものにして合金の種類と加工度に依り多少増減す可きも大體に於て $300^{\circ}C$ に近きものと考へらる。

(c) $300^{\circ}C$ 以上の加熱に依り電氣抵抗曲線上にも明瞭なる變化をなす事前述の如く又之に相應し

て顯微鏡的組織には加工歪流線完全に消失し其後は結晶粒も發達し諸抗力徒らに劣弱となる、加工歪流線か再結晶開始又は完了溫度 ($170\sim 230^{\circ}C$) より遙かに高溫なる $300^{\circ}C$ 以上に於て始めて消失するの事實は全く新らしき發見に屬しマグネシウム合金の加工上最も重視す可き事なり。

(d) 焼鈍後の冷間加工に際しアルミニウム含有合金が純マグネシウム又は亞鉛 2% 合金に比し加工し易きは既に述べたる處なるも冷間加工後の加熱に依る電氣抵抗の變化に於てもアルミニウム含有合金は折點少く圓滑なる變化をなすに純マグネシウム及亞鉛 2% 合金は共に多くの折點を有し不規則なる變化を示せり。

第 4 章 冷間加工と再結晶の考察

一般に金屬結晶を冷間にて牽引する時永久變形は迂り或は双晶に依り起る。

迂りを生ぜしむる條件は一般に迂り面上に迂り方向に其結晶特有の剪斷抵抗に打ち勝ち得る剪斷力を加ふるに在り、故に今或る結晶を任意の方向より外力を加へ牽引する場合、外力の某迂り面上の某迂り方向の分力が前記結晶特有の剪斷抵抗に打ち勝ち得たる部分に先づ第 1 の迂りを生ず、其迂り面に沿ひ迂りの進行に伴ひ歪を増大し硬化し結晶軸は外力に對し廻轉する結果遂により迂り易き他の部分に第 2 の迂りを生ずるに到る、同様にして第 3、第 4 の迂りを生じ永久變形を繼續す、従つて第 1 迂りより第 2 迂りへの轉換時の第 1 迂り部の歪の大小は迂り面の數に關係し迂り面多き結晶系にては歪小にして迂り面少き結晶系に於ては歪大なる可し。

双晶の起る條件は未だ定説無きも恐らく迂りと類似のものなる可し。

冷間牽引に當り双晶を生ずるか又は迂りを生ずるかは未だ理論的に明らかならず、されど迂り面に比し双晶面の特に多き場合は双晶生じ易しと考へて大なる誤にあらざる可し。

斯くて迂り或は双晶の發生に依る歪は之を所謂再結晶溫度以上に加熱せざれば除去し得ず。

以上は一般冷間加工の原則なる可く之をマグネシウム合金に就き考ふれば次の如くなる可し。マグネシウムは六方晶系に屬するを以てマグネシウムに富む固溶體よりなるマグネシウム合金(以下之を單に *Mg* 合金と略稱す)も恐らく六方晶系に屬す可し、従つて *Mg* 合金の冷間加工と再結晶とは六方晶系の冷間加工と *Mg* 合金特有の再結晶溫度とより之を想像し得べし。

文献¹⁾に依るに六方晶系結晶の迂り面及双晶面は次の如し。

名稱	ミューラーの符號	型	迂り方向 (下記の面に 垂直方向)
迂り面	0001 (W軸に直角)	底面	$\begin{matrix} \bar{1} & 2 & \bar{1} & 0 \\ \bar{1} & \bar{1} & 2 & 0 \\ 2 & \bar{1} & \bar{1} & 0 \end{matrix}$
双晶面	$\begin{matrix} 0 & 1 & \bar{1} & 2 \\ 0 & 1 & \bar{1} & \bar{2} \\ 1 & 0 & \bar{1} & 2 \\ 1 & 0 & \bar{1} & \bar{2} \\ 1 & \bar{1} & 0 & 2 \\ 1 & \bar{1} & 0 & \bar{2} \end{matrix}$	一次錐 (Ist Order Pyramidal)	

迂り面に比し双晶面の數多し、故に恐らく双晶を起し易きものと考へらる、而して迂り面少き故第2の迂りを開始する際の第1迂り部の迂りに依る歪は大なる可く、硬化する事大なる可し、然か

も迂りの起る部位又等齊ならざる可し。

又 *Mg* 合金の再結晶溫度は 170°C 以上に在るを以て室溫に於て冷間加工歪の除去さる事無し。

故に *Mg* 合金は冷間加工し難かる可し。

以上の推測は冷間牽引に際する *Mg* 合金の特性なるも其他の加工法例ば冷間に於る壓延、鍛造、拉伸等の場合亦之に依り容易に推理し得べし。

次に冷間加工後の加熱に際しての再結晶を考ふるに恐らく冷間加工の経過の正反對の経過をとるものなる可し、即ち歪の除去に引き續き再結晶をなす可く従つて六方晶系の如き場合は部分に依り再結晶速度異なる可し、又其機構明らかならざるも或程度以上の冷間加工を受けたるものに在りては其歪流線の消失は 300°C 以上に在り。

以下本編並に次編に於て研究せるマグネシウム合金の冷間加工並に其後の加熱に際し生ずる現象中アルミニウム合金等に比し特異なりと考へらるる諸點に就き二三の説明をなす可し。

1) マグネシウム合金の壓延可能の範圍が壓延溫度(常溫及高溫)に於ける單一固溶體に略々限定せらるゝ事。

單一固溶體マグネシウム合金と雖も其加工頗る困難なるを以て第2相の出現し居るものは迂り或は廻轉を阻止せらるゝ事益々大なるが故に一層其加工困難となるものなる可し。

2) 單一固溶體マグネシウム合金と雖も冷間壓延し難く最大 10% 程度の冷間加工をなし得るに過ぎず、又冷間加工の経過は先づ主として双晶或は結晶の移動を起したる後始めて迂りを生ず。

此理は上述の理に依り容易に首肯し得可し。

1) H. J. Gough and H. L. Cox, Proc. Royal Soc. London. A. 123. (1929) p 143 Mark, Polanyi: and Schmid, Z. Physik. Vol. 12 (1922) p 58 Mathewson and Phillips: Am. Inst. Min. Met. Eng. Paper No. 1623 E. Feb. 1927 Roming: Am. Inst. Min. Met. Eng. Feb. 1927 Wilson and Hoyt. Am. Inst. Min. Met. Eng. Tech. Pub. No. 25 Sept 1927.

3) 最大限度の冷間加工を受けたる後の顯微鏡的組織を見るに結晶粒界は比較的明瞭にして一見恰も焼鈍組織の如く又之をX線寫眞に依り見るも星條を呈せず唯環狀を呈し歪は存在するも極めて小なる事。

此理は Mg 合金の加工に依る硬化が局部に限られ全體に均等に分布せざるが故に局部的歪が破斷の原因となり全體としては比較的完全に近き粒形を保つに依るなる可し。

4) Mg 合金は冷間加工に依り抗張力の増大少く硬度著しく増大し伸及斷面收縮の減少甚し。

此理は 3) と同様にして局部硬化或は脆化故全體としての強化とならざるに依るなる可し。

5) マグネシウムと固溶體を作る合金中マグネシウムと同結晶系なる亜鉛カドミウムを添加せしものは比較的加工し難く立方晶系なるアルミニウムを添加せるものは加工し易し、又焼鈍後の電氣抵抗を見るに純マグネシウム及亜鉛 2% 合金は其數値小にして兩者の差少きにアルミニウム 4% 合金の抵抗は著しく大なり、又冷間加工後の加熱に際しての電氣抵抗の變化も純マグネシウム及亜鉛 2% 合金は折點多き變化をなすにアルミニウム含有合金は比較的圓滑なる變化をなす。

此理は明瞭ならざるも加工せられ難き六方晶系に屬する金屬を互に合せたる合金に比し加工せられ易き立方晶系金屬を添加せし合金は其空間格子歪の關係上加工し易くなるにあらざるか。

6) 冷間加工後の加熱の際の顯微鏡的組織の變化を見るに約 300°C 以後に於て始めて加工歪流線消失す、(加工歪流線中には双晶を多分に含むものゝ如し) 之に相應して電氣抵抗の急激なる低下あり、(Al=4% 合金の電氣抵抗は 300°C 附近に

大なる變化無きは實は減少の程度が結晶粒の發達に依る抵抗増加と同程度にして相殺すると考ふるを適當とす)。

又後述の如く 300°C 壓延と 400°C 壓延とに依り其機械的性質著しく差異ありて Mg 合金としてはなる可く 300°C 壓延をなす可き事。

加工歪流線の消失に 300°C 以上の加熱を要する原因不明なるも爾地の現象は總て此加工歪流線の消失に依り説明し得べし、即ち電氣抵抗の減少は歪の消失を意味す、又 300°C 壓延か 400°C 壓延に比し有利なる加工歪流線に依る歪を抗力として現出する爲なる可し、唯それか伸及斷面收縮に大なる影響無きは歪流線の本質不明故説明し難し。

7) Mg 合金中比較的加工し易き Al 含有合金と雖も冷間加工後に於ても亦焼鈍状態に於ても其壓延方向と之に直角方向とは其硬度を異にす。

此理も亦本合金の結晶構造上容易に説明し得らる可し。

第4編 アルミニウムを含む事多き マグネシウム合金の研究

第1章 總 說

1) 優良合金の選定

第3編迄の研究に依り得たる處を綜合するに各種合金は次の特性を有するが如し。

事 項	合金名	純 Mg	Zn=2% Mg=殘	Al=4% Mg=殘
10%冷間壓延の儘	ブリネル硬度	43	53	75
	抗張力 kg/mm^2	20	23(5%冷間加工)	23
	伸 %	2	2	2
300°Cにて焼鈍後	ブリネル硬度	32	36	48
	抗張力 kg/mm^2	18	20	23
	伸 %	5	16	22
鑄塊法		容易	困難	容易
壓延		容易	幾分困難	容易

冷間加工性	不充分	不充分	比較的大
酸洗	容易	困難	容易
風雨に對する耐蝕性	小	小	大
海水に對する耐蝕性	小	大	小
比	重	最小	比較的大
			比較的小

本表を吟味せば自ら明らかなるが如く純 *Mg* は其抗力の小なる點よりするも又伸の小なる點より考ふるも抗力を要する部分には工業的材料となす價值少し。

又亜鉛含有合金は鑄塊法に稍々困難ありて健全なる鑄塊を得難く爲めに壓延に際し廢品率大なるが如し従つて品質亦均等となり難し、然かも酸洗に際し特別の注意を要する等種々の缺點あり。

之に反しアルミニウム含有合金は何れの點より見るも最も優秀なる性質を有す、唯海水に對しては發錆し易き缺點を有するのみ。

斯く考慮する時 *Mg* 合金中壓延加工して板となすに最も實用價值大なる合金はアルミニウムを添加せし合金なるを知り得べし。

2) アルミニウムを含む事多きマグネシウム合金に就ての考察

Mg-Al 合金中壓延して板となし得る成分は *Al* 含量 7% 以下なるか如く、組織より考ふれば壓延溫度に於て單相の固溶體なる範圍の如し、依つて焼入焼戻等の熱處理により金質を改善し得ざる範圍にあり。

Mg-Al 合金中冷間加工をなし得るものは *Al* = 5% 以下なるが如く組織より考ふれば常溫に於ける單一固溶體の範圍の如し、然かも其冷間加工度は最大 10% 程度なり、尙冷間加工に依り合金の抗張力の増大する事少く伸及斷面收縮を著しく減少し硬度を著しく増大す、故に此種合金に冷間加工をなすはなる可く避く可きものなり、即ち此種合金は冷間加工に依る抗力の改善を期し得ず。

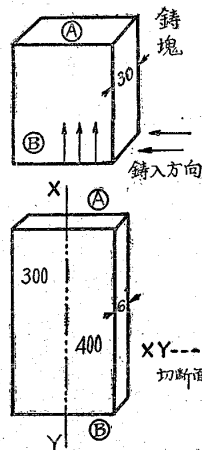
従つて *Mg* 合金板をして強力ならしむる方法は熱處理にも望み無く冷間加工にも望みなし、唯固溶體に可及的複雑なる成分を與え以て其程度を増進するの途あるのみ。

以下此考に基き *Mg-Al* 合金板の工業的加工を容易ならしむる方法及之を更に強力ならしむる方法に關し研究せんとす。

第2章 壓延溫度に關する一考察

加工歪流線の消失が 300°C 以上に在るを知れるを以て以下 300°C 壓延と 400°C 壓延とか合金の性質に及す影響に就き研究せり。

Mg-Al 合金 (*Al* = 4%) にて厚 30 mm の鑄塊を作り之を 30~6 mm 迄は 380~400°C にて



熱間壓延し 6 mm となりたる時板を左圖の如く切半す、即ち鑄塊は B より底注し A に向つて湯を上昇せしめたるものなる故 6 mm 板となりたる時 XY にて切斷せり、之に依り鑄塊の凝離等に基く成分の不均一性を切斷 2 片 (300

及 400) に等しく公平に分離せしめたるなり、次に板 300 は 6~2.1 mm 迄 300°C にて壓延 2.1~2.0 mm 迄冷間壓延せり、板 400 は 6~2.1 mm 迄を 380~400°C にて 2.1~2.0 mm 迄は冷間壓延せり、結局板 300 及 400 共に 5% の冷間壓延をなしたるものとす、前記の如く 30~6 mm を 400~380°C にて壓延せし所以は鑄塊壓延に當り始めは單に成形と均一化とにあるを以てなる可く壓延容易なる溫度をとりたるものなり、即ち此間に於て例へ高温壓延の爲めに粒の粗大となる事あるとも 6 mm 以後に於て適當なる粒

熱間 壓延 温度 符 號	ア リ ネ ル 硬 度 ° C (30分間)	300°C										400°C											
		5% 冷間壓延の儘					加 熱					5% 冷間壓延の儘					加 熱						
		平均					總平均 (A)					平均					總平均 (B)						
		A—B					後					A—B					後						
100	平行	64.1	65.1	64.1	64.5	67.0	63.6	63.1	63.1	63.3	65.9	59.1	57.9	58.7	58.6	60.5	56.7	57.4	57.5	57.4	57.4	59.0	1.5
130	直角	70.1	70.1	68.6	69.6	69.1	68.8	68.6	68.6	68.6	65.4	63.6	60.3	63.6	62.5	60.3	60.3	60.7	60.7	60.7	60.7	60.6	2.8
155	"	64.6	65.1	64.6	64.8	67.6	63.1	63.1	63.1	63.1	65.4	57.1	57.9	57.4	60.0	55.9	55.9	56.7	56.7	56.7	56.2	57.2	3.4
170	"	70.7	70.1	70.7	70.5	63.1	63.1	67.1	67.8	67.8	63.8	62.1	62.1	63.6	62.6	60.4	55.1	53.9	54.3	54.3	54.4	56.6	4.0
190	"	65.1	64.6	66.6	65.4	67.8	61.1	61.6	61.9	61.9	63.8	59.6	59.1	59.2	61.6	59.1	58.7	58.7	58.7	58.7	58.8	56.6	5.8
220	"	70.7	70.7	69.6	70.3	65.6	65.1	66.6	65.8	65.8	60.3	61.1	62.6	61.1	61.6	60.0	53.9	55.1	54.7	54.7	54.6	56.0	10.3
250	"	63.6	64.6	63.6	63.9	67.2	60.3	59.9	60.0	62.3	4.9	58.3	58.7	58.3	58.4	60.0	57.1	57.5	57.5	57.5	57.4	54.3	4.0
285	"	70.1	69.1	69.6	69.6	66.9	57.1	56.3	66.9	57.0	10.3	57.5	58.7	58.3	61.9	60.1	52.7	53.5	53.5	53.5	53.2	54.3	5.8
315	"	63.1	62.1	64.1	63.1	66.2	50.4	50.7	50.4	50.4	51.3	58.3	59.9	59.5	59.2	59.9	48.5	47.9	48.8	48.4	49.6	49.6	10.3
355	"	69.6	68.1	70.1	69.3	52.1	52.1	52.7	52.3	52.3	14.9	60.3	60.3	61.1	60.6	59.9	49.8	50.4	52.4	50.9	49.6	49.6	15.1
400	"	64.6	62.6	64.1	63.8	66.6	48.2	47.6	48.7	48.5	18.0	59.5	57.9	59.1	58.8	60.8	44.6	44.3	44.3	44.4	45.7	45.7	15.1
	"	69.1	69.6	69.6	69.4	49.1	49.4	47.0	48.5	48.5	47.2	63.1	62.1	63.1	62.8	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	14.5
	"	62.1	64.1	63.1	63.1	65.8	45.8	46.1	45.8	45.9	18.6	59.1	59.1	58.3	58.8	60.0	44.0	44.3	44.6	44.3	45.5	45.5	14.5
	"	67.6	69.1	69.1	68.6	47.6	49.1	48.8	48.5	48.5	46.7	61.6	61.6	60.7	61.3	45.5	45.5	46.7	48.2	46.8	46.0	46.0	14.5
	"	62.6	63.1	63.6	63.1	65.9	45.8	45.5	44.9	45.4	19.2	58.3	57.9	57.5	57.9	59.8	44.6	45.5	43.7	44.6	45.3	45.3	14.5
	"	68.6	68.1	69.6	63.8	47.0	48.2	48.8	48.0	48.0	22.7	62.1	60.3	52.6	61.7	45.2	45.2	46.7	46.1	46.0	46.0	46.0	17.0
	"	64.1	64.6	63.1	63.9	66.4	44.3	42.3	41.1	42.6	43.7	59.1	57.9	57.1	58.4	59.8	42.6	41.7	42.6	42.3	42.8	42.8	17.0
	"	63.1	69.1	69.6	68.9	44.6	44.9	45.2	44.9	44.9	43.7	61.6	60.3	61.6	61.2	60.0	43.0	43.7	43.4	43.4	43.4	43.4	17.0
	"	63.6	63.1	66.6	64.4	67.0	43.0	43.4	42.6	43.0	43.3	57.1	58.9	59.1	58.0	60.0	40.9	41.7	41.4	41.4	41.5	41.5	18.5
	"	69.6	69.6	69.6	69.6	43.2	43.4	44.6	43.7	43.7	43.3	62.1	63.6	60.7	62.1	41.7	41.7	42.3	41.4	41.4	41.4	41.4	18.5

となし得ると考へたる爲めなり。

要之に斯の如き方法に依り略々均一なる成分を有する板を一方は 300°C にて他方は 400°C にて粒を齊一化せしめ最後に 5% の冷間壓延を加へたるものなり。

兩板につき研究の結果次の如し。

1) 加熱に依る硬度の變化

硬度の測定はヴァイカーズ・ダイヤモンド硬度計に依り、而して其壓痕なる方形の對角線か壓延方向に直角或は平行となるか如く測定し其兩對角線の長さを別々に測定し之に相當するブリネル硬度を求め以て壓延方向及之に直角なる方向に於ける硬度を表示せり。

上表に於て冷間壓延の儘の硬度として番號 13 は 67, 番號 14 は 60.5 を採用す、而して此硬度より夫々 (A—B) を引き去りたる

數値と加熱溫度との關係を曲線とせしものは附圖第 18 の如し。

尙加熱後壓延方向と之に直角方角とのプリネル硬度差を曲線とせしものは附圖第 24 の如し。

附圖第 18 を見るに冷間壓延後の加熱に依る硬度の變化曲線は 300°C にて壓延せしものも 400°C にて壓延せしものも略々同形なり、唯其數値は 300°C 壓延の方幾分大なり、之既に述べたる加工歪流線に基因するものなる可し、又兩曲線の 300°C 以上に於ける硬度の減退も亦加工歪流線の消失に基因す可し。

2) 加熱に依る抗張性の變化

加熱溫度°C (30分間)	熱間壓延溫度					
	300°C			400°C		
	符號 13			符號 14		
	抗張力 kg/mm ²	伸 %	斷面收 縮 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	斷面收 縮 %
5% 冷間 壓延の儘	28.2	2	6.7	27.5	4	10.4
100	27.0	4	7.4	27.0	4	14.3
150	23.5	7	10.4	25.0	10	20.0
175	24.8	7	9.0	25.0	12	12.6
200	23.2	12	16.3	24.5	16	22.0
225	24.0	18	20.0	25.0	15	22.0
250	23.3	16	17.0	23.5	18	21.6
300	23.0	17	22.5	21.0	16	20.3
350	23.0	18	22.5	20.0	16	20.0
400	22.6	17	24.0	23.3(?)	20(?)	20.5

本表を曲線とせしものは附圖第 19 a, b の如し、冷間壓延後の加熱に依る抗張力の變化は 300°C 壓延のものは 150°C 以上は略々一定となり 400°C 壓延のものは一度 150~250°C にて一定となりたる後再び急に低下し 300°C 以上に於て再び略々一定となる、今燒鈍溫度として 300°C 附近を採用するとせば 400°C 壓延のものは 300°C 壓延のものに比し 2~3 kg/mm² 弱し、即ち抗張力より考へて 300°C 壓延を可とす。

又伸及斷面收縮の變化を見るに 400°C 壓延の

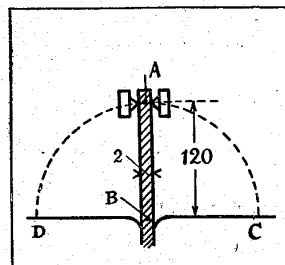
方が比較的低温にて冷間加工の影響を除かるゝが如きも約 300°C に於ては却つて 300°C 壓延の方良好なり、即ち伸及斷面收縮の點より考ふるも 300°C 壓延を可とす。

要之に抗張性の點より考ふれば 300°C 壓延を可とす、之恐らくは既述の加工歪流線に基因するものなる可し。

3) 加熱に依る繰り返し屈曲回数の變化

幅 8 mm, 厚 2 mm, の試片を附圖第 20c の如

附圖第 20c



く其一端 B を固定し他端 A を握みとして A を先づ C 方向に 90° 屈曲し之を A に復せしめ更に D 迄屈曲せしむ、是を繰り返し B 端の破

斷するに到る回数を測定す、但し回数單位は A C A 即ち 90° 屈曲を 1 回とす、試験の結果次の如し。

熱間壓延溫度	繰り返し屈曲回数		
	300°C	400°C	300°C
	符號 13	符號 14	純アルミニウム (1)
加工の儘	1	2	12
100	1½	2¾	13
150	1½	2	13
175	2	3	12
200	2	2½	12
225	2⅔	2⅔	14
250	2½	5	16
300	2⅔	4	18
350	2½	3⅓	33
400	2	3½	32

本表を曲線とせしものは附圖第 20 a の如し、破斷迄の屈曲回数は 400°C 壓延の方幾分大なり、

1) 参考として純アルミニウムに就き同様の事をなせり之を曲線とせしものは附圖第 20b の如し、本圖より見るにマグネシウム合金中比較的屈曲性大なるものと雖も純アルミニウムに比しては極めて屈曲性小なるを知り得べし。

之恐らく加工歪流線に基因す可し。

4) 破 面

板 300 及 400 の破面は寫眞圖第 27 の如し、400°C 壓延の方粒の大なる事を明瞭に示す。

5) 總 括

以上諸性質の變化より考察するに 400°C 壓延に比し 300°C 壓延のものの方良好なり即ち硬度、抗張力、伸、断面收縮に於て優り屈曲性に於て僅かに劣る、之恐らく加工歪流線か 300°C に於ては尙残留する爲なる可し、今此點につき考ふるにマグネシウム合金は一般に熱間壓延を要するを以て材料の均一化は遂行し得るも結晶粒の微細化は之をなし得ず、換言せば加工に依り抗力の増大は原則上不可能なり、然るに此處に幸とも云ふ可きは此加工歪流線が頑強に残留し 300°C 以上に於て始めて除去せらるる事にして然かも其加工歪流線は伸、断面收縮等に悪影響を及す事なく唯屈曲性のみ幾分悪影響を及す事にして或意味に於て此加工歪流線の消失温度は再結晶温度に似たり、マグネシウム合金は此點を巧妙に利用する事に依り多少の抗力の改善をなし得るものゝ如く合金の抗力を加工に依り増大せしむる唯一の方法と考へ得らる可し。

第 3 章 焼鈍温度に関する一考察

結晶の異常發達

焼鈍温度に關しては既に述べたるが如く略々 300°C を適當と認めたり、實際工業的加工を考ふるに仕上げに當り板全面に常に同一の冷間加工をなす事は困難なるを以て部分に依り相異なる冷間加工を受け居るものと考へざる可らず、斯の如き状態に於ては或る部分に結晶の異常發達をなす事屢々あり、今此事實を確む可く次の實驗を行ふ。

牽引試片を冷間にて牽引破斷する事に依り各部に相異なる冷間加工を施したるものを試料とす、之を各温度に加熱し硬度の變化を見たり、材料は $Al=4\%$ の $Mg-Al$ 合金の 2mm 板より牽引試片を採取し之を 400°C にて 1 時間焼鈍し加工歪流線を完全に除去せるものとす。

牽引試片 (厚 2mm、幅 15mm、標點 50mm) を牽引破斷後破斷部より 10mm 毎に區劃を作り其各區劃内の断面收縮を測定し其部の冷間加工度となす事附圖第 21 の如し。

1) 連続加熱に依る硬度の變化

上記試片を各温度に 30 分間宛加熱を繰返し加熱毎に其硬度を測定せる結果次の如し。

本表を曲線とせしものは附圖第 21 の如し、同圖より次の事を知る。

(イ) 冷間加工を受けたるものは加熱に依り硬度を減少す、而して大なる加工を受けしもの程同一加熱温度に依る硬度の減少大なり。

(ロ) 300°C の加熱に依り加工度の如何に關せず略々牽引前の硬度即ち焼鈍状態の硬度に復歸す。

(ハ) 爾後 350°C 及 400°C の加熱に依り冷間加工度低き部位は特に軟化し焼鈍状態の硬度よりも却つて軟化す、此異常軟化部に就き顯微鏡的組織を驗したるものは寫眞圖第 28~30 の如くにして冷間加工度低き部位は他部に比し 400°C の加熱に依り結晶粒著しく發達せるを知れり。

2) 400°C にて 1 回加熱せる時

前述實驗は冷間加工後連續加熱せるものなるも 400°C にて 1 回加熱せるのみにては斯の如き結晶粒の異常發達ありや否やを驗せり。

寫眞圖第 31 及 32 は 400°C 1 回加熱後の結

冷間加工度% 符號	?	約10.4	14.4	16.6	19.3	24.6	27.4	
	A	B	C	D	E	F	G	
牽引破 斷の儘	43.0	43.0	45.8 47.6	50.4 55.1	55.1 55.5	55.5 59.9	57.1 58.7	57.1 59.9
	44.0	43.4	45.5 45.5	51.1 53.5	55.1 57.5	55.9 57.5	57.5 58.7	57.9 62.1
	43.0	44.0	44.0 45.5	48.8 52.7	55.1 55.5	55.1 59.5	55.1 57.1	58.7 59.9
	42.8	40.9	43.7 46.1	50.1 53.9	56.3 56.7	55.5 57.5	56.3 59.5	59.5 60.3
	42.8	42.8	46.4 49.4	52.7 55.1	55.5 57.1	55.1 59.5	55.9 59.5	56.3 57.5
平均	43.1 42.8 43.0	44.9 47.2 46.1	50.6 54.1 52.4	55.4 56.5 56.0	55.4 58.8 57.1	56.4 58.7 57.6	57.9 60.0 59.0	
100°C 加熱後	42.3	42.0	44.3 44.6	50.4 52.1	53.6 55.1	54.3 53.9	53.1 59.9	55.1 59.9
	40.3	42.8	44.3 46.4	49.1 52.7	52.4 56.7	53.9 56.3	55.1 56.7	57.5 62.1
	43.7	45.5	45.8 47.6	49.1 52.7	53.9 57.1	55.9 57.1	54.3 57.1	55.1 59.5
平均	42.1 43.4 42.8	45.8 46.2 46.0	49.5 52.5 51.0	53.4 56.3 54.7	54.7 55.8 55.3	54.2 57.9 56.1	55.9 60.5 58.2	
150°C 加熱後	42.8	44.9	45.8 45.8	49.4 51.5	53.9 55.1	54.3 54.7	54.3 55.9	55.9 57.9
	40.1	45.8	43.2 45.2	49.8 51.5	52.7 54.7	53.1 55.5	53.5 57.1	53.1 57.1
	43.0	43.2	43.2 48.2	48.8 52.7	51.1 55.5	51.8 55.9	53.1 58.7	54.7 57.1
平均	41.9 44.6 43.3	44.1 46.4 45.3	49.3 51.9 50.6	52.6 55.1 53.8	53.1 55.4 54.3	53.9 57.2 55.5	54.6 57.4 56.0	
170°C 加熱後	42.6	42.8	43.7 46.1	46.7 49.4	51.1 53.5	51.1 53.9	53.1 54.3	53.5 55.1
	43.0	41.7	44.3 45.8	45.5 48.5	51.8 53.5	51.8 54.3	53.1 57.5	55.5 56.7
	43.4	40.9	43.2 44.3	44.6 48.8	51.5 52.7	52.1 53.9	54.3 56.7	53.1 54.3
平均	43.0 41.8 42.4	43.7 45.4 44.6	45.6 48.9 47.3	51.4 53.2 52.3	51.7 54.0 52.9	53.5 56.2 54.8	54.0 55.4 54.7	
200°C 加熱後	43.2	42.8	42.0 43.4	45.8 46.7	51.5 51.1	51.8 52.1	51.5 53.1	52.1 52.7
	39.5	41.7	38.7 44.3	44.6 50.1	50.7 52.7	49.1 51.5	50.4 52.4	51.5 53.1
	40.7	40.7	41.1 42.8	46.4 47.9	48.8 51.5	52.4 53.5	50.1 51.1	52.1 53.9
平均	41.1 41.7 41.4	40.6 43.5 42.1	45.6 48.2 47.0	50.3 51.8 51.1	51.1 52.4 51.8	50.7 52.2 51.5	51.9 53.2 52.6	
220°C 加熱後	42.3	43.4	43.4 45.8	47.6 49.8	51.1 50.7	48.5 52.7	49.1 51.1	50.1 53.1
	42.0	40.9	45.2 48.2	47.3 49.4	50.1 49.8	49.8 51.8	50.1 51.5	51.8 52.7
	43.4	43.4	44.0 45.8	49.4 50.7	50.7 51.5	50.1 51.8	51.8 52.4	50.4 52.1
平均	42.6 42.6 42.9	44.2 46.6 45.4	48.1 50.0 49.1	50.6 50.7 50.7	49.5 52.1 50.8	50.3 51.7 51.0	50.8 52.6 51.7	
250°C 加熱後	42.6	43.7	44.0 46.4	44.6 46.1	45.8 45.8	45.8 46.4	46.4 46.4	48.2 45.5
	42.0	42.3	44.6 45.8	47.6 45.2	45.5 47.3	46.7 47.0	44.3 45.8	47.3 46.1
	42.3	43.7	44.0 45.2	45.2 46.7	47.3 47.9	45.5 46.1	47.3 46.4	45.8 49.1
平均	42.3 43.2 42.8	44.2 45.8 45.0	45.8 46.0 45.9	46.2 47.0 46.6	46.0 46.5 46.3	46.0 46.2 46.1	47.1 46.9 47.0	
300°C 加熱後	42.3	42.0	41.1 43.2	40.5 43.2	44.6 40.9	41.7 43.0	44.0 40.9	43.4 43.4
	42.3	43.0	43.2 43.7	42.6 38.9	42.8 39.8	45.2 40.5	43.0 39.8	43.2 42.3
	39.8	43.0	42.6 42.3	39.8 43.0	43.2 40.5	43.0 42.3	44.0 40.5	44.6 42.3
平均	41.5 42.7 42.1	42.3 43.1 42.7	41.0 41.7 41.4	43.5 40.4 42.0	43.3 41.9 42.6	43.7 40.4 42.1	43.7 42.7 43.2	
350°C 加熱後	42.6	43.0	40.9 45.2	38.9 38.5	40.9 39.1	42.6 37.9	42.6 40.7	42.3 39.1
	43.0	44.0	41.4 43.4	40.9 40.1	41.1 39.1	41.7 38.7	42.6 41.7	42.6 39.5
	40.7	43.7	43.0 40.7	39.1 33.9	42.3 38.7	42.8 39.5	42.0 39.5	43.7 42.8
平均	42.1 43.6 42.9	41.8 43.1 42.5	39.6 39.2 39.4	4.14 39.0 40.2	42.4 38.7 40.6	42.4 40.6 41.5	43.0 40.5 41.8	
400°C 加熱後	43.0	43.2	34.8 39.1	37.6 40.7	35.6 41.1	43.0 37.9	42.8 38.9	41.7 39.3
	39.1	43.7	37.6 44.0	37.6 43.0	39.3 38.1	39.5 39.3	40.9 38.9	43.0 38.1
	42.0	42.0	34.8 37.9	38.1 38.9	38.3 40.1	41.4 36.4	40.5 40.5	44.9 38.1
平均	41.4 43.0 42.2	35.7 40.3 38.0	37.8 40.9 39.4	37.7 39.8 38.8	41.3 37.9 39.6	41.4 39.4 40.4	43.2 38.5 40.9	

1) 硬度中左方は壓延方向に平行 右方は壓延方向に直角

加 熱 温 度 (30分間)°C	番 號 2 Mn=0.5% Al=4% Mg=殘										番 號 3 Be=0.3% Al=4% Mg=殘										
	ブ リ ネ ル 硬 度					ブ リ ネ ル 硬 度					ブ リ ネ ル 硬 度					ブ リ ネ ル 硬 度					
	5% 冷間 壓延の儘		加 熱		A-B	5% 冷間 壓延の儘		加 熱		A-B	5% 冷間 壓延の儘		加 熱		A-B	5% 冷間 壓延の儘		加 熱		A-B	
平均	總平均 (A)	平均	總平均 (B)	後	平均	總平均 (A)	平均	總平均 (B)	後	平均	總平均 (A)	平均	總平均 (B)	後	平均	總平均 (A)	平均	總平均 (B)	後		
100	平行	66.6 68.6 67.6	67.5	70.6	62.6 63.1 64.1	63.5	67.5	3.0	66.1 65.1 65.1	65.4	68.0	65.1	64.6	65.1	65.1	68.0	65.1	64.6	65.1	67.8	
	直角	72.4 74.8 73.0 74.2 73.0	73.5	71.3	71.3 71.3	71.5	71.8	71.3	70.7	70.7	70.7	71.3	70.1	70.1	70.5	70.7	70.1	70.1	70.1	70.5	0.2
130	平行	66.6 66.6 68.1	66.6	70.6	62.6 62.6 61.6	62.2	66.6	4.0	63.6 65.1 64.1	64.3	67.5	63.7	63.1	63.7	63.7	66.8	63.1	63.6	63.1	63.7	0.7
	直角	77.2 74.2 74.2 73.6 73.6	74.6	71.3	71.3 69.1 72.4	71.0	72.4	71.3	70.7	70.7	70.7	69.6	69.6	69.1	70.0	69.6	69.6	69.1	69.1	70.0	
155	平行	66.6 66.1 64.1	66.2	69.8	63.1 61.1 62.6	61.8	65.6	4.2	63.6 64.1 65.6	64.4	66.9	63.3	63.6	63.3	63.3	66.9	63.1	63.6	62.6	63.3	1.2
	直角	74.8 73.6 71.8 73.6 73.0	73.4	69.8	61.1 61.1	69.3	69.1	69.1	69.1	69.4	69.4	68.1	68.6	67.6	68.1	68.1	68.6	68.6	67.6	68.1	
170	平行	65.1 67.6 66.6	66.8	69.6	62.6 62.1 62.6	62.5	65.7	4.1	64.6 65.3 66.1	65.3	68.0	61.9	61.6	61.9	61.9	68.0	63.1	61.1	61.6	61.9	4.0
	直角	73.0 71.3 71.3 74.2 72.4	72.4	69.6	68.6 68.6 68.6	68.8	68.8	68.6	67.1	70.7	70.7	65.9	65.1	66.6	65.9	68.0	66.1	65.1	66.6	65.9	
190	平行	66.1 66.1 66.6	66.8	70.3	61.1 60.3 60.3	60.5	64.2	6.1	66.1 65.1 66.1	65.8	68.9	60.8	61.1	60.8	60.8	68.9	61.1	60.3	61.1	60.8	5.8
	直角	68.6 66.6 74.2 73.0 72.4 74.2 75.4	73.8	70.3	61.1 59.9	67.8	68.1	68.1	66.6	72.0	72.0	65.9	65.6	65.1	65.4	68.9	65.6	65.6	65.1	65.4	
220	平行	66.1 65.1 66.1	65.7	69.9	58.7 58.7 59.9	58.9	61.2	8.7	65.1 65.6 67.1	65.9	69.0	59.0	59.1	58.7	59.0	69.0	59.1	59.1	58.7	59.0	8.9
	直角	73.0 74.8 73.6 74.8	74.0	69.9	57.9 59.5	63.5	64.1	63.6	63.1	72.2	72.2	61.1	61.6	61.1	61.3	69.0	61.1	61.6	61.1	61.3	
250	平行	65.1 65.6 66.1	65.8	69.3	55.9 56.7 55.9	56.1	58.0	11.3	64.1 64.1 63.6	63.9	67.6	53.5	52.7	54.3	53.5	67.6	53.5	52.7	54.3	53.5	12.9
	直角	66.6 65.6 73.6 73.0 70.1 74.2 73.2	72.7	69.3	55.9 55.9	59.8	59.5	60.7	59.9	71.3	71.3	55.1	55.9	56.7	55.9	67.6	55.1	55.9	56.7	55.9	
285	平行	65.6 67.1 66.6	66.3	69.9	54.3 53.5 54.7	54.3	56.2	13.7	64.1 64.1 64.1	64.1	67.1	51.6	52.1	51.5	51.6	67.1	51.6	52.1	51.5	51.6	14.3
	直角	65.6 66.6 73.0 74.2 71.8 74.2 74.2	73.5	69.9	58.7 57.9 57.9	58.1	58.1	57.9	57.9	70.1	70.1	52.4	52.7	53.9	53.5	67.1	52.4	52.7	53.9	53.5	
315	平行	67.1 67.1 67.1	66.8	70.3	52.1 52.1 51.5	51.8	54.0	16.3	64.6 64.1 64.1	64.3	68.1	51.0	51.5	50.7	51.0	68.1	50.7	51.5	50.7	51.0	16.1
	直角	67.1 65.6 74.8 73.0 73.6 74.2 73.0	73.7	70.3	51.8 51.5	56.2	56.7	56.7	56.3	72.0	72.0	52.4	52.7	54.3	53.1	68.1	52.4	52.7	54.3	53.1	
355	平行	66.1 66.1 65.1	65.9	69.6	50.4 50.7 51.8	50.9	52.8	16.8	64.1 64.1 64.1	64.1	67.7	49.4	49.1	49.1	49.2	67.7	49.4	49.1	49.1	49.2	17.7
	直角	66.1 65.6 74.8 71.8 72.4 73.6	73.2	69.6	54.3 54.7 54.3	54.6	54.6	54.3	55.5	71.3	71.3	46.1	46.4	47.0	46.5	67.7	46.1	46.4	47.0	46.5	
400	平行	64.6 65.1 65.1	65.1	69.0	50.7 47.9 48.8	49.1	50.5	18.5	65.6 64.1 63.6	64.4	68.0	48.2	48.2	48.2	48.8	68.0	46.1	46.4	47.0	46.5	20.2
	直角	65.1 65.6 74.2 71.3 72.4 73.0 73.0	72.8	69.0	51.5 53.1 51.1	51.9	51.9	51.1	52.4	71.6	71.6	48.2	50.1	48.2	48.8	68.0	48.2	50.1	48.2	48.8	

加 熱 温 度 (30分間)°C	番 號 4 $Cd=1\%$ $Al=4\%$ $Mg=殘$										番 號 5 $Zn=1\%$ $Al=4\%$ $Mg=殘$									
	ブ リ ネ ル 硬 度					5% 冷 間 壓 延 の 儘					加 熱 後					ブ リ ネ ル 硬 度				
	壓 延 方 向 に		平 均	總 平 均 (A)	平 均	總 平 均 (B)	A-B		加 熱 後		5% 冷 間 壓 延 の 儘		加 熱 後		A-B					
100	平 行	68.6	68.1	67.6	68.6	67.6	66.6	67.6	70.7	0.4	68.6	67.6	66.6	67.6	70.7	0.4				
	直 角	74.2	73.6	74.8	74.2	73.0	73.8	73.8	73.8		74.2	74.2	73.0	73.8	73.8					
130	平 行	67.6	66.6	67.6	67.3	65.7	65.1	65.7	58.7	1.3	66.6	65.6	65.1	65.7	58.7	1.3				
	直 角	74.2	71.8	75.4	73.8	71.8	72.4	71.8	71.8		71.3	71.8	72.4	71.8	71.8					
155	平 行	66.6	67.1	68.1	67.3	68.9	68.6	68.9	66.2	3.6	64.6	63.1	63.1	63.6	66.2	3.6				
	直 角	73.0	72.4	71.8	72.4	66.4	66.4	66.4	65.0	5.4	62.6	63.1	62.6	62.8	65.0	5.4				
170	平 行	67.1	68.1	67.1	67.4	67.4	68.1	67.3	62.1	7.9	67.1	66.6	68.1	67.3	62.1	7.9				
	直 角	74.8	74.2	74.2	74.4	64.6	64.6	64.4	57.1	11.6	59.9	59.9	59.5	59.8	62.1	11.6				
190	平 行	64.1	66.6	67.6	66.1	54.3	54.3	54.8	54.3	16.3	67.1	63.6	64.1	64.4	57.1	16.3				
	直 角	73.6	73.6	73.6	73.4	59.9	58.7	59.5	59.4		64.6	64.6	64.1	64.4	59.4					
220	平 行	66.1	65.6	65.1	65.6	53.9	52.1	53.1	53.0	17.5	53.9	52.1	53.1	53.0	54.3	17.5				
	直 角	74.8	74.8	77.2	75.6	55.9	55.5	56.3	55.9		55.9	55.5	56.3	55.9	54.3					
250	平 行	66.6	66.6	68.1	67.1	69.9	69.9	69.9	52.4	17.8	52.1	49.4	50.1	49.6	52.1	17.8				
	直 角	73.6	71.8	73.0	72.8	55.1	54.3	52.4	53.9		55.1	54.3	52.4	53.9	52.4					
285	平 行	67.6	64.6	65.6	65.9	49.4	49.4	50.1	49.6	20.5	49.4	49.4	50.1	49.6	52.1	20.5				
	直 角	71.8	74.8	75.4	74.0	53.5	54.3	55.9	54.6		53.5	54.3	55.9	54.6	49.2					
315	平 行	66.6	66.1	67.6	66.6	50.4	50.1	51.8	50.8	23.2	46.1	47.6	46.4	46.7	47.8	23.2				
	直 角	71.8	73.6	72.4	72.6	46.1	47.6	46.4	46.7		46.1	47.6	46.4	46.7	47.8					
400	平 行	65.6	69.1	67.1	67.3	71.0	71.0	71.0	47.8		47.9	49.1	49.1	48.7	47.8					
	直 角	76.5	73.6	74.2	74.8	47.9	49.1	49.1	48.7		47.9	49.1	49.1	48.7	47.8					

晶粒の大きさを示すものなり。

本結果に依るも冷間加工を受けたものを 400°C にて加熱せば其加工度に依り結晶の異常發達をなす事前實驗の結果と同様なり。

3) 總括

以上(1)及(2)の實驗を綜合するに

(イ) マグネシウム合金は冷間加工後 300°C 附近にて加熱せば加工度の如何に關せず略々冷間加工に依る硬化を除去し得べし。

(ロ) 之に反し 300°C 以上にて加熱せば冷間加工度に依りては結晶粒の異常發達をなす事あり。

(ハ) 是等の事實は加工歪流線に基因するものなる可くマグネシウム合金の焼鈍溫度は約 300°C を標準となす可きを示すものなり。

第4章 第三元素が結晶粒の發達に及ぶ影響

マグネシウム—アルミニウム系合金に第三元素を添加し其結晶發達速度を小ならしめ以て加熱に依る抗力の低下を小ならしめんとす。

研究せし合金の成分次の如し。

番號	Al (%)	Zn (%)	Mn (%)	Cd (%)	Be (%)	Mg (%)
2	4	—	0.5	—	—	殘部
3	4	—	—	—	0.3	〃
4	4	—	—	1.0	—	〃
5	4	1.0	—	—	—	〃

壓延は鑄塊厚 30mm より 6mm 迄は 400~380°C, 6~2.1mm 迄は 300°C 熱間壓延とし 2.1~2.0mm 迄は冷間壓延とす、即ち 5%の冷間壓延をなしたる板とす。

1) 加熱に依る硬度の變化

上表に於て冷間壓延の儘の硬度として合金 2, 3, 4, 5, に對し夫々 70.5, 68, 71.1, 68.1, を採用す、而して此硬度より夫々 (A—B) を減じ

たる數値を各加熱溫度に於ける硬度として之を曲線とせしものは附圖第 22 及 23 の如し、又壓延方向と之に直角方向に於けるブリネル硬度差を曲線とせるものは附圖第 24c, d, e, f の如し。

附圖第 23 よりアルミニウム 4% 合金に第三元素の微量の添加に依り合金は全體として其硬度を上昇せしめ得る事を知り得べし。

又附圖第 22 に於て A_1 を再結晶開始溫度、 I_1 を再結晶終了溫度とせば次表の結果を得べし。

合金名	再結晶開始溫度 °C	再結晶終了溫度 °C
Al=4%	約 170	約 220
Mn=0.5% Al=4%	〃 170	〃 310
Be=0.3% Al=4%	〃 150	〃 250
Cd=1% Al=4%	〃 150	〃 250
Zn=1% Al=4%	〃 170	〃 220

本表を見るに Al=4% の合金に比し Mn=0.5% 合金は再結晶終了溫度著しく (約 90°) 高く Cd 及 Be 含有合金は極く僅かに (約 30°) 高く Zn 含有合金は殆んど差異無きが如し、再結晶終了溫度の上昇は恐らく結晶粒の發達速度の減少となる可し。

附圖第 24a, b, c, d, e, f を見るにマグネシウム合金板の硬度 (恐らく抗力) は壓延方向に依り異なるを知り得べし、然るに純アルミニウム¹⁾に於ては此事無し、之恐らくはマグネシウムの結晶構造に關するものなる可し。

本表を曲線とせるものは附圖第 25~28 の如し、次に本結果と附圖第 20 a, b に於ける 300°C 壓延の Al=4% 合金の結果と比較せば掲表の如し。

¹⁾ 次頁附表參照

純アルミニウム板 (3.0-2.1mm...400°C
2.1-2.0mm...冷間即ち5%)

ブリネル硬度

加熱温度 °C (30 分間)	5% 冷間壓延の儘	加 熱 後		A-B		
		平均	總平均 (B)			
100 壓向に	平行	49.1 50.4 51.8 51.8 51.3 51.0	50.9	{ 52.4 52.7 51.8 52.1 51.8 52.2 52.7 53.5 53.1 52.7 52.7 52.9	52.6	-1.7
	直角	48.2 51.1 51.1 51.8 51.5 50.7				
130 "	平行	51.1 51.1 51.8 51.1 50.7 51.2	51.8	{ 52.4 52.7 52.1 52.1 52.1 52.3 52.7 51.5 52.4 52.4 52.1 52.2	52.3	-0.5
	直角	51.8 52.1 51.8 51.5 51.8 51.8				
150 "	平行	54.7 55.5 55.5 55.1 56.7 55.5	53.7	{ 50.7 51.5 52.1 51.1 52.4 51.6 50.1 51.5 52.1 51.8 52.1 51.5	51.6	2.1
	直角	51.5 51.5 51.5 52.1 51.5 51.6				
170 "	平行	52.4 53.1 52.7 52.4 53.1 52.7	52.2	{ 53.5 54.3 52.7 52.7 51.8 53.0 51.5 50.7 59.1 51.1 50.7 50.6	51.8	0.4
	直角	51.5 50.7 51.5 51.5 51.5 51.3				
190 "	平行	51.5 51.1 51.1 51.5 51.5 51.3	51.3	{ 51.1 51.5 50.1 49.8 50.4 50.6 51.8 51.5 51.5 50.4 52.4 51.5	51.1	0.2
	直角	51.1 51.5 51.8 52.1 51.5 51.6				
220 "	平行	52.1 51.5 51.8 52.1 52.1 51.9	51.8	{ 51.5 51.1 51.5 51.1 50.4 51.1 51.8 51.5 50.7 51.1 50.7 51.2	51.2	0.6
	直角	51.5 49.4 49.4 50.7 51.1 50.4				
250 "	平行	51.1 50.4 50.4 51.8 51.5 51.1	50.8	{ 49.8 50.1 50.1 50.1 50.1 50.0 50.7 50.7 51.5 51.5 50.4 51.0	50.5	0.3
	直角	49.4 50.1 49.8 49.1 48.2 49.3				
280 "	平行	51.8 50.7 51.5 50.7 49.8 50.9	50.1	{ 48.5 48.5 48.2 48.2 49.8 48.6 49.1 48.2 48.5 47.3 48.2 48.3	48.5	1.6
	直角	50.1 50.4 50.4 51.5 51.5 50.8				
310 "	平行	53.1 53.5 51.1 51.5 51.5 52.1	51.5	{ 40.5 38.9 40.1 39.1 39.5 39.6 39.5 40.1 39.8 40.5 40.5 40.1	39.9	11.6
	直角	52.1 52.1 51.1 51.5 51.5 51.6				
350 "	平行	52.1 52.1 51.1 52.1 52.1 51.9	51.8	{ 29.0 29.3 29.1 29.3 29.0 29.1 29.3 29.4 29.3 29.0 29.1 29.2	29.2	22.6
	直角	51.5 51.5 52.1 52.1 52.7 52.0				
400 "	平行	51.5 51.5 51.8 51.1 51.8 51.5	51.8	{ 27.0 26.7 26.2 27.0 27.0 27.0 27.0 27.6	27.0	24.8
	直角					

2) 加熱に依る抗張性の變化

加熱温度 °C	Mn=0.5%	Al=4% (2)	Mg=殘	Be=0.3%	Al=4% (3)	Mg=殘
	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)
5% 冷間壓延の儘	27.5	2.0	6.6	29.0	2.0	なし
100	27.0	4.0	7.0	30.5	2.2	2.3
150	27.0	4.0	8.3	29.4	3.2	4.4
175	26.5	5.0	8.1	28.7	14.8	20.6
200	25.6	7.0	8.8	28.5	22.4	27.4
225	25.0	11.0	16.3	—	—	—
235	—	—	—	27.5	23.8	27.2
250	24.5	14.0	18.0	26.7	23.2	23.4
300	24.5	17.0	18.0	26.7	24.8	25.4
350	24.0	16.0	20.0	25.6	23.8	27.9
400	24.0	17.0	20.0	26.0	22.8	23.5

加熱温度 °C	Cd=1%	Al=4% (4)	Mg=殘	Zn=1%	Al=4% (5)	Mg=殘
	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)	抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%)	断面收縮 (%)
5% 冷間壓延の儘	29.0	3.0	7.0	27.5	6.0	15.7
100	27.5	2.4	6.3	27.0	4.0	2.0
150	26.0	2.0	1.3	27.0	5.0	4.3
175	29.4	15.2	18.6	27.0	7.0	10.0
200	27.2	20.8	25.6	26.5	12.0	12.0
225	—	—	—	25.5	14.0	16.0
235	27.1	23.0	26.6	—	—	—
250	26.2	23.8	27.6	24.5	16.0	23.0
300	24.6	17.0	18.0	24.5	20.0	20.6
350	25.3	15.0	18.8	24.2	18.4	25.6
400	25.2	22.8	23	23.8	19.0	20.0

性 質	合金の種類	加熱温度 °C				
		5%冷間 壓延の儘	250	280	300	350
抗 張 力 kg/mm ²	Al=4%	28	23	23	23	23
	Mn=0.5% Al=4%	28	25	25	24	24
	Be=0.3% Al=4%	30	27	27	27	26
	Cd=1% Al=4%	29	26	25	25	25
	Zn=1% Al=4%	28	25	25	25	24
伸 %	Al=4%	2	16	17	17	17
	Mn=0.5% Al=4%	2	14	16	17	17
	Be=0.3% Al=4%	2	23	23	24	23
	Cd=1% Al=4%	2	24	24(?)	24(?)	24(?)
	Zn=1% Al=4%	5	15	18	20	20

本表を見るに冷間加工の儘に於ては Al=4% 合金に第三元素を添加するとも大なる優劣を發見し得ず、然れども 300°C 附近にて加熱せば一般に伸及抗張力は第三元素を添加せるもの、方優秀なり、但しカドミウムを添加せるものは其成績不齊一なり、鑄塊及壓延の困難に依るなる可し。

3) 繰返屈曲回数

種類 番號	繰返屈曲回数		
	Mn=0.5% Al=4%	Cd=1% Al=4%	Zn=1% Al=4%
加熱温度 (30分間)°C			
5%冷間 壓延の儘	(2)	(4)	(5)
100	1/2	1/2	3/4
150	2/3	1/2	3/4
175	1/2	?	1 1/3
200	1	3/4	1 1/2
225	1 1/2	1	2
250	2	1 1/3	1 2/3
300	2	1 1/2	2
350	2	2	3
400	2 1/4	2	2
	2	2	2 1/4

本表を曲線とせるものは附圖第 20 の如し。

4) 顯微鏡的組織

寫眞圖第 33~37 は Al=4% 合金及之に第三元素を附加せる合金を 5% 冷間壓延後 300°C に加熱せし際の組織にして夫々結晶粒の大きを示す。

5) 總 括

以上の諸研究を綜合するに Al=4% 合金に第三元素を添加する事に依り冷間壓延の儘にては硬度又或る場合には抗張力をも増大し得べく又 300

°C 加熱の際に於ては硬度及抗張力を増大し得べし、尙再結晶終了温度を上昇せしめ得るが如し。

添加元素としてカドミウムは鑄造性、壓延性等を害し爲めに其出來上りの板の金質不齊なるやの傾向あり、又ベリリウムは現在尙幾分高價なり、從て添加元素として工業的に有望なるは滿僱及亞鉛なるが如し、就中滿僱は再結晶終了温度を著しく上昇せしめ加熱後の硬度も從て増大するに反し抗張力、伸、斷面收縮等を害する事無し、又亞鉛は再結晶終了温度に影響を與ふる事殆んど無し、恐らく滿僱及亞鉛を同時に使用する事に依り一層良好なる結果を得らる可し。

第 5 章 Mg-Al-Zn 系の單一固溶體範圍

マグネシウム合金をして強力ならしむる唯一の方法はマグネシウムと固溶體を作るが如き第二、第三、第四元素を添加し然かも其添加の限度は略々壓延温度に於て單一固溶體なる範圍にあるものと推論せらるゝ事既に述べたる處なり、從つてマグネシウム合金中板材として最も優秀なる Mg-Al 合金をして一層強力ならしむる方法は之と固溶體を作る亞鉛の添加の他無きを知り得べし、尙カドミウムの添加も理論上考慮せらるゝ處なるもカドミウムの高價なると添加し難き點とは之を一般的工業上の應用を躊躇せしむるに充分なり。

以下此見地より Mg-Al-Zn 系の單一固溶體の範圍を決定せんとす。

研究の方法は各種成分合金の鑄造せしものを幾分鍛造せし後或る温度に長時間加熱し之を水中焼入し其顯微鏡的組織を検したるものなり。

試験の結果次表の如し。

本結果を曲線とせしものは附圖第 30 及 30 a, b, c の如し、又組織の代表的のものを示せば寫眞

試料 番 號	成分%		熱處理後の組織				
	Al	Zn	300°C100 時間加熱 後水冷	同左を更に 250°C 又は 200°C に100 時間加熱水冷	同左を更に 350°Cに100 時間加熱後 水冷	同左を更に 300°Cに22 時間加熱後 水冷	同左を更に 200°Cに20 時間加熱後 水冷
1	0.4	1.0	α	α(200°C)	α	α	α
2	0.9	2.0	"	α+β(")	"	"	α+β
3	1.4	3.0	α+β	α+β(")	"	"	" (寫眞圖第 40 参照)
4	1.8	4.0	"	" (")	"	"	"
5	2.3	5.0	"	α+β(250°C)	α (寫眞圖第 23 参照)	α+β	—
6	2.7	6.0	"	" (")	α+β (寫眞圖第 39 参照)	"	—
7	3.2	7.0	"	" (")	"	—	"
8	3.7	8.0	"	" (")	"	—	"
9	2.0	1.2	α	α+β(200°C)	α	α	α
10	3.0	1.7	α+β	" (")	"	"	α+β
11	4.0	2.3	"	" (")	"	α+β	"
12	5.0	3.0	"	" (")	α+β	"	—
13	6.0	3.4	"	α+β(250°C)	"	—	—
14	7.0	4.0	"	" (")	"	—	—
15	8.0	4.6	"	" (")	"	—	—
16	9.0	5.1	"	" (")	"	—	—

圖第 38~40 の如し。

附圖第 30 を見るに本系には相當廣範圍に單一固溶體 α 存在す、一般に本系合金を約 300°C にて壓延するものとせば同溫度に於ける單相の限界線 7 D 7 に近き成分を與えたる合金を製作せば理論的に最も強力なる合金となる可きなり。

尙此處に一考を要すべきは此種三元固溶體合金の採用に當りてもなる可く亞鉛含量少なき成分を選定するを可とす、其理は亞鉛の含有に依り鑄塊困難となり酸洗も亦困難となるが故なり。

尙本系の他に更にカドミウムを添加せしものも理論的に考慮せらるゝ筈なり、是等の諸合金の一例に就ては次項に述ぶ可し。

**第 6 章 アルミニウムを含む事多き
マグネシウム合金の數例**

抗張試片は厚 2mm、幅 25mm、標點距離 50mm

成分	處理	抗張性			ブリネル硬度	
		抗張力 kg/mm ²	伸 (%)	斷面收 縮(%)	壓延方向に	
300°C 熱 間壓延の 儘 (A)		28.2	13.4	10.4	54.7	58.7
		28.0	12.8	13.5	53.9	59.9
		—	—	—	54.7	58.3
	平均	28.1	13.1	11.9	54.4	59.0
					56.7	

Al=6% Mg=殘	(A)を250°Cに30分間焼鈍	24.8	18.2	16.6	50.4	50.7
		24.8	17.2	15.2	49.4	49.8
		25.9	20.4	19.2	48.2	49.8
	平均	25.2	18.6	17.0	49.3	50.1
					49.7	
	(A)を300°Cに30分間焼鈍	25.0	18.6	16.3	48.8	49.1
		24.6	16.2	14.6	46.4	50.1
					47.0	50.1
	平均	24.8	17.4	15.6	47.4	49.8
					48.6	
(A)を400°Cに30分間焼鈍	—	—	—	46.7	47.0	
	—	—	—	46.1	46.7	
	—	—	—	46.4	47.6	
平均	—	—	—	46.4	47.1	
				46.8		

成分	處理	抗張性			ブリネル硬度	
		抗張力 kg/mm ²	伸 (%)	斷面收 縮(%)	壓延方向に	
Al=6% Mn=0.5% Mg=殘	300°C 熱	26.4	2.6	6.4	57.1	62.1
	間壓延の 儘 (B)	26.2	3.2	6.6	56.3	62.6
		26.2	3.4	6.4	57.1	64.1
	平均	26.3	3.1	6.5	56.8	62.9
					59.9	
	(B)を250°Cに30分間焼鈍	26.0	3.4	1.6	55.5	59.9
		27.2	6.8	8.0	56.3	59.1
		26.8	4.6	2.4	57.1	58.3
	平均	26.7	4.9	—	56.3	59.1
					57.7	
(B)を300°Cに30分間焼鈍	26.0	3.6	2.0	55.9	57.9	
	25.6	4.4	2.4	56.3	57.9	
	—	—	—	53.9	58.3	
平均	25.8	4.0	2.2	55.4	58.0	
				56.7		
(B)を400°Cに30分間焼鈍	—	—	—	49.8	51.5	
	—	—	—	50.1	50.4	
	—	—	—	50.1	51.1	
平均	—	—	—	50.0	51.0	
				50.5		

成分	處理	抗張性			ブリネル硬度		成分	處理	抗張性			ブリネル硬度	
		抗張力 kg/mm ²	伸 (%)	断面收 縮(%)	壓延方向に				抗張力 kg/mm ²	伸 (%)	断面收 縮(%)	壓延方向に	
					平行	直角					平行	直角	
Al=6% Zn=1% Mn=0.5% Mg=殘	300°C 熱	32.8	5.0	8.4	58.7	63.6	Al=5% Zn=3% Cd=3% Mn=0.4% Mg=殘	300°C 熱	32.4	2.2	6.4	75.4	80.5
	間壓延の	32.1	1.8	1.7	61.6	67.1		間壓延の	32.8	3.0	2.0	73.6	—
	儘 (C)	—	—	—	61.1	67.1		儘 (D)	32.4	2.0	1.8	—	79.1
	平均	32.5	3.4	5.1	60.5	67.6		平均	30.4	1.2	0.8	74.8	77.2
	(C)を250	—	—	—	64.1			(D)を250	—	—	—	74.6	78.9
	°Cに30分	27.5	5.8	7.4	58.7	61.1		°Cに30分	—	—	—	76.8	
	間焼鈍	27.8	5.6	7.8	58.3	61.1		間焼鈍	—	—	—	66.1	66.1
	平均	26.8	4.6	7.2	57.9	62.6		平均	—	—	—	66.6	67.6
	(C)を300	27.3	5.3	7.5	58.3	61.6		(D)を300	—	—	—	65.6	65.6
	°Cに30分	26.6	4.8	7.2	57.1	61.1		°Cに30分	—	—	—	66.1	66.4
	間焼鈍	27.4	6.0	8.2	57.1	61.6		間焼鈍	—	—	—	66.3	
	平均	28.3	6.4	3.2	57.9	60.7		平均	—	—	—	60.1	63.6
	(C)を400	28.0	4.8	2.8	—	—		(D)を400	29.6	5.4	3.6	60.1	63.6
	°Cに30分	—	—	—	57.4	61.1		°Cに30分	30.3	8.2	10.2	62.1	63.1
	間焼鈍	—	—	—	59.3	—		間焼鈍	29.4	6.8	9.6	63.1	63.1
平均	—	—	—	51.0	53.6	平均	28.3	5.4	8.5	63.1	63.1		
(C)を400	—	—	—	49.8	53.1	(D)を400	—	—	—	62.0	63.3		
°Cに30分	—	—	—	52.1	53.5	°Cに30分	—	—	—	62.7			
間焼鈍	—	—	—	51.1	54.3	間焼鈍	—	—	—	56.3	57.1		
平均	—	—	—	51.0	53.6	平均	—	—	—	55.5	58.7		
				52.3						57.1	57.5		

第4 附録 板となし得べきマグネシウム合金一覽表

成分 (%)						處理	抗張性			ブリ ネル 硬度
Al	Mn	Zn	Cd	Be	Mg		抗張力 (kg/mm ²)	伸 (%) 標點距離 50mm	断面收縮 (%)	
					100	5%冷間壓延の儘	21	2	2	34
					100	300°C 焼鈍	18	5	5	32
0.3	0.7	0.2			98.8	5%冷間壓延の儘	22	1	1	57
0.3	0.7	0.2			98.8	300°C 焼鈍	21	5	4	43
		3			97	5%冷間壓延の儘	28	4	2	53
		3			97	300°C 焼鈍	24	15	18	43
2					98	5%冷間壓延の儘	26	10	11	55
2					98	300°C 焼鈍	21	25	25	40
4					96	5%冷間壓延の儘	28	2	17	67
4					96	300°C 焼鈍	23	17	22	48
4	0.5				95.5	5%冷間壓延の儘	28	2	7	70
4	0.5				95.5	300°C 焼鈍	24	17	18	54
4		1			95	5%冷間壓延の儘	28	5	6	68
4		1			95	300°C 焼鈍	25	20	20	50
4			1		95	5%冷間壓延の儘	29	2	7	71
4			1		95	300°C 焼鈍	25	24	18	53
4				0.3	95.7	5%冷間壓延の儘	30	2	殆んど 0	68
4				0.3	95.7	300°C 焼鈍	27	24	25	53
6					94	300°C 熱間壓延の儘	28	13	12	57
6					94	焼鈍 (300°C)	25	17	16	49
6	0.5				93.5	300°C 熱間壓延の儘	26	3	7	60
6	0.5				93.5	焼鈍 (300°C)	26	4	2	57
6	0.5	1			92.5	300°C 熱間壓延の儘	33	3	5	64
6	0.5	1			92.5	焼鈍 (300°C)	28	6	5	59
5	0.4	3	3		88.6	300°C 熱間壓延の儘	32	2	3	77
5	0.4	3	3		88.6	焼鈍 (300°C)	29	6	8	63

第5編 結 論

鍛鍊の代表的のものとして壓延を採用し多數の板を作り各方面より研究の結果結論し得たる事次の如し。

(1) 鹽化マグネシウムの電解に依り製造せる金屬マグネシウムの熔解に當りては酸化防止劑として鹽類を使用するを要す、而して其際は熔解坩堝として底注式鐵器を用ゆるを便とす、尙鑄塊に當り豫め鐵網を裝置しある砂型鑄口を用ゆるを便とす、蓋し之に依り鑄塊に鹽類の混入を防止し得ればなり。

(2) マグネシウム輕合金の壓延に依り板となし得る限界は略々其壓延溫度に於て單一固溶體たる範圍の如し、換言せば 300°C にて熱間壓延し得る限界はマグネシウム—アルミニウム合金に在りてはアルミニウム 7%、マグネシウム—亜鉛合金に在りては亜鉛 5% なるが如く、又冷間壓延の限界は前者にありてはアルミニウム 5%、後者に在りては亜鉛 3% なるが如し。

(3) 熱間壓延溫度は約 300°C を標準とす、蓋し加工歪流線（寫眞圖第 24 と第 25 とを比較せよ、第 24 に於ける流線を歪流線と稱せり）を保持せしめ抗力を増大せしむるが爲めなり、熱間壓延の際はロールは $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ に保持するを要す。

(4) 冷間壓延し得る合金と雖も其冷間加工度の最大限は約 10% なり、斯の如くマグネシウム合金が冷間加工し難きは其母體たるマグネシウムの結晶系（六方晶系）に基因するものゝ如し。

(5) マグネシウム輕合金中亜鉛或はカドミウム 2% 以上を含有し居るものは加工後の酸洗に當り其表面黒變す、濃硝酸を用ゆれば此害を減じ得べし、其他の合金に在りては一般に稀硝酸に依り容

易に酸洗し得べし、酸洗後はアルカリに依り中和し温水にて洗滌する事一般合金の場合と同一なり。

(6) マグネシウム合金は冷間加工に依り抗力の増大する事少なきに反し硬度の上昇比較的大にして伸及断面收縮の減少極めて大なり、故になるべく冷間加工をなさざるを可とす、止む無く冷間加工をなす場合にはなるべく少量の冷間加工に留む可し。

(7) マグネシウム合金の再結晶溫度は X 線の測定に依るに $170\sim 200^{\circ}\text{C}$ なり、又硬度、顯微鏡的組織、電氣抵抗等の測定に依り加工歪流線の消失が 300°C 以上に在るを知れるを以て焼鈍溫度としては約 300°C を標準とす可きを知る、是以上の溫度に加熱せば時として結晶粒は異常なる發達をなし又徒らに諸抗力を減少す。

(8) 鍛鍊用合金としてはマグネシウムにアルミニウムを添加せしものを最良とす、蓋し鑄造、鍛造、冷間加工等が他種合金に比し著しく容易なるが故なり。

(9) マグネシウム合金中鍛鍊し得るものは壓延溫度に於て略々單一固溶體なるを要する事既に述べたるが如きを以て焼入焼戻等の熱處理に依り合金の性質を改善し得ざるを知り得べく、又冷間鍛鍊に依り優良なる機械的性質を附與し難く唯 300°C に於ける熱間加工と焼鈍とに依り僅かに抗力を増大し得るのみ、従つて加工に依る合金の性質の改善も亦充分とは云ひ難し、即ち抗力の増大は熱處理に依るを得ず又冷間加工にも依るを得ず、唯成分の改變に就き研究の餘地あるのみ。

(10) 此見地よりマグネシウム—アルミニウム合金に第三元素として亜鉛、滿俺、ベリリウム、

成分 (%)						熱処理	抗張性			ブリネル硬度	用途
Al	Mn	Zn	Cd	Be	Mg		抗張力 (kg/mm ²)	伸(%) 標點距離 50mm	断面収縮(%)		
					100	300°C焼鈍	18	5	5	32	
0.3	0.7	0.2			殘	"	21	5	4	43	熔接棒等
		3			殘	"	24	15	18	43	酸に依り黒變
4	0.5				殘	"	24	17	18	54	一般構造材
4		1			殘	"	25	20	20	50	同上
4				0.3	殘	"	27	24	25	53	特殊高級材
6					殘	"	25	17	16	49	
6	0.5	1			殘	"	28	6	5	59	抗力を要する部
5	0.4	3	3		殘	"	29	6	8	63	同上

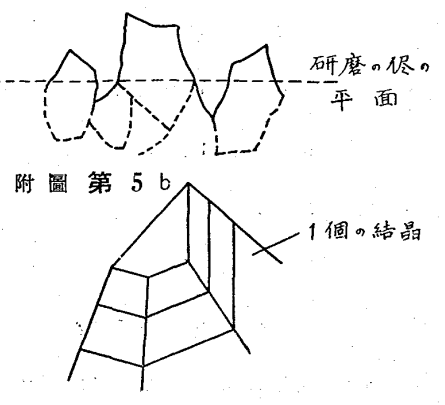
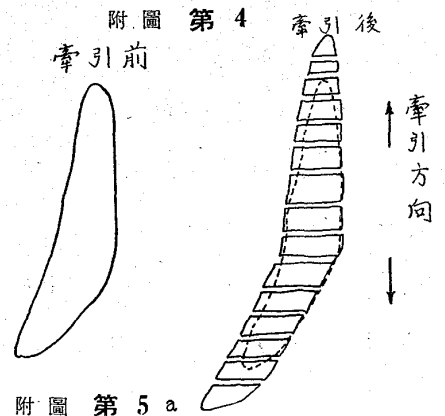
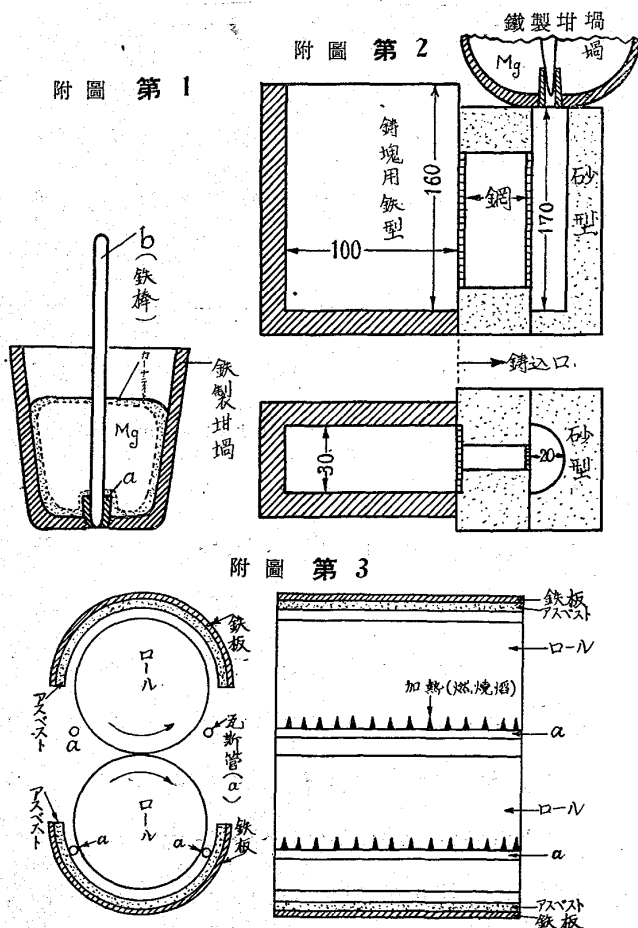
カドミウム等の微量を添加研究せるに亜鉛及滿俺は其效果大なり、ベリリウムも亦甚だ良好なり、カドミウムは一般に良好ならず。

(11) 更に一步を進め マグネシウム—アルミニウム—亜鉛系合金のマグネシウム側の單相範圍を正確に決定せり、而して此範圍内の二三の成分に

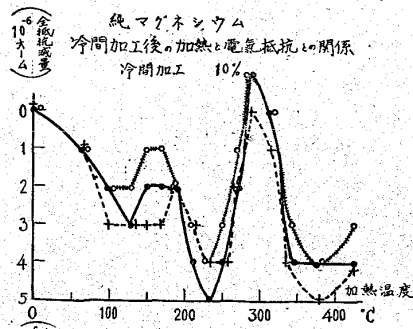
就き其性質を明らかにせり、此種合金はマグネシウム合金中鍛錬し得る最強のものなる可し。

(13) 實用し得らる可き板材用合金の諸元を示せば上表の如し。

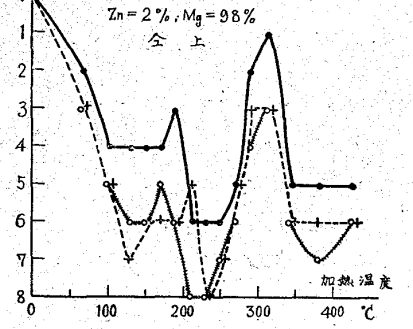
擱筆するに臨み本研究中終始熱心に助力せられたる龜海元作、島村節三兩君に厚く感謝す。



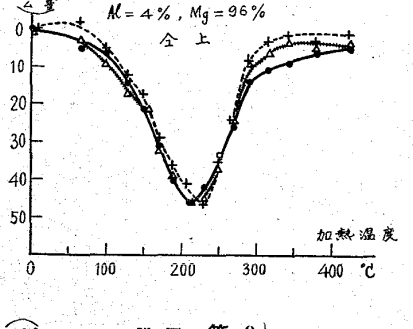
附圖第6



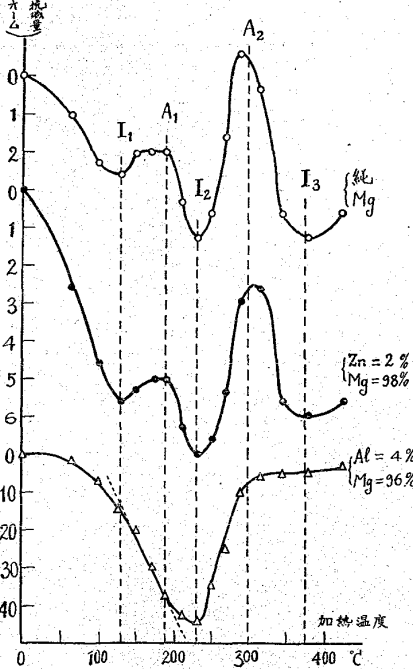
附圖第7



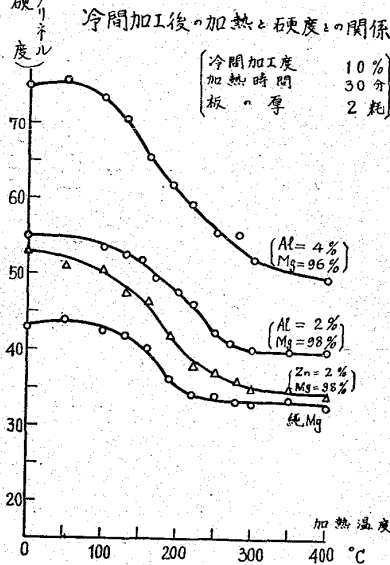
附圖第8



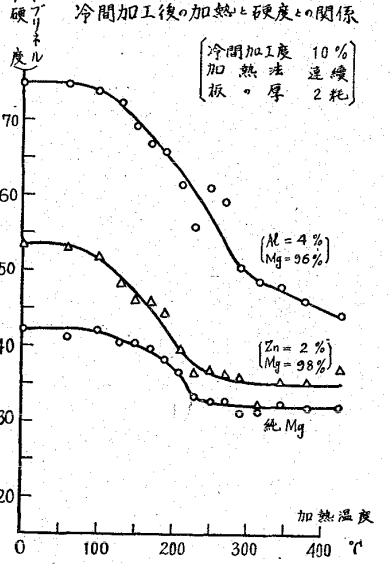
附圖第9



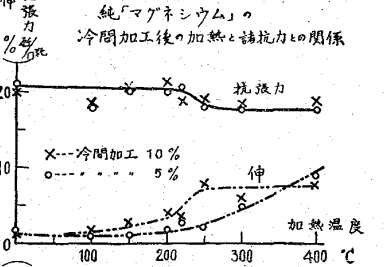
附圖第10



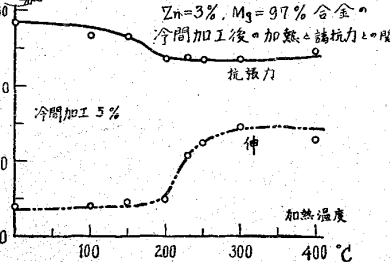
附圖第11



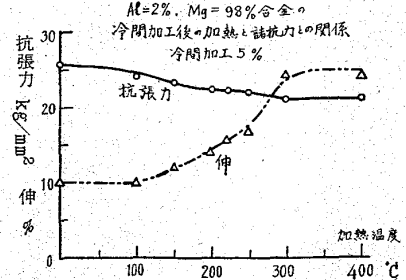
附圖第12



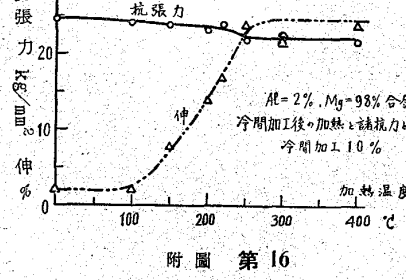
附圖第13



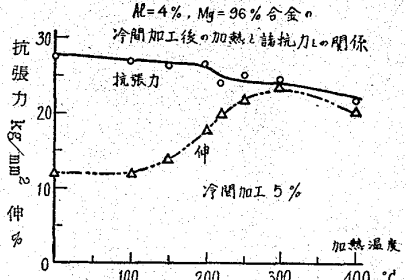
附圖第14



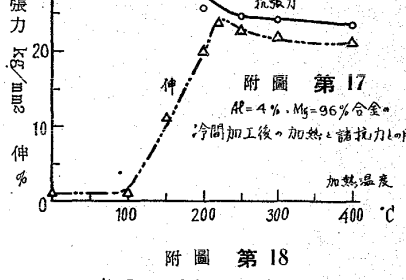
附圖第15



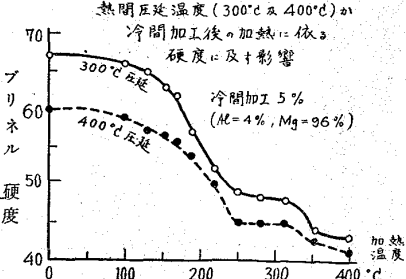
附圖第16



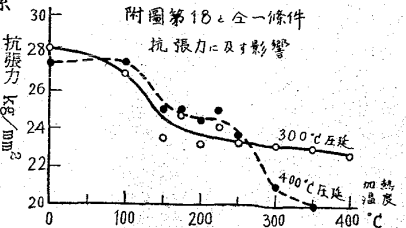
附圖第17

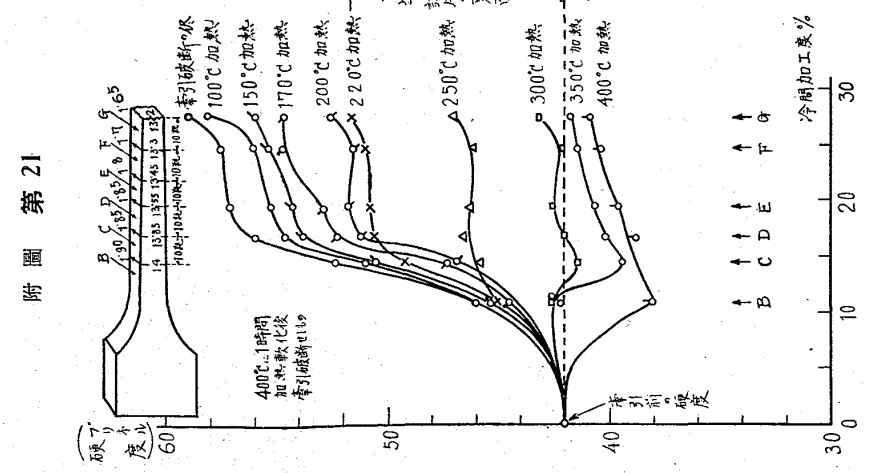
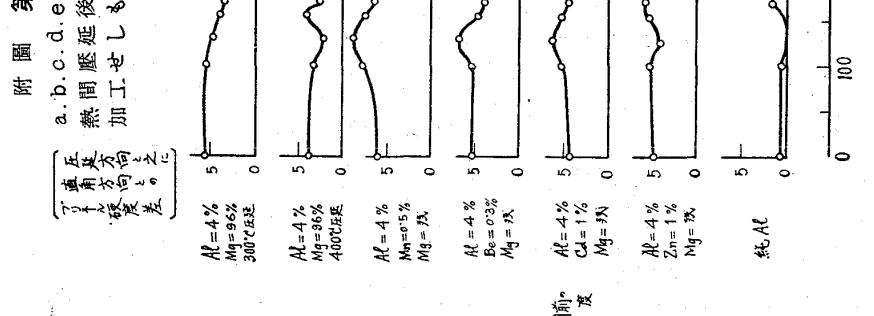
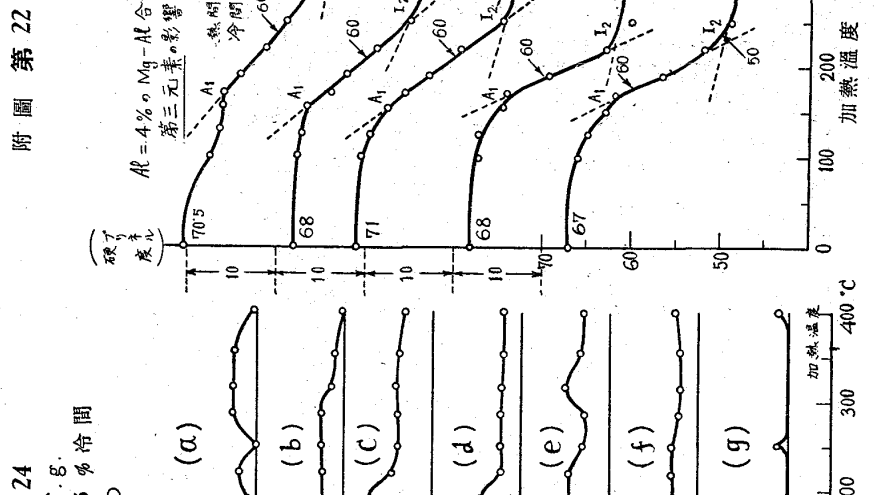
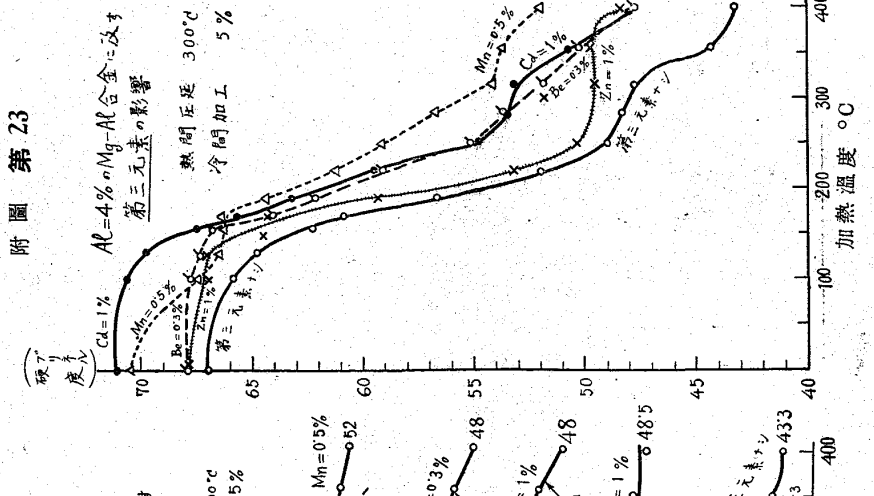
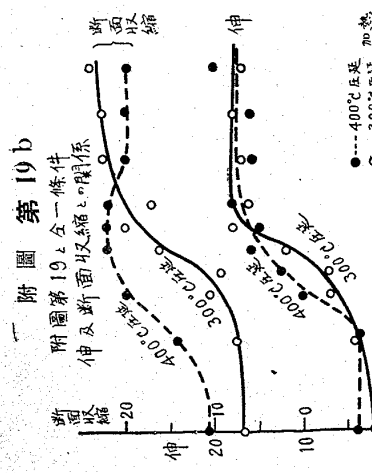
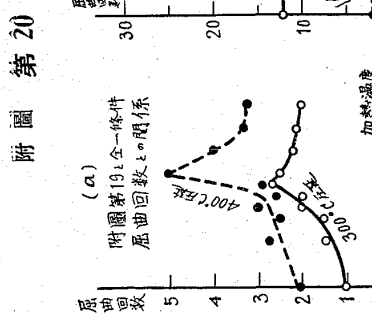
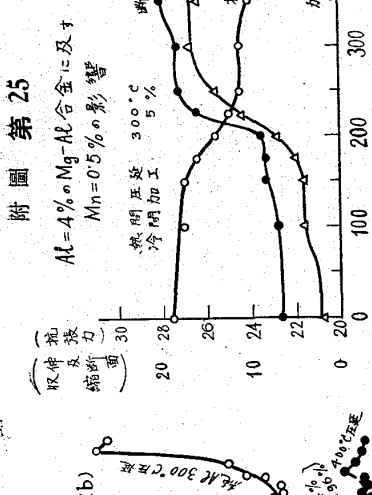
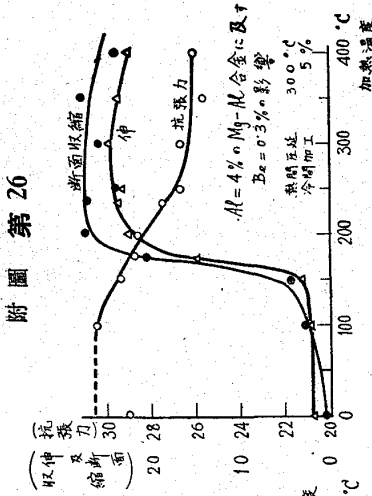


附圖第18

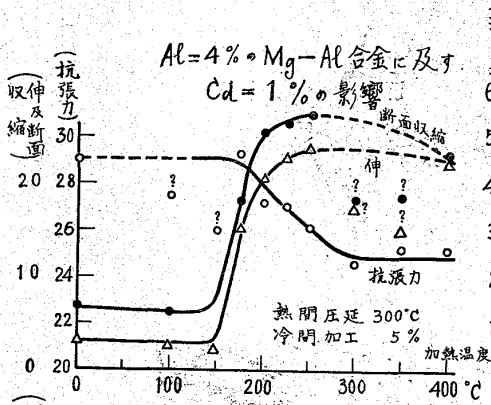


附圖第19 a

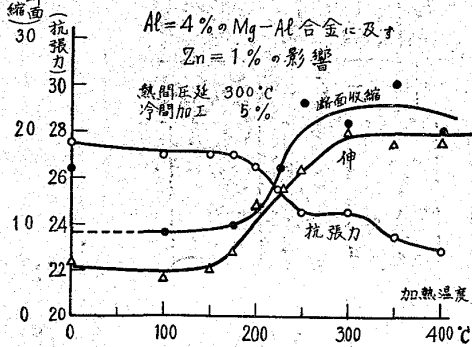




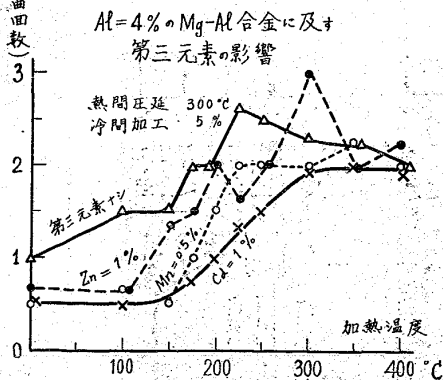
附圖 第 27



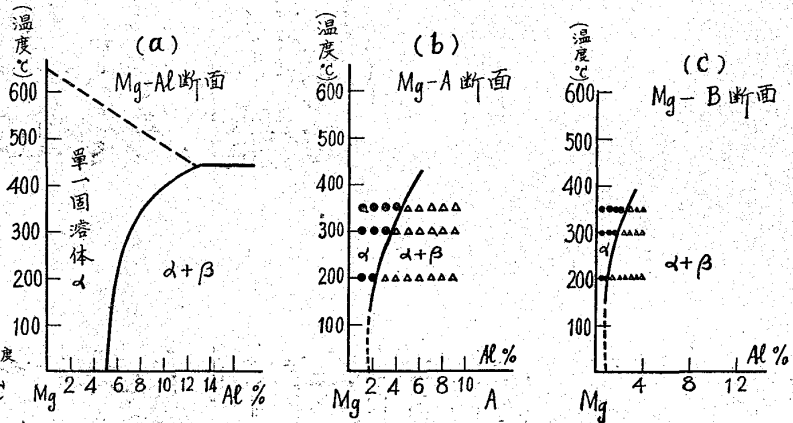
附圖 第 28



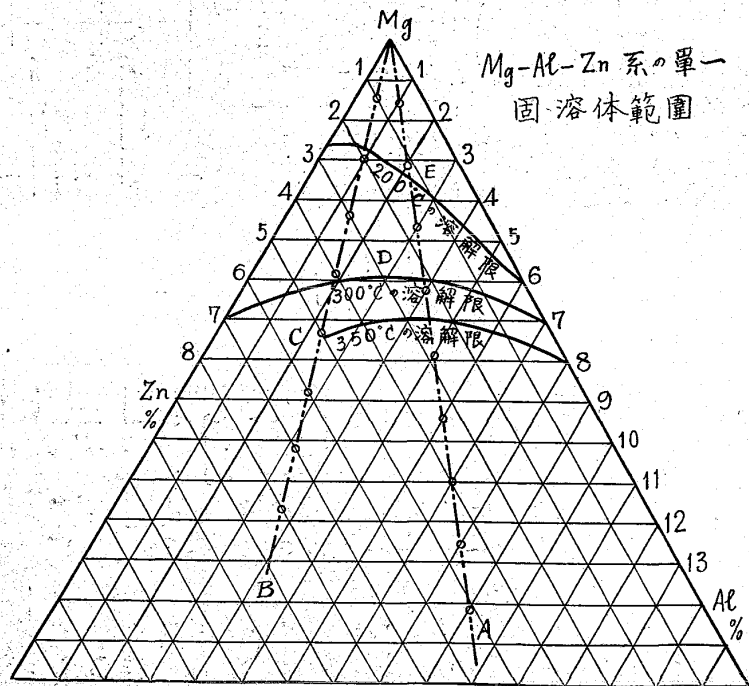
附圖 第 29



1 附圖 第 30 a. b. c.



附圖 第 30

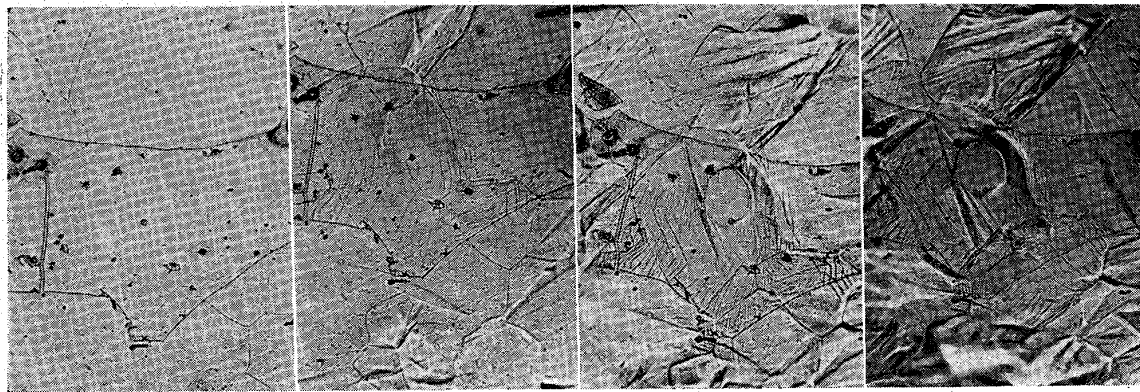


寫眞圖第 1

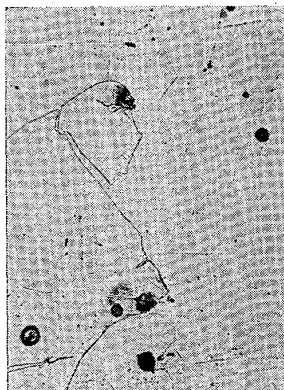


寫眞圖 (倍率 200 倍) 材料 { Al=4% } 厚 2mm 板
{ Mg=殘 } 400°C 燒鈍

第 2. 第 3 牽引方向 ←→ 第 4 牽引方向 ←→ 第 5 牽引方向 ←→



IIIa 牽引前
IVa



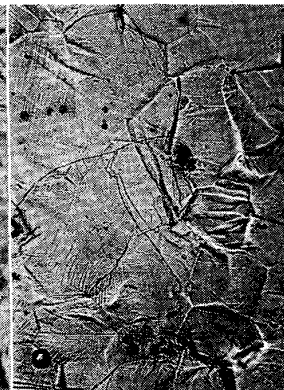
第 6

IIIb 抗張 15.8 kg/mm²
IVb 負荷後 伸 1.6%



第 7 牽引方向 ←→

IIIc 抗張 19.8 kg/mm²
IVc 負荷後 伸 6.0%

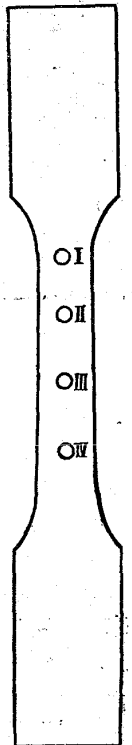


第 8 ←→

IIId 破斷後 抗張力 21.5 kg/mm²
伸 15.6%

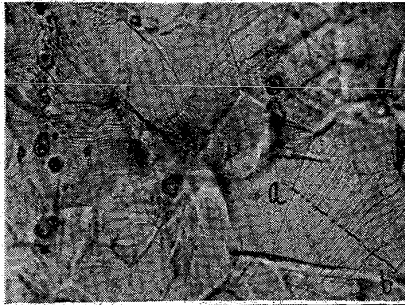


第 9 牽引方向 ←→



寫眞圖 (倍率 200 倍)

第 10



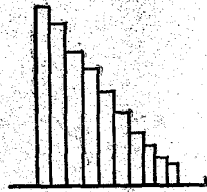
ab 斷面

上方(目の位置)

$\left\{ \begin{matrix} Al=4\% \\ Mg=殘 \end{matrix} \right\}$

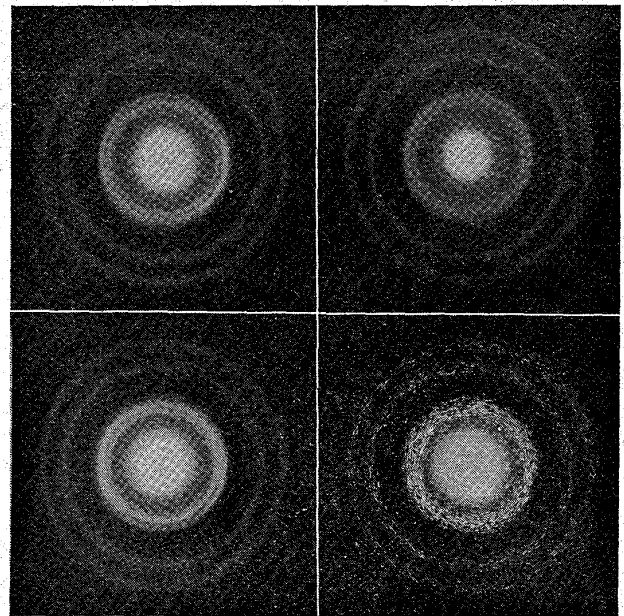
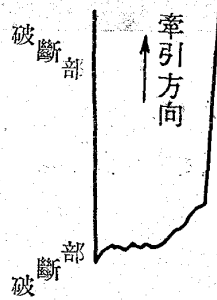
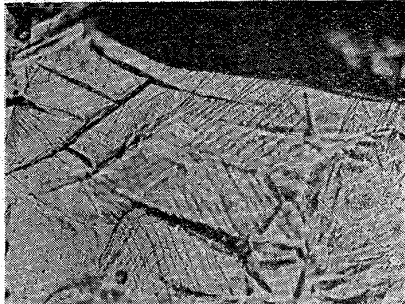
合金の 5%冷間加工後の X線に依る再結晶溫度の測定

(對陰極 $Mo. 60,000^{\circ}$, 4 Milliamp 8 hrs)

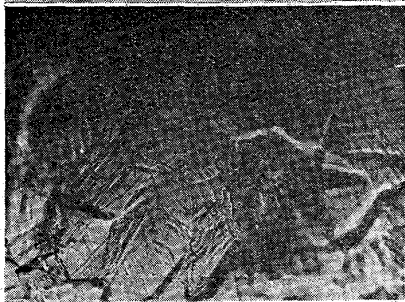


第 16 冷間壓延(5%)の儘 第 18 185°C 加熱再結晶開始

第 14



第 15



第 17 175°C 加熱

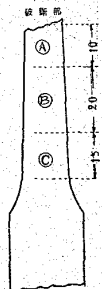
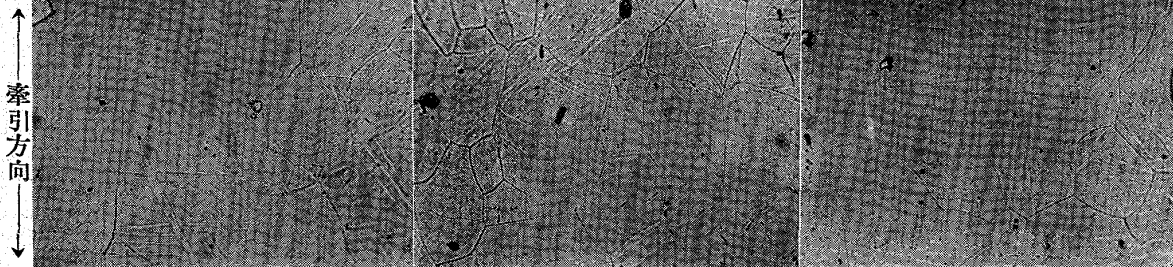
第 19 400°C 加熱

寫眞圖 (倍率 190 倍) 牽引破斷後(抗張力 21.5 kg/mm^2 伸 15.6%)の再研磨に依り双晶を示す

第 11 ①

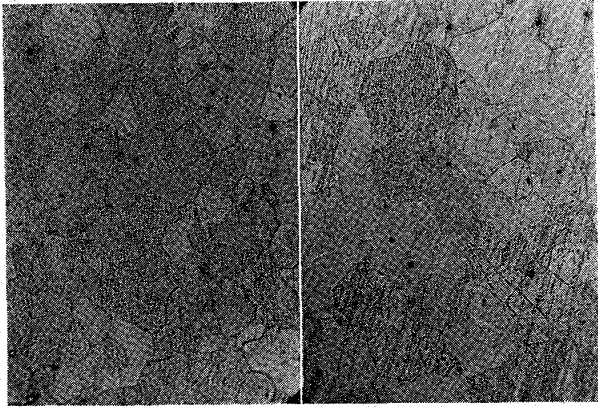
第 12 ②

第 13 ③



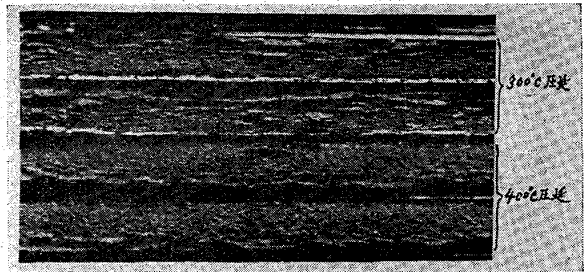
寫眞圖 (倍率 100 倍)

第 20 純 Mg 10% 冷間
壓延の儘 平面 第 21 純 Mg 10% 冷間壓延後
400°C 1 時間加熱 平面



寫眞圖 第 27

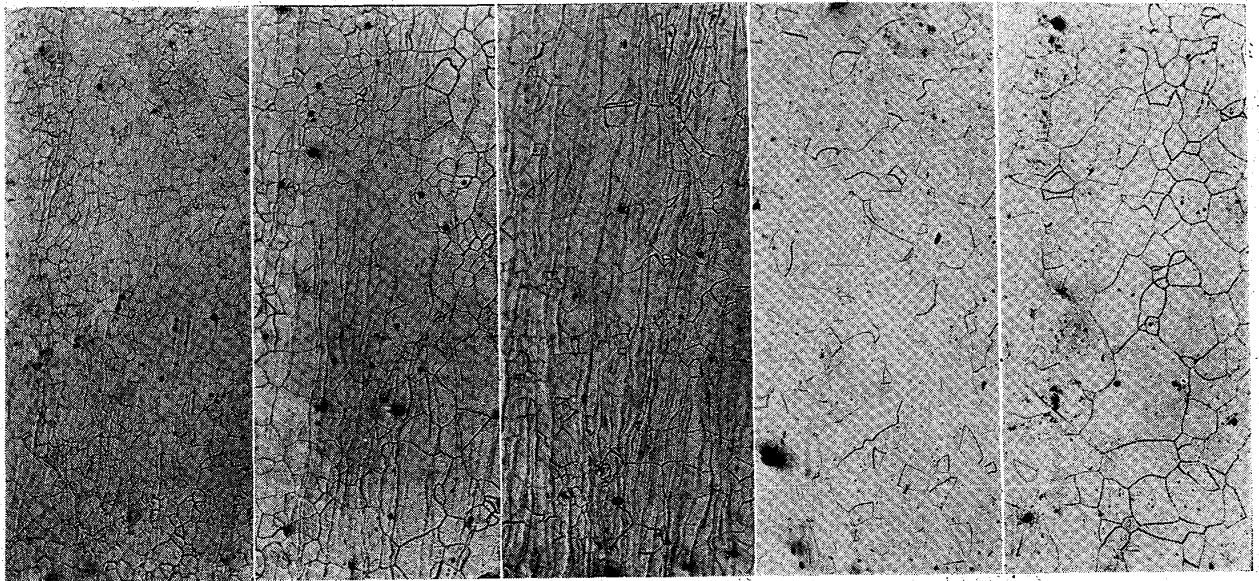
壓延溫度に依る粒の變化 材料 Al 4 %
熱間壓延後 5 % 冷間加工



寫眞圖 (率倍 70 倍)

{Zn=2%}
{Mg=殘} 合金 (10 % 冷間加工) の斷面

第 22 冷間加工後
130°C 加熱 第 23 同 左
250°C 加熱 第 24 同 左
300°C 加熱 第 25 同 左
350°C 加熱 第 26 同 左
400°C 加熱



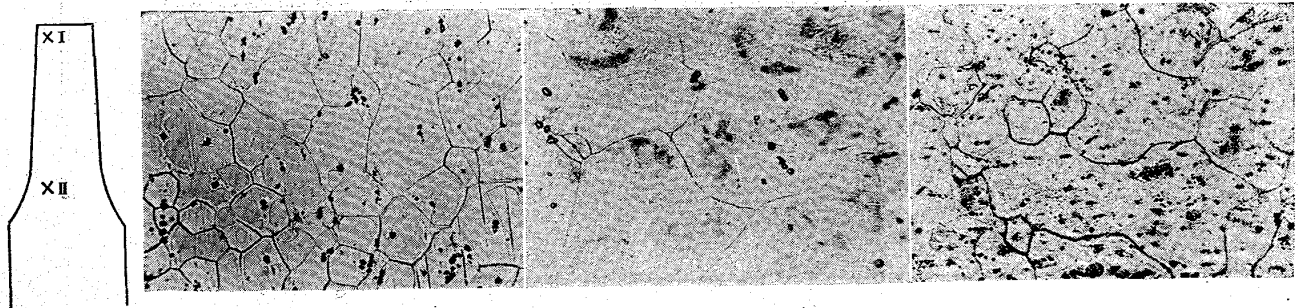
寫眞圖

冷間加工歪の程度が 400°C 加熱に際し結晶粒生長に及ぶ影響 (繰返し加熱)

第 28 I. × 93

第 29 II. × 93

× 200 第 30 II × 190

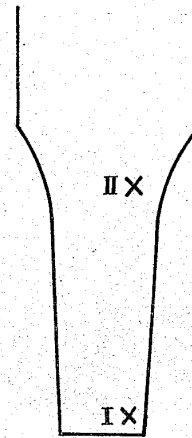
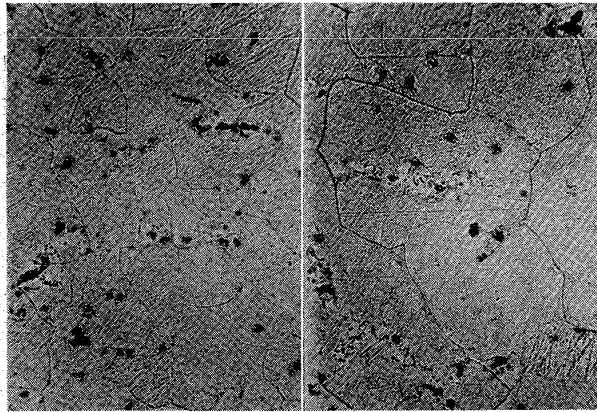


寫眞圖 (倍率 100 倍)

冷間加工歪の程度が 400°C 1 回加熱に際し結晶粒の生長に及ぶ影響

第 31. I

第 32. II



寫眞圖 (倍率 87 倍)

300°C 熱間壓延 5% 冷間壓延後 300°C 加熱

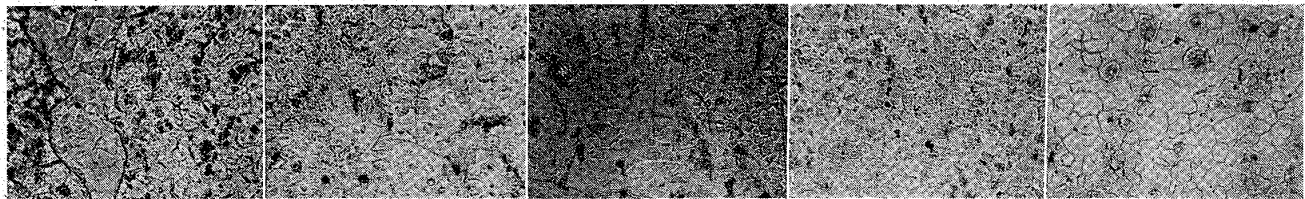
第 33 (Al=4%
Mg=殘)

第 34 (Al=4%
Mn=0.5
Mg=殘)

第 35 (Al=4%
Be=0.3%
Mg=殘)

第 36 (Al=4%
Cd=1%
Mg=殘)

第 37 (Al=4%
Zn=1%
Mg=殘)



寫眞圖 (倍率 250 倍)

第 38 (Al=2.3%
Zn=5.0%
Mg=殘) 300°C 100時間
250°C 100時間
350°C 100時間後
水中冷却

第 39 (Al=2.7%
Zn=6.0%
Mg=殘) 熱處理は
第38に同し
×は Mg-Al-Zn 系以
外の化合物

第 40 (Al=1.8%
Zn=4%
Mg=殘) 300°C 100時間
200°C 100時間
350°C 100時間
300°C 22時間
200°C 22時間後
水中冷却

