

「デュラルミン」型輕合金の熱處理硬化性に及 ばす少量の諸金屬の影響

(合金の焼戻硬化に關する研究 第12報)

大 坪 經 之
江 村 孝 之

緒 言

從來當所に於ては Al-合金,¹⁾ Cu-合金, Ag-合金等の焼戻硬化性に就て研究し, 既に數次に亘つて報告されて居るが今回は専ら「デュラルミン」型の輕合金に少量の各種の金屬を夫々一種, 或は, 二種添加したる場合, 其の焼戻硬化性並に常溫時効性が如何に變化するかに就ての研究概要を報告するのである。

斯る問題は重要なを以て, 之に類する研究は今日迄多くの人々²⁾に依つて行はれて居るし, 又, 實用化³⁾せられて居る類似の合金も尠くない。然し遺憾乍ら, 或は其の研究が局部的に止まり, 或は研究目的の相違に依り實驗條件が異つて居る等の爲め, 本問題に對する統一的の知識が得難いと謂ふ憾みがある。茲に本研究を發表する所以である。従つて主成分たる Al の如きは從來の場合と異り特に 99,996 %と稱する最純度のものを使用する事にした。

實 驗 結 果

(1) 實 驗 の 方 法

先づ基本合金として Cu 4%, Mg, Mn 及び Si 各 0.5%. 殘部 Al (99,996%) より成る「デュラルミン」を選定し, 之に Be, Co, Cr, Fe, Mo 又は Ni を夫々各 1 %迄添加した各試料に就て, 焼戻硬化性並に常溫時効硬化性を調べ, 元合金「デュラルミン」の場合と比較検討した。次に之等の各試料に更に前記 Be, Co, Cr, Fe, Mo 又は Ni を夫々各 0.5 %迄添加し, 更に之等試料の焼戻硬化性並に常溫時効硬化性に就て實驗を行ひ, 以て其等の結果相互間の比較研究を試みたのである。

扱て, 上記各金屬添加に當り Be の外は總て Al-Cu との三元中間合金を使用したのである。試料の熔融には電氣爐を用ひ, 又坩堝は豫め「アランダム」の裏附を施した黒鉛製のものを採用した。更に融液の表面には適當な清淨剤を用ひて熔滓の混入を防ぎつゝ, 壁厚 20 mm を有

する鐵製鑄型に鑄造した。其他熱処理は温度に依り或は油槽中或は鹽類融液槽中にて之を行ひ、試料の酸化及び温度の不均一を出来るだけ避けしむる事に努力した。

扱て、金型鑄造後 1 時間 $500^{\circ}\sim 510^{\circ}$ に於て焼鈍したる後氷水中に焼入し、次に 50° , 100° , 150° , 200° , 220° , 250° 及び 300° に夫々各 1 時間焼戻を行ひ、空氣中にて放冷後之等試料に於ける鑄造面と直角をなす面に就て硬度の測定を行つた。本研究に於ては鑄物の大きさは總て 10mm 角棒状のものを使用したのであるが、勿論試料を採取した鑄物の大小、形狀並に鑄型の壁厚等に依り測定結果は幾分相違する事は當然である。硬度の測定には「ロックウェル」及び「ブリネル」の兩硬度計を使用した但測定値の相互比較を便ならしむる爲め、茲には總て「ブリネル」硬度數にて示した。

抗張力及び延伸率に關しては都合上測定結果を茲に掲げざる事にした。

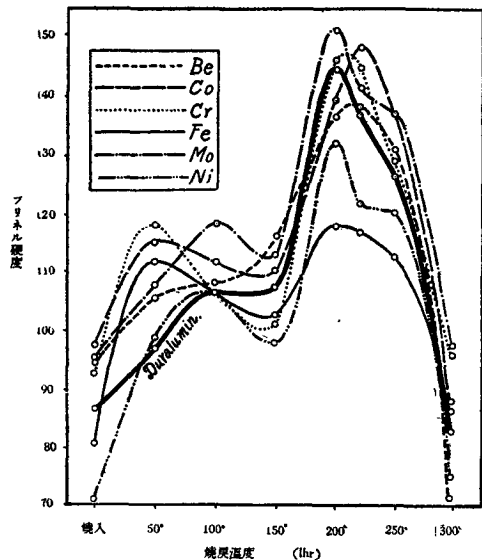
(2) 「デュラルミン」に各種金属を夫々添加した場合。

第 1 圖は「デュラルミン」に 1% 迄各種金属を添加した場合の焼戻硬化曲線である。圖より明かな如く、Co, Cr 又は Fe 添加の場合は何れも約 50° に於て、第 1 段の硬化は既に最高點に達してゐるに反し、Mo 又は Ni 添加の場合は 50° 遅れ、約 100° に於て最高點が現はれて居る。Be 添加の場合は以上の場合と趣を異にし、「デュラルミン」のみの場合と類似の硬化過程を示し、第 1 段の極大點は特に現出せずして、最後の極大點迄連續的に硬化が進行して居るのを認める。

但し、前者の場合は後者の場合よりも約 50°

早期に最初の急激硬化が終つて居るのである。次に第 2 段の硬化に關しては Be 又は Fe 添加の場合は共に「デュラルミン」のみの場合と同様略々 200° で硬化の極大點に達して居るが、Co 又は Cr 添加の場合は稍高い温度で極大點が現はれる。之に反して Mo 又は Ni 添加の場合は硬化の最大値は上記の場合と同様 200° で起つて居るが、引續き 250° 附近迄は殆ど硬度の減少を見ないのであつて、此の點は前記諸試料の場合とは大に趣を異にして居る譯である。結局「デュラルミン」に Co, Cr 又は Mo を添加したる場合は焼戻硬化性は増加する様である。尙 Fe を添加した場合は特に劣つて居る。

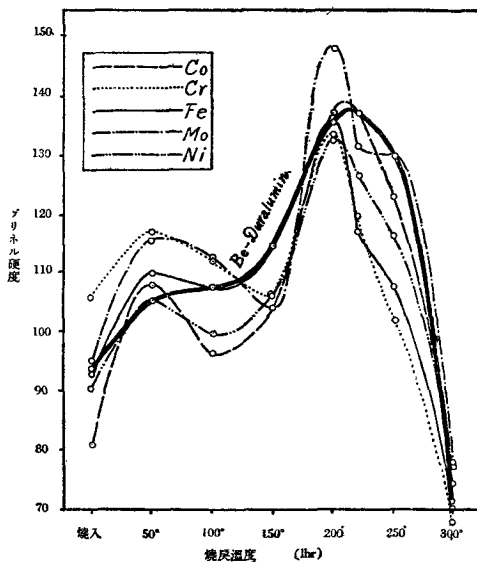
第 1 圖



(3) Be を含有する「デュラルミン」に各種金属を夫々添加した場合.

第2圖は Be 含有の「デュラルミン」に他の金属を夫々 0.5 %迄添加したる場合の焼戻硬化曲線である. 圖に於て明かな通り Co, Cr, Fe, Mo 又は Ni 添加に依つて最初急激硬化の終了する温度は變化しないが, 何れも第1段の硬化極大點を示す事が元合金たる Be「デュラルミン」の場合と異つて居る. 尙 Cr 又は Mo 添加の場合は第1段の極大値が著しい. 第2段の極大點は上記何れの金属添加に依るも略同温度で, 且つ相似たる値を有して居る. 但し, Mo 添加の場合に限り遙に大なる値を示して居るのみならず此の場合は亦 250° 附近迄は硬度の減少が尠い事が特徴となつて居る.

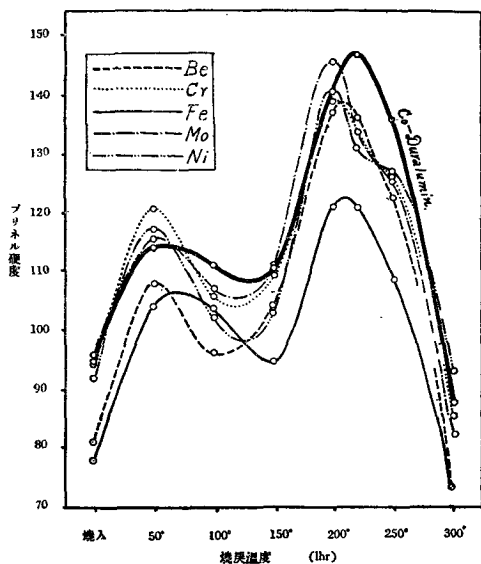
第 2 圖



(4) Co を含有する「デュラルミン」に各種金属を夫々添加した場合.

第3圖は Co 含有の「デュラルミン」に他の金属を夫々 0.5%迄添加した場合の焼戻硬化曲線である. 圖に示す如く, Be, Cr, Fe, Mo,

第 3 圖

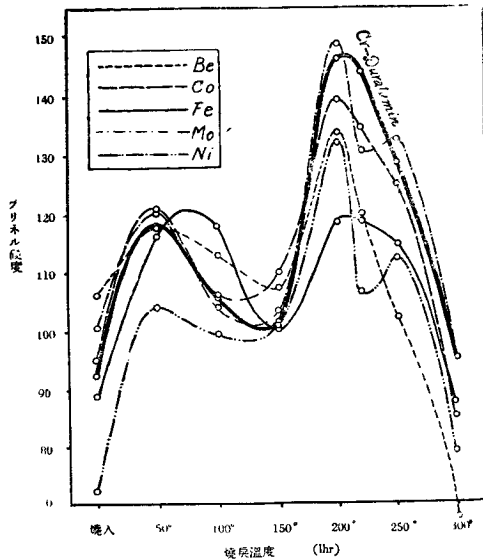


又は Ni 添加に依り 第1段の硬化最大點は Fe の場合稍々遅れる外は殆ど影響無く, 略 50° にて起つて居るし, 又硬化度にも著しい變化は無い. 第2段の硬化極大値は Mo 添加の場合は元合金と殆ど變らないが, 其他の場合は何れも却て低下して居る. 極大點の現はるゝ温度は前記何れの金属添加の場合も元合金の場合より低い様である. 尙 Ni 添加の場合は其他の場合と異り, 250° 迄は硬度の著しき減少を示さないのが特質の様に思へる.

(5) Cr を含有する「デュラルミン」に各

種金属を夫々添加した場合.

第 4 圖



第4圖は Cr 含有の「デュラルミン」に他の金屬を夫々 0.5 % を添加した場合の焼戻硬化曲線で、圖の如く第1段の硬化最大點は Be, Co 又は Mo 添加に依りては其の溫度にも値にも殆ど變化は無いが、Fe を添加の場合は溫度稍高く、Ni 添加の場合は値が幾分劣つて居るのを認める。第2段の硬化極大點に關しては、之等金屬添加に依つて其の現はる溫度には影響なきも、其の値は Mo 添加の場合を除いては何れも低下して居るのである。尙茲に注意すべきは Ni 添加の場合と Mo 添加の場合では共に 250° に到るも硬度

が餘り下らない點である。又 Fe 添加の場合は第2段の極大硬化値は著しく劣り、殆ど第1段のそれと甲乙がない。

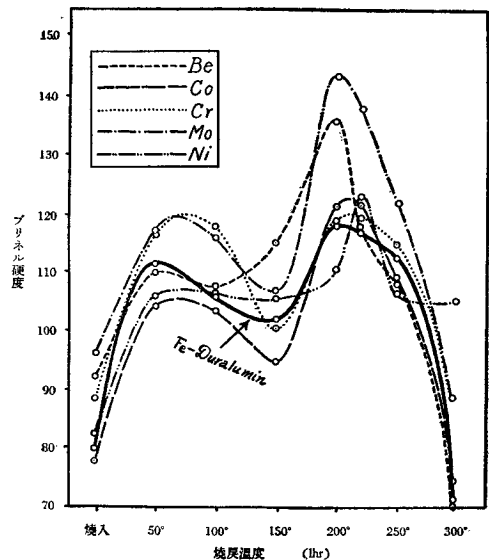
(6) Fe を含有する「デュラルミン」に各種金屬を夫々添加した場合。

第5圖は Fe 含有の「デュラルミン」に他の金屬を夫々 0.5 % 迄添加した場合の焼戻硬化曲線で、圖を見るに元合金では第1段の硬化最大値も、第2段の硬化極大値も殆ど變りが無いが、Mo 及び Be 添加の場合は第2段の硬化極大値が著しく増大するのを認める。但し、Ni 添加の場合と同様第1段には硬化の山を示さないのが元合金とは趣を異にして居る。又 Co, Cr 又は Ni 等の添加に依るも元合金の焼戻硬化性を殆ど高めない様である。

(7) Mo を含有する「デュラルミン」に各種金屬を夫々添加した場合。

第6圖は Mo 含有の「デュラルミン」に他の金屬を夫々 0.5 % 迄添加した場合の焼戻硬化曲線で、圖の如く元合金に Be, Co, Cr, Fe 又は Ni 等何れの金屬を添加した場合も第1段の

第 5 圖



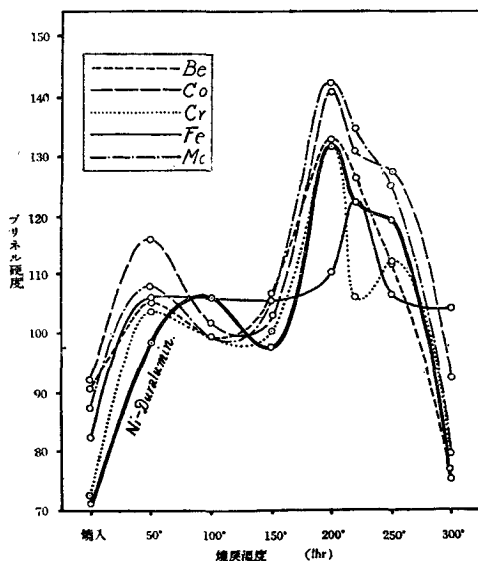
硬化極大點は遙かに低温度で現れて居る。第

2 段の硬化極大點は Be, Co 又は Cr 添加の場合は元合金と略同値を示すも, Fe 又は Ni 添加の場合は稍その値が劣つて居る。然し乍ら極大點の現はるゝ温度は何れの場合も元合金の場合同様略 200° に位する。尙元合金を窺ふに 250° に達するも硬度は殆ど下らないのを認め, Be 又は Cr 添加の場合も矢張り 250° 迄は硬度の著しい変化を示さないのである。

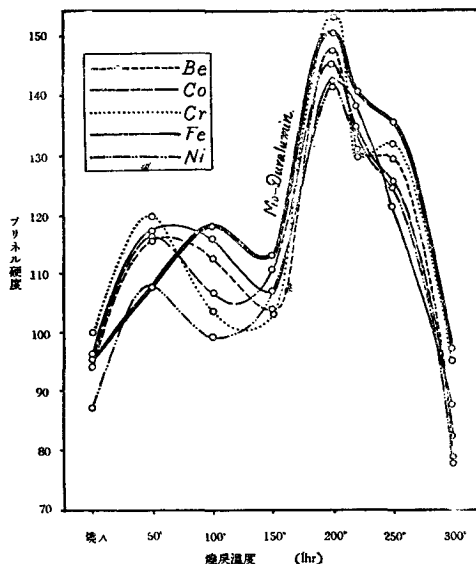
(8) Ni を含有する「デュラルミン」に各種金属を夫々添加した場合。

第7圖は Ni 含有の「デュラルミン」に他の金属を 0.5 %迄夫々添加せる場合の焼戻硬化曲線で圖に於て明かな通り第1段の硬化最大點は Be, Co, Cr, Fe 又は Mo 等何れの金属を添加するも約 50° 早期に現はれて居る。但し, Fe 添加の場合に限り特に第1段の最大點を示さざるのみならず, 第2段の最大點も著しく低下するのを認める。Be 又は Cr の添加に依り第2段の硬化極大値に變化なきも, Co 又は Mo の添加に依りてはその値を著しく上昇せしめる。

第 7 圖



第 6 圖



尙何れの場合も元合金と同じく略 200° に於て第2段の極大點が現はれる事は一致して居るが, 唯 Co 又は Cr 添加の場合は元合金の場合同様 250° 迄は硬度の變化が尠い。

今試に上述の實驗結果より焼戻硬化度を計算するに, 但し, 焼戻硬化度
$$\frac{\text{焼戻最高硬度} - \text{焼入硬度}}{\text{焼入硬度}} \times 100\%$$
 「デュラルミン」に Be 及び Cr を同時に添加した試料, 並に Cr 及び Fe を同時に添加した試料の場合を除く外は何れの試料に於ても 45 % 以上の硬化度を發揮したのである。その中特に著しい値を示すものは「デュラルミン」に

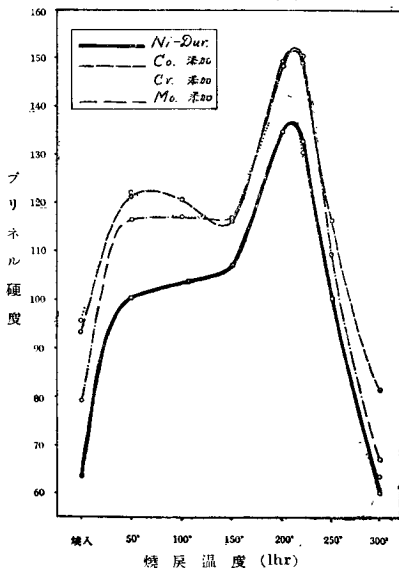
Ni を添加した試料、並に Be 及び Co, Cr 及び Ni, 又は Mo 及び Ni 等を夫々同時に添加した試料の場合であつて、之等は何れも元合金に比し勝れた硬化度を持つて居る事が判つた。尙上記實驗に於ては總て焼戻時間を 1 時間に限定したが、更に焼戻時間長き場合、例へば 12 時間焼戻の場合の實驗をも試みた。その結果元合金「デュラルミン」にありては第 1 段の急激硬化を終る温度も第 2 段の硬化極大點を與へる温度も共に約 50° 早期に起つたのに對し、他の金屬添加の場合は第 1 段の急激硬化を終る温度又は第 1 段最大硬化を示す温度は殆ど不變にして、唯第 2 段の極大硬化を與へる温度の方のみ約 50° 早期に現れたのである。尙硬化の最大値に對しては第 1 段も第 2 段も著しい變化がなかつた。

(9) 加工試料の場合。

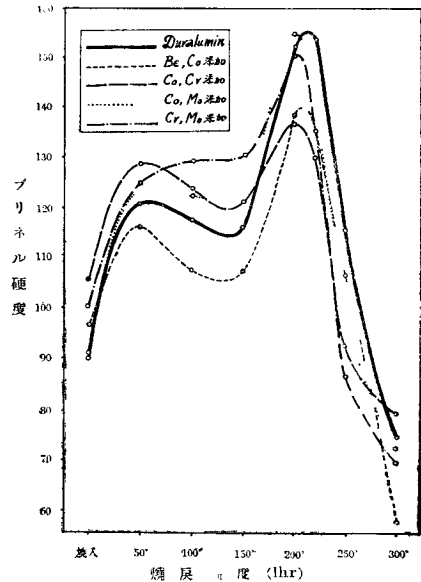
上記の實驗は總て金型鑄造試料の場合であつたが、試に加工試料の場合に就て數種の合金を選び同様の實驗を行つて見た。今金型鑄造試料を採り、之を夫々 $500^{\circ} \sim 510^{\circ}$ にて 1 時間焼鈍後 $400^{\circ} \sim 450^{\circ}$ に於て熱間壓延を施した。

但し、此の場合一回壓延した後再び之を 20 分間 $400^{\circ} \sim 450^{\circ}$ にて焼鈍し、更に熱間壓延を反覆する様にした。斯くして、同様の操作を繰返す事 7 回にして、略 60%

第 9 圖



第 8 圖



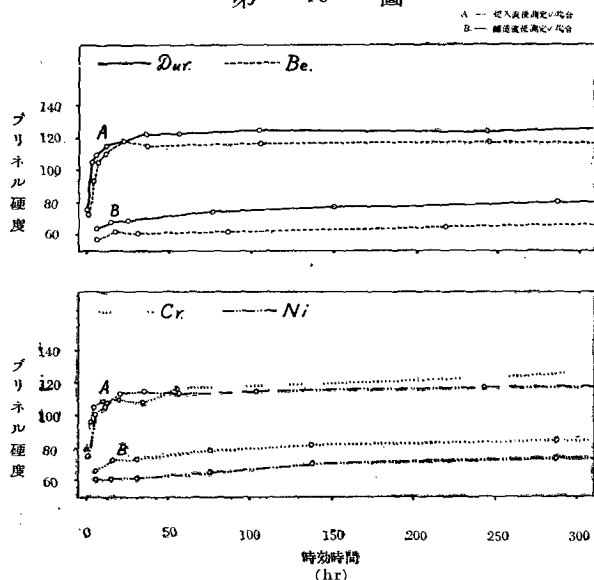
の壓延度に達せしめたものを $500^{\circ} \sim 510^{\circ}$ にて 15 分間焼鈍したる後水中に焼入したのである。又焼戻は前實驗と同様 50° 置きに各温度に 1 時間加熱を行つた。之等試料の硬化曲線を測定した結果は第 8 圖及び第 9 圖に之を示した。

第 8 圖は「デュラルミン」に Be 及び Co, Co 及び Cr, Co 及び Mo 又は Cr 及び Mo の如く夫々二種の金屬各 0.5 % 迄を同時に添加した場合の焼戻硬化曲線である。圖の如く Be 及び Co 添加の場合は元合金よりも硬化度は遙に劣り、Co 及び Cr 添加の場合は第 1 段の硬化最大値は元合金よりも遙に高いが第 2 段の硬化極大値は大いに低下して居るのを認める。そ

の他の場合にありては元合金と相似た硬化度を示してゐる。

次に第9圖は Ni を含有する「デュラルミン」に Co, Cr 又は Mo を夫々各 0.5% 迄添加した場合の測定結果であつて、何れの場合に於ても元合金よりは硬化が著しいが焼入直後の硬度も亦元合金よりも大であるから、焼戻硬化度は勝れて居ない。唯 Mo 添加の場合は元合金に次で焼入直後の硬度小であつて、焼戻に基く硬化は却て著しい。従て Mo 添加の場合以外は香しい成績を示さない譯である。

第 10 圖



に掲げる通りである。先づ第10圖の如く鑄造直後の場合は「デュラルミン」の場合と同様何れも時効硬化は薄弱であるが、焼入直後の場合は「デュラルミン」に劣らない場合も認められる様に思へる。

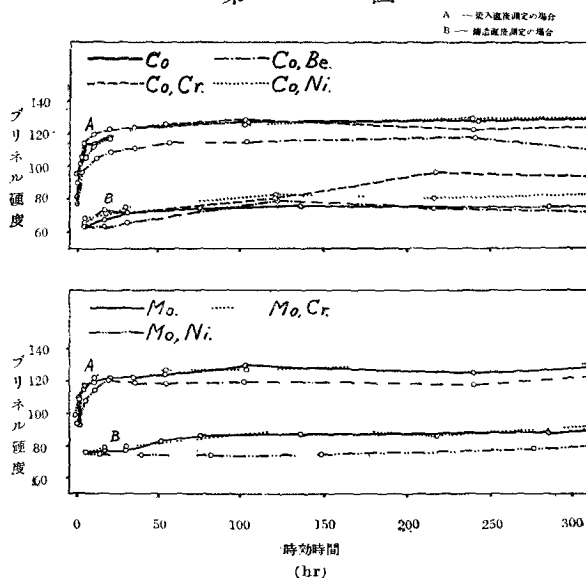
次に第11圖を窺ふに Co を含有する「デュラルミン」に Cr 又は Ni を添加した場合は常溫時効に対する影響は尠いが、Be を添加した場合は却つて劣つて来る。又 Mo を含有する「デュラルミン」では Cr を添

(10) 常溫時効の場合。

試料としては「デュラルミン」に Be, Co, Cr, Mo 又は Ni を夫々各 1% 迄添加したものの外更に之等の場合中常溫時効硬化勝れたる Co 又は Mo を夫々含有する「デュラルミン」に Be, Cr 又は Ni 等を夫々各 0.5% 迄添加したものを選出した。

此の場合鑄造直後より測定を開始した常溫時効硬化と焼入直後から行つた場合とに區別したのであるが、之等の測定結果は第10圖及び第11圖

第 11 圖



加した場合は殆ど常溫時効硬化性に變化を及ぼさないが、Ni 添加の場合は寧ろ薄弱になるのを認めるのである。

總 括

下に掲げた各場合に於て焼戻硬化曲線を測定し、實驗結果相互間の比較検討を試みた。尙鑄造試料の場合には常溫時効硬化をも調べた。

1) 「デュラルミン」に Be, Co, Cr, Fe, Mo 又は Ni を夫々各 1 %迄添加した鑄造試料の場合。

2) Be, Co, Cr, Fe, Mo, 又は Ni を夫々含有する「デュラルミン」に更に之等の金屬を夫々各 0.5 %迄添加した鑄造試料の場合。

3) 前記試料の中特に選定した數種の加工試料の場合。

之等の研究は更に基本合金に選んだ「デュラルミン」自體の成分を種々變化せしめた場合に就ても之を行はゞ更に興味深かるべし。

本研究に當り終始御指導を賜りたる宇野所員に對し、深甚の謝意を表し、尙桑谷學士に對し實驗上の御助力を多謝す。

更に服部報公會に對し、研究費の御援助を厚く感謝す。

参 考 文 獻

- 1) 宇野・村上・兩氏； 化學研究所講演集 4 (1934), 16. 日本學術協會報告 9 (1934) 26. 工業化學雜誌 37 (1934), 403.
江村・林 兩氏； 化學研究所講演集 6 (1936), 110.
江村・中村・兩氏； 化學研究所講演集 7 (1937), 111.
- 2) W. Kroenig. 氏； Z. Metallk. 19 (1931), 245.
松 田 孜 氏； 住友金工研究報告 2 (1932), 80.
大 谷 文 太 郎 氏； 鐵と銅 19 (1933), 362.
田 邊 友 次 郎 氏； 住友金工研究報告 9 (1933), 624.
P. Röntgen. u. W. Koch.兩氏； Z. Metallk. 25 (1933) 182. 26 (1934), 9.
- 3) “RR 50” Met. Ind. (London) 36 (1930), 117.
“Avial” 住友金工研究報告 2 (1934), 158.
Huron Aluminium Alloy “B.”