冷間加工したアルミニウムにおける 単純—恒温焼なまし効果と繰返し 昇温—恒温焼なまし効果の違いについて*

美馬 源次郎** 林 正路*** 山野 勇****

On the difference between single—Isothermal annealing effects and successive—Isothermal annealing effects in cold worked aluminium*
(UDC 620.185.5:669.71)

MIMA Genjiro** HAYASHI Masamichi*** YAMANO Isamu****

By means of measuring the room temperature internal friction, the tensile strength and the elongation, we have studied on the difference effects between successive and single isothermal annealing upon the recovery and recrystallization process of commercial aluminium and high purity aluminium.

Through the experiments we have confirmed that the change of the internal friction and the tensile properties in the recovery process is related to the difference between successive and single isothermal annealing and that is the repetition of recovery annealing treatment, although the change of these properties in the recrystallization process do not effected to the difference of both annealing method. Then the successive isothermal annealing method, for studying the relation between softening phenomenon and annealing temperature, is more effective than the single isothermal annealing.

(Received Aug. 21, 1959)

1. は し が き

従来行なわれている再結晶あるいは軟化の研究に用いている恒温焼なまし処理では、一箇の試験片は試験終了までに一度の所要焼なまし処理、すなわち単純恒温焼なまし処理を受けるのみである。しかし、近年しばしば行なわれている冷間加工金属の焼なまし機構を常温内部まさと Q^{-1} で研究する方法では、一般に1本の試験片にて所要の恒温焼なましの全範囲にわたつて、多種の単純恒温焼なましを重複して施す方法を採用している。すなわち恒温焼なまし処理は、まず所望焼なましの最低温度の最短時間のものから始め、焼なまし処理とその後の Q^{-1} 測定とを交互に繰返ししながら同一焼なまし温度において順次に長時間焼なましへと進め、つぎに焼なまし温度を上昇し、より低温度において行なつたと同一方法を繰返し、次第に高温—長時間焼なましへと累進するいわゆる継続—恒温焼なまし法を採用している。従つて上記両者、特に高温長時間焼なましを施こした試験片に対しては、少

なくとも外見的には熱効果に著しい違いがある。ゆえにこれら両者の焼なまし効果の違いを明確にして上記兩種研究を関係づけることは、再結晶および軟化機構を明確にするためには是非必要なことである。また両焼なまし方法が回復、再結晶、結晶粒子の成長……などにどのような違いを与えるかを知るためにも非常に大切である。しかし現在までのところ、これら両処理の焼なまし効果の違いは全く明らかでない。ここにおいて著者らは、本課題について研究を行なつた次第である。

2. 実験に使用した材料および実験方法

軟化程度の決定は常温内部まさと抗張力性質の測定によつて行なつた。前者には、既報¹⁾の研究に用いた熱間圧延後 380°C—5 hrs 焼なまし工業用純アルミニウム材〔断面：(40×400)mm 化学組成：0.18 A/o (0.36 W/o) Fe, 0.14 A/o (0.16 W/o) Si, 0.00 A/o (0.003 W/o) Cu〕を使用し、衝撃圧縮加工度 65%および 80%なる既報の試験¹⁾と同一寸法 (10×10×160) mm の試

* 本論文は林および山野が大阪大学工学部冶金学科特別研究として行なつた実験を美馬がまとめたものである。

** 大阪大学工学部教授 工博 Prof. Faculty of Eng. Osaka Univ.

*** 山陽製鋼 K. K. Sanyo Steel Making Co., Ltd.

**** 浅田可鍛铸铁 K. K. Asada Malleable Cast Iron Co., Ltd.

Table 1 Annealing times for 270°C-annealing treatments.

Designate annealing time (min.)	Time of last additional annealing (min.)	Summation of annealing-time, min.
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$
2	1	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1$
4	2	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2$
8	4	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4$
15	7	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 + 7$
30	15	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 + 7 + 15$
60	30	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 + 7 + 15 + 30$
120	60	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 + 7 + 15 + 30 + 60$
180	60	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 + 7 + 15 + 30 + 60 + 60$
240	60	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 + 7 + 15 + 30 + 60 + 60 + 60$
360	120	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 + 7 + 15 + 30 + 60 + 60 + 60 + 120$
430	120	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + 2 + 4 + 7 + 15 + 30 + 60 + 60 + 60 + 120 + 120$

Table 2 Prior annealing treatments for 270°C-successive isothermal annealing.

Number of annealing treatments	Time of annealing (min.)											
	at 60°C		at 100°C		at 130°C		at 150°C		at 200°C		at 225°C	
	Addition	Total	Addition	Total	Addition	Total	Addition	Total	Addition	Total	Addition	Total
1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
2	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1
3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
5	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8
6	7	15	7	15	7	15	7	15	7	15	7	15
7	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
8	—	—	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60
9	—	—	—	—	—	—	—	—	60	120	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	60	180	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	60	240	—	—

試験片および同一装置* を用いて同一方法にて測定した。また後者は、純度 99.98% アルミニウムを 96.5% 冷間加工した直径 1 mm の線を長さ 150 mm に切断し、標点距離を 60 mm として 30 kg のスプリング試験機で試験した。

焼なまし温度が 230°C 以下の場合には、油槽を用い、270°C 以上では (NaNO₃ : KNO₃ = 1 : 1) 塩槽を用いた。また常温内部まさつの試験片はいずれも焼なまし後は空冷したが、抗張力試験片は水冷した。

3. 実験結果

3.1 常温内部まさつ

常温内部まさつの測定は 270°C 焼なましのみにについて

* 2,000 c.p.s. 横式磁気歪振動法

行なつた。ただし継続焼なましの試験片は 270°C 恒温にて **Table 1** に示すような焼なましを施すまでに既に **Table 2** に示す順序の焼なましを受けたものである。すなわち加工度 65% の試験片では

常温時効—700 hrs → 60°C—(2mm— $\frac{1}{2}$ hr) → 100°C—(2mm—1 hr) → 130°C—(2mm—1 hr) → 150°C—(2mm—1 hr) → 200°C (2mm—4 hrs) → 225°C—(2mm—1 hr) → 270°C

なる順序に各種の単一焼なましを重複して受けた。また 80% 加工した試験片は常温時効の時間が 766 hrs である以外は加工度 65% 試験片と全く同一の継続焼なまし処理を受けた。

上述した継続焼なまし処理を施こした試験片と 270°C で単純焼なまし処理を与えた試験片とについて得た常温

Fig. 1 Effects of isothermal annealing processes at 210°C upon room-temperature internal friction and hardness.

内部まきつを、270°Cにおける焼なまし時間に対して図示すると **Fig. 1** のようになる。すなわち加工度 65% 試験片の継続焼なましでは、270°C—15min. ($= 0.5 + 0.5 + 1 + 2 + 4 + 7$) にて、 $Q^{-1} \approx 13 \cdot 10^{-4}$ であるが、焼なまし時間の増加 (対数的) によつて殆んど直線的に低下し、3 hrs ($= \Sigma t$) 附近から急速に低下して、6 hrs ($= \Sigma t$) 附近から殆んど $Q^{-1} \approx 7 \cdot 10^{-4}$ に落着く。また図にみられるように、単純焼なまし曲線の概形も継続焼なましのそれと同様であるが、シグモイダル型変化前の低下は継続焼なましのそれに比べて著しく緩慢である。すなわち継続焼なまし法においては (2~180) min. 間に約 $(15 \rightarrow 11) 10^{-4}$ 変化するのに対し、単純焼なましでは 2 min. の焼なましで、 $Q^{-1} \approx 10 \cdot 10^{-4}$ となり、その後焼なまし時間の増加と共に殆んど直線的に減少し、3 hrs の焼なましで $Q^{-1} \approx 8 \cdot 10^{-4}$ となる。その後シグモイダル型に比較的急激に低下して継続焼なましの場合と同一時間の 6 hrs にて、 $Q^{-1} \approx 4 \cdot 10^{-4}$ にはほぼ一定する。加工度 80% 試験片においては、2 min. の焼なましでは継続焼なましの Q^{-1} の値が高いが、焼なまし時間が 8 min. 附近では両測定値は殆んど等しくなり、(8~240) min. の範囲内では継続焼なましの Q^{-1} の値は単純焼なましの Q^{-1} よりも常に低い。しかし加工度 80% の試験片の (Q^{-1} —時間) 曲線の変化は **Fig. 1** の硬度焼なまし時間曲線に示すように、全く同様に処理した同一寸法の試験片の硬度変化と全く相似的になる。すなわち両曲線は 4 hrs にてほとんど一致して一定となる。そして Q^{-1} が一定となる時間は加工度 80% の場合が 65% の場合よりも約 2 hrs 早いことを示している。

3.2 抗張力試験

抗張力の焼なましは 100°C, 150°C, 200°C, 270°C,

Fig. 2 Ultimate tensile strength curves for single and successive isothermal annealing of 96.5 percent cold drawn 99.98 percent aluminium.

Fig. 3 Measured-elongation curves for single and successive isothermal annealing of 96.5 percent cold drawn 99.98 percent aluminium.

350°C および 550°C の温度について行なつた。継続焼なまし法は

100°C—100hrs $\rightarrow$ 150°C—84 hrs $\rightarrow$ 200°C—100 hrs $\rightarrow$
270°C—25 hrs $\rightarrow$ 350°C—1 hr $\rightarrow$ 550°C—2 hrs

なる順序で施した。すなわちこの場合の継続焼なましは、各試験片に連続的に積み重ね型式に施した。両焼なまし法に関する抗張力および伸び率を焼なまし時間に対して図示するとそれぞれ **Fig. 2** および **3** のようである。図に明らかなように、単純焼なましでは継続焼なましにおける前処理の焼なまし効果に相当する効果は、比較的短時間で起こり、それ以上の長時間では両焼なまし効果は同一となり、**Fig. 2** にみられるように両曲線は全く相重なる。たとえば 150°C—継続焼なましでは、それ以前に 100°C—100 hrs の焼なましを施こしたものであるために、150°C—継続焼なましに属する抗張力は $(1-5 \cdot 10^3)$ sec. の範囲内では 150°C—単純焼なましのそれよりも低い、 $5 \cdot 10^3$ sec. からはその曲線は全く重なる。また 150°C 焼なましでは両方法共に軟化は、

130 sec. 附近から現われている。なお両曲線は(1-130) sec. 間では共に水平で 240 sec. まではほとんど平行しているが、(240- $5 \cdot 10^3$) sec. で両者の差は次第に減少している。後者の範囲内では継続焼なましでは抗張力の変化は極めて小さく (0.5 kg/mm^2) 程度であるが、単純焼なましでは 2 kg/mm^2 程度低下する。すなわち焼なましの始めに両種試験片の間にあつた強さの差はこの間で消える。200°C 焼なましにおいても大体同様なことがいえる。ただ焼なまし初期に両焼なましにおける抗張力の差が更に大きく、かつ、単純焼なましにおける階段式軟化は著しく目立つようになるが、継続焼なましにおける軟化は 400 sec. 附近から緩かに続いている。軟化による伸び率の変化は Fig. 3 に示すように、150°C の焼なましにおいては実験範囲内では認められなかつたが、200°C 焼なましでは、継続焼なましでは約 4 sec., 単純焼なましでは約 15 sec. で極めて少し (0.3% 程度) 増すが、その後約 $4 \cdot 10^3$ sec. までは両焼なまし共に全く変化しない。しかし両者共に $7 \cdot 10^3$ sec. 附近から少し増加の傾向を示し、 $6 \cdot 10^4$ sec. 附近からその増加は著しくなる。ただし継続焼なまし法のそれが多少遅れる傾向のようである。焼なまし温度が 270°C に上昇しても上記両曲線の相対的傾向は同様であるが、抗張力-焼なまし時間曲線はいずれも極めて単調な変化を示す。すなわち単純焼なましの抗張力-時間曲線は単純な低下を示し、継続焼なましのそれは $2 \cdot 10^2$ sec. まで完全に水平を保ち、その後 $15 \cdot 10^2$ sec. までの間でシグモイダル型式に低下する。また 270°C なましにおける伸び率の変化は Fig. 3 に示すように、両種試験片共に 10 sec. 附近から変化が始まり、70 sec. 附近から大きい増加が現われるが、継続焼

なましでは一応 $3 \cdot 10^3$ sec. で最大となりその後軽少な変化が現われる。これに対し単純焼なましでは曲線は $2 \cdot 10^4$ sec. 附近まで上昇し、その附近で継続焼なましのそれと接近している。350°C の焼なましでは、軟化の変化は単純焼なましでは約 20 sec. までで終り、継続焼なましでは $72 \cdot 10^2$ sec. までは抗張力曲線は水平で新しい変化、すなわち 2 次再結晶に対する変化は全く認められない。550°C では両焼なまし共約 60 sec. 附近から抗張力および伸び率、特に伸び率が急に低下する。これは結晶の寸法が試験片の直径程度にまで成長し始めた一少数の粗大粒が生成する一ことを示す。また標点距離内が巨大結晶で覆われると伸び率は著しく増大する。

3.3 検 鏡 結 果

100°C の焼なましでは 60 sec. 附近で抗張力は最大を示すが顕微鏡組織は Fig. 4 No. 1 に示すように変化は認められない。また 100°C- $3 \cdot 10^5$ sec. でも変化はほとんど明らかでない。150°C の単純焼なましでは実験範囲内の最長時間の $3 \cdot 10^5$ sec. で Fig. 4 No. 2 のように細長い島状の粒子が多く認められる。

継続焼なましの抗張力曲線と単純焼なましのそれとが初めて一致する $5 \cdot 10^3$ sec. における前者の顕微鏡組織は Fig. 4 No. 3 のように島状の幅は非常に狭いが、 10^4 sec. 附近からのシグモイダル形式の軟化が完了した $3 \cdot 10^5$ sec. では No. 4 に示すようにその幅の増加が明瞭に認められる。200°C における単純-および継続焼なまし後の代表的な顕微鏡組織を示すとそれぞれ (No. 5~No. 8) および (No. 9~No. 13) のようで、両系列の組織の間に違いは認め難く、両系列ともにまず細い島が現われ、その幅が焼なまし時間と共に増加し、同時に単位

No. 1: (A), 100°-60sec. $\times 370$ No. 2: (B), 150°- 5×10^3 sec. $\times 370$ No. 3: (A), 150°- 5×10^3 sec. $\times 370$ No. 4: (B), 150°- 3×10^5 sec. $\times 370$

No. 5: (A), 200°- 10^4 sec. $\times 370$ No. 6: (A), 200°- 6×10^4 sec. $\times 370$ No. 7: Same area as No. 6 $\times 1040$ No. 8: (A), 200°- 3.6×10^5 sec. $\times 370$

No. 9: (B), 200° - 10^3 sec. $\times 370$ No. 10: (B), 200° - 10^4 sec. $\times 370$ No. 11: (B), Same area as No. 10 $\times 1040$ No. 12: (B), 200° - 6×10^4 sec. $\times 1040$ No. 13: (B), 200° - 3.6×10^3 sec. $\times 1040$ No. 14: (A), 270° -200 sec. $\times 1040$ No. 15: Same area as No. 14 $\times 2400$ No. 16: (A), 270° - 3×10^3 sec. $\times 354$ No. 17: (A), 270° - 10^4 sec. $\times 370$ No. 18: (B), 270° -200 sec. $\times 1040$ No. 19: Same area as No. 19 $\times 2400$ No. 20: (B), 270° - 3.6×10^3 sec. $\times 354$ No. 21: (B), 270° - 1.8×10^4 sec. $\times 354$

Fig. 4 Microphotographs of samples of annealed 99.98 percent aluminium reduced 96.5 percent in area and annealed at 270°C for various periods of time.

(A) : Single annealing sample

(B) : Successive annealing sample

面積当りの“島”の全面積(従つて量)の割合も増加し、 $3.6 \times 10^5 \text{ sec.}$ に至ればNo.8およびNo.13に示すように島の割合は略50%にも達するようである。すなわちこの島の全面積の割合の増加が伸び率の増加に関係すると考えられる。また(No. 14~No. 17)および(No. 18~No. 21)はそれぞれ270°Cにおける単純焼なましおよび継続焼なまし試験片の顕微鏡組織を示す。写真に示すようになまし時間が200 sec. 以上では継続なましにおける結晶成長が単一なましにおけるそれよりも大きいことがわかる。

4. 結果の考察

270°Cにおける継続焼なまし後の常温内部まさと焼なまし時間との関係をあらわす曲線と単純焼なまし後のそれとの違いは Fig. 1 に示したように、加工度が65%の場合には曲線の後部に現われた、いわゆる再結晶変化に相応する比較的急激な減小を示すシグモイダル型変化は、兩種焼なまし法とも時間的にも、また量的にもほとんど同一である。この事実は予備回復焼なまし処理はその後に行なう焼なまし処理によつて起こる再結晶方法に全く影響を与えないことを明瞭に示している。しかし、シグモイダル型変化の起こる前の時間範囲内の変化は Fig. 1 の曲線にみられるように焼なまし方法の違いによつて異なっている。これはつぎのような理由によるものと考えられる。

継続なまし法においては Table 1 に示したように、60°C から225°C までの低温焼なまし処理を繰返し長時間行なうために、回復は充分進行し内部応力はほとんど除去される。約130°C 附近までの焼なましでは、不純物原子とか空格子点の時効のために転位は拘束される度合を益々増すが、(約150°C から再結晶温度)の間の温度では種々の仕方で拘束されていた転位が、焼なましのために解放されて自由になり、これが常温内部まさを増加する。かかる試験片を270°C で焼なますと図に示すように再結晶が始まるまで概して焼なまし時間の対数に比例するように減少する。

これに対して単純なましでは、かかる予備回復焼なましを行なわずに一挙に270°C 一焼なましを行なうために、(約150°C から再結晶温度)の温度における焼なましの様な純粋な回復現象は起こり得ず、従つて常温内部まさは充分上昇せず図のような緩やかな減少となつて現われたものと考えられる。また加工度80%の場合における両種曲線の相対的変化も定性的には65%の変化と全く同様に説明することができる。80%の場合には65%の場合よりも両者の違いが少ないことは、既報¹⁾した65%附近の加工度において内部まさが最大点を現わし、それ以上の加工度において低下する現象に関連するものと考えられる。

Fig. 5 Percentage softening vs time for single isothermal annealing process.

また常温内部まさを焼なまし時間曲線に現われたシグモイダル型変化が再結晶変化であることは、硬度測定による軟化曲線との対比により明確である。従つてこの変化の開始および終了点が65%よりも80%加工度において、より短時間側に移動することも加工度の増加により恒温再結晶変化が速かになったため至極当然のことである。

再結晶現象が繰返し予備回復処理の影響を受けないことは高加工(96.5%)した高純アルミニウム(99.98%アルミニウム)線による比較においても、Fig. 2 および 3 に示す抗張力試験結果 および Fig. 4 に示す検鏡結果によつても明瞭である。すなわち継続的に回復処理を行なつても再結晶を開始する時間、従つて核生成の時間は変化しない。しかしながら、回復は再結晶とは異なり、Fig. 2 および 6 より明らかなように、少なくとも強度は焼なまし影響を相当鋭敏に受ける。Kahlmann²⁾, Cottrell および Aytekin³⁾ によれば材料を温度 T 、にて時間 t だけ回復焼なましすると、その最初の降伏値(あるいは内部応力) σ_0 は次式

$$\sigma = \sigma_0 - \frac{kT}{\beta} \ln \left(1 + \frac{t}{t_0} \right) \quad (1)$$

によつて σ に低下する。ただし

$$t_0 = \frac{kT}{\beta c} \cdot e^{-\frac{\beta \sigma_0}{kT}} \quad (1a)$$

ここで β は選ぶ応力の範囲に対する定数で、 c は回復速度に対する比例定数である。故に(1)式に従つて回復するとすれば降伏強度、従つて降伏強度の減少量($\sigma_0 - \sigma$)、は焼なまし時間 t 、を一定に保つても(1a) および(1)式に示すような関係から温度 T の複雑な函数となり、単調な函数とはならない。

本実験では既述したように、抗張力を測定したため上式によつて吟味することは困難であるが、抗張力を T および $1/T$ の函数として画くとそれぞれ Fig. 7 および 8 のようになる。両図は一見抗張力軸に対称のようにみえるが実際はそうではない。図に示した結果によると、実験範囲内では再結晶温度以下の温度におけるなまし、すなわち回復なましでは約 10^5 sec. 以上のなましにおいて

Fig. 6 Percentage softened vs. time for successive isothermal annealing process.

Fig. 7 Relationship between tensile strength and annealing temperature °K, for single annealed 99.93 percent aluminium.

Fig. 8 Relationship between tensile strength and $1/T$ for single annealed 99.98 percent aluminium.

強度は T の函数としてもまた $1/T$ の函数としても直線となることがわかる。

Fig. 9 Schematic isothermal recovery.

Fig. 10 Influence of annealing temperature upon corresponding tensile strength for ending of c-reaction recovery.

また Fig. 1 および 6 より明かなように継続回復なましによる性質—抗張力—の変化は Tammann⁴⁾ が示したように [Fig. 9 (a)] 対数曲線とはならず、相当長い休止時間 [Fig. 9(b)] があり、かつその後の変化は、概してシグモイダル型になる。

強度の回復は上述

のようにいわゆる回復処理によつて著しく進行するが、伸び率は Fig. 3, 5 および 6 に示すように、いわゆる回復焼なましのみにについてはほとんど回復しない^{*)}。この事実は、既に報告したアルミニウム細線の場合⁵⁾と全く同様である。すなわち伸び率は継続および単純なまし共に $200^{\circ}\text{C} - 3 \cdot 10^4 \text{ sec}$. 附近より同時に増加する。

これらの回復段階では上述の常温内部まきつ変化に対する説明と同様に弾性弛緩および空格子点および不純物原子などの転位への析出およびその他の原因により拘束されていた転位が回復処理によつて再分散および消失を起し、塑性歪の一部が消失して内応力をほとんど消失するものと考えられる。Fig. 2 および 8 に示す曲線の変化からも理解できるように、少なくとも結晶アルミニウムにおける回復は単一の方法ではなく種々の方法によつて進行すると考えられる。いまその一回変化たとえば Fig. 5 における“S—シグモイダル型変化”の終了時間と $1/T$ との関係を描けば Fig. 10 のように直線となり、この回復変化は約 $15,550 \text{ cal/mol} \approx 0.69 \text{ eV}$ の活性化エネルギーを

*) 次の機会に報告する。

Photo. 4 The specimen elapsed 150 hours in wet and dry corrosion test added the agent P-No. 2.

6. 総 括

以上砂型鑄物AC4C-T6とAC7B-T4の耐食性と共に繰り返し乾湿腐食試験における耐食特性を比較するため、3% NaCl+0.15% H_2O_2 水溶液について2~3の実験を行つた結果を要約すれば、

(1) 静止状態における浸漬腐食試験では後者は前者に比べて甚だすぐれた耐食特性を示し、いずれも(1)式の型式をとり従来の結果と一致した。

(2) 10分間浸漬20分間乾燥の乾湿繰り返し腐食試験を実施した結果、耐食特性は(2)式の型式をとり、静止状態の場合と大きくことなつた様相を呈した。この場合も4Cは7Bに比べて劣つていたが、前項の静止状態の場合

程ではなく、この関係は表面粗さ測定によつても確かめられた。

(3) 2種の性質のことなる重合リン酸塩添加剤を使用した静止状態における腐食試験の結果は、(1)式の特性を示したが、添加による耐食効果の向上はとくに認められなかつた。また、4Cは7Bに比べ甚だ劣つた。

(4) 添加剤を使用した場合の乾湿腐食試験の結果は(2)式特性に従うが、静止状態の場合と非常にことなつた傾向をとりとくにヘキサメタリン酸ソーダ系統では遅効性であつたが添加効果があり、4Cでも非常に良好な結果をとつた。また、表面粗さ状況の変化によつてもこれらの検討を加えた。

本研究の実施に当り、添加剤の入手に御協力いただいたK. K. 千代田化学工業所 浦野敦・中山茂・中山正夫の三氏に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 森永, 財満, 加賀美: 軽金属 Vol. 9, **34** (1959), 77
- 2) 森永, 財満, 加賀美: 軽金属 Vol. 9, **34** (1959), 84
- 3) 森永, 財満, 加賀美: 材料試験 Vol. 8, **73** (1959), 867
- 4) 例えば, 中山, 福原: 早稲田応用化学会報 **26**, **66** (1958), 17

(35頁よりつづく)

もつことがわかる。この値はアルミニウムの再結晶の活性化エネルギーに比べて相当小さい。

5. 結 論

冷間加工したアルミニウムの常温内部まきつおよび抗張力性質におよぼす継続恒温焼なましと単純恒温焼なまし処理の影響を比較してつぎのような結論を得た。

(1) 再結晶現象は継続恒温焼なましと単純恒温焼なましによつて変化しない。

(2) 回復現象は継続なましと単純なましとでは違つて現われるが、継続なましによる各温度における測定が回復現象の解析により有利である。

(3) (1)および(2)のために、軟化の解析は継続恒温焼な

まし処理にて行なうもななら矛盾はないから温度関係に対する解析は却つて理解し易くなる。

参 考 文 献

- 1) 美馬源次郎 および 井上良三: 日本金属学会誌, Vol. **22** (1958), 101.
- 2) D. Kuhlmann: Z. Phys., Bd. **124** (1947), 468
Proc. Phys. Soc. **A64** (1951), 140.
- 3) A. H. Cottrell and V. Aytakin: J. Inst. Metals, Vol. **77** (1950), 389.
- 4) G. Tammann: Z. Metallk., Bd. **24** (1932), 220.
- 5) 美馬源次郎, 朝井英清 および 柴田喜三: 本誌, Vol. **22** (197), 26.