

二三の鍛錬用アルミニウム合金の粒間腐蝕に及ぼす 静的應力並に熱處理の影響

(The Journal of the Institute of Metals 1939 No. 1. By J. D. Grogan, R. J. Pleasance)

川 勝 一 郎 譯

本研究は国立物理研究所の理工學研究部冶金研究室に於てなされたものである。

緒言 最近に於て金屬の粒間破壊の問題が相當の注意を喚起する様になつて來た。銅合金の研究者達は斯様な割れの生成に於て應力の重要性を強調した。そして之には或る最低應力が有て夫以下では此種の破壊を生じない。Moor 及其の協力者は粒間腐蝕を生ずる爲には或る特殊の化學藥劑が有れば良いと云ふ事が解た。Al 合金の研究者達は材料に與へられたる熱處理が粒間腐蝕の現象を制御する重要な因子なる事を發見した。材料が冷水に焼入した限りは一般に敏感では無いが、更に緩冷せる合金は粒間腐蝕に敏感であると云ふ事が解た。Meissner 及其の他の人々は或る種合金を冷水に焼入したる後低温度に焼鈍すれば粒間腐蝕に敏感なる事を示した。本文獻に於ては外力は粒間腐蝕に唯一の因子では無いが、斯かる敏感なる材料の破壊を加速する強力なる因子である。

第 I 部 亜鉛を含む Al 合金 亜鉛を含む或る種 Al 合金は次の點に於て他の合金と異て居る。即ち適當に熱處理して、空氣中で引張力を加ふれば、何等腐蝕剤を用ひずとも破壊を生ずる、然し何等目に見える腐蝕は生ぜず、其の破面は全く輝いたまゝである。此の部門に行はれたる研究は Rosenbain 及 Archbutt により用ひられたる合金に關してであつて、3% Cu 及 20% Zn を含むものである。此の合金は特殊純度の Al、電氣銅、99.9% Zn より成る。講義に述べた一連の研究は高級市販 Al を用ひた。

試料の製造法 金屬は電氣抵抗爐内にアランダムセメントにて内張せる鉛鐵製坩堝を入れて之を溶解し、脱ガス處理後約 3.5" d × 7" 若干勾配の付きたる鋳塊に鋳造せり。鋳塊を引抜いて 450°C に數日間焼鈍し、銅を殆んど固溶體にした。鋳塊は表面を全部除去し 450°C でプレスし 2.5" d 圓棒となし夫から 1" の厚さのストラップとなした。此のストラップは熱間壓延し 0.06—0.03" 厚さの板とした。分析結果に依れば、少量の Fe 及 Si 溶解中に吸収せる事を示す。實驗の大部に用ひたる材料は 0.03% Fe 及 0.002% Si を含有する。之等は熱處理せる研磨面にては夫々の成分としては見分けられない。Zn の或る程度の偏析がインゴットの底部に行くに従て見られた。少量が必要である所の他の組成の合金は同様に鋳造し 1" 角の金型棒とした。之等は平にプレスし熱間ロールで處定の寸法のものとした。

試験片は熱處理前の熱間壓延材料から壓延方向に切り取た。

熱處理 材料は空氣中にて平皿型電氣爐を以て加熱した。溶體處理の終期では試験片は平皿から焼入液の中に投入せられるか若しくは豫め取付けた銅線輪で爐内より引き出し、空中に曝して自然の冷却のまゝにする。

試験方法 應力は小ストリップを空中に懸垂し鉛分銅をかけ死荷重を加へる。

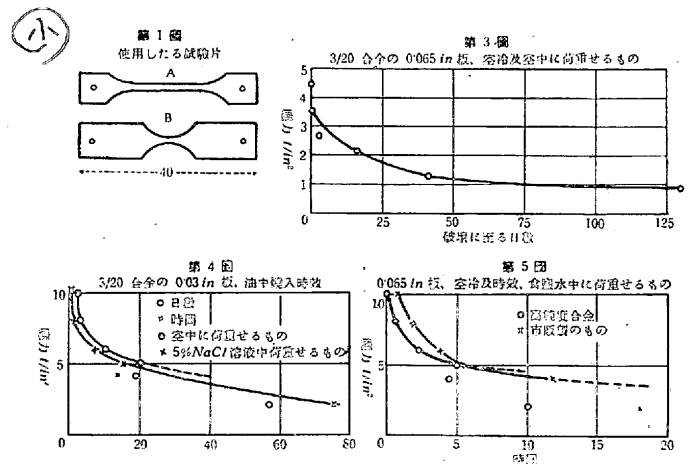
試験片は銅製ピンを上部孔に通して懸垂し銅製握みを同様に下部

に取付けて之に分銅を付けた。荷重は出来る丈軸方向に掛る様に注意した。食鹽水中で行はれた實驗では、ベークライト製ピン及棒より成る握みによつて保持される。第 1 圖 A に示す試料は應力に依て生ずる伸の決定に使用せるもので、標點距離 3 cm の平行部分を有する。第 1 圖 B に示す試験片は最大應力の掛る長さを減ずる如くなつて居る。之により得られたる圖形の不規則性を減ずる事が望まれる。

3% Cu, 20% Zn 合金の實驗結果

試験中に生ずる伸率 此の實驗に於ては試験片は No. 1A が用ひられた。標點距離は 3 cm であり其の實際の距離は 0.001 cm に目盛た Travelling Microscope に依り測定された。破斷後、切斷試料を合せて標點間の距離を再び測定する。之は破面の歪みが甚少であり、結晶粒が大きいから可成りの正確度で行はれる。破斷の端が、正確に合はぬ時は結晶粒の尖端より空隙の底部迄の距離を測り空隙の補正する事が出来る。加へられた應力が $6t/in^2$ を超える迄は試験中の伸は實驗誤差の範圍を出ない。

初めの標點からの偏差は一般に 2—3/3,000 に過ぎないで、屢々負となり、或は正となる。試験片が 5.1 及 5.3 t/in^2 の應力下で標點外で切れた事が二度あつたが、標點距離の變化は 0.000—0.001 cm で有た。



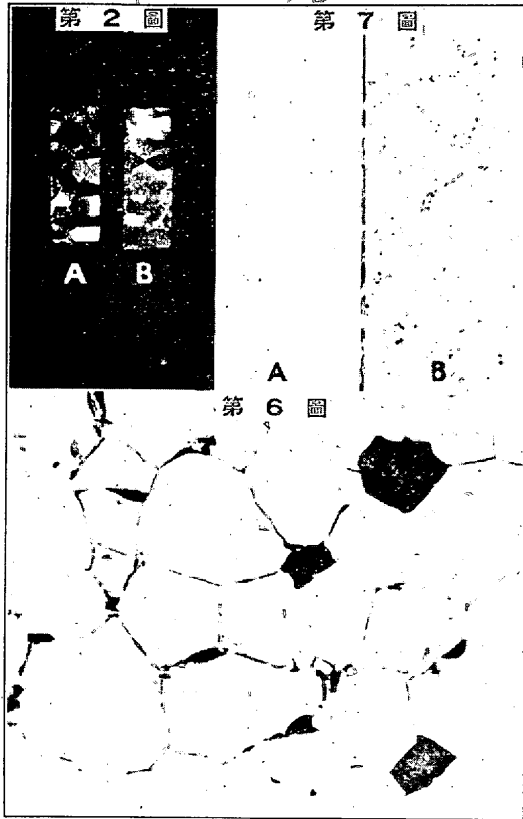
粒間割れに依る破壊に於て展性が缺けて居る事は此の合金に於ける前の研究者に一致する。

割れの性質 割れは主として粒界であつて抗張試験片破斷面には殆んど結晶粒横斷の兆候は見られなかつた。材料の結晶粒の大きが甚だ大きいから破斷面の特徴は全く低度の擴大で容易に決定出来る。代表的な破斷面は第 2A 圖及 B 圖に示す。第 2A 圖に示すものは 450°C から焼入した固溶體で光輝ある表面を示す。第 2B 圖は 300°C に再熱せる材料を示し、粒狀の組織は恐らく粒界の Cu Al₂ の析出なり。

破壊に至る應力—時間の關係 結果が不規則なるために此の關

係(應力と時間との關係)を決めやうとする企ては全くの成功とは言へない、不規則性の理由は後に述べることにする。一般に破壊に至る時間は、應力が減少するに従ひ急速に増加する。第3圖—5圖は一系統の曲線を示す。曲線は最大觀測回数ものを引いたものである。故に總ての點は曲線の下に有る。之は之が比較するのに最も正確なる方法で有ると考へたからである。破壊の達成に於ける一つ以上の割れの關係は破斷を生ずるに要する時間を不規則的に低下せしめる。空中及食鹽溶液中に荷重を加へたる材料は同様の形の曲線と與へるが、破壊に要する時間は溶液中にては更に短くなる。

曲線の形狀は Morris に依り眞鍮の研究に就て決定せられたるものと同様の形である。併しながら Morris が夫れ以下では破斷の生ぜぬ如き限界應力を發見したが 3/20 合金では若し之が存在するとせば $1 t/in^2$ になり、實際 450°C で溶解處理後、空冷せる 3/20 合金を食鹽溶液に入れたる場合は外力を加へずして粒間割れを起す。



冷却速度の影響 粒間破斷に對する合金の感受性は冷却速度に依り材質的に影響される。冷油中に焼入された材料は空氣中に冷却せるもの程敏感ではない。冷却の割合により生ずる感度の變化は甚大であるから此の方法に關する一致せる結果を得るためには空氣冷却に於て充分なる注意を要す。

感度に於ける變化は空氣中及食鹽水中に於ける兩試験に於て變化してゐる。第1表にその例が出てゐる。0.065" の厚さの空中冷却せる板は適當なる應力では甚だ早く破斷するが之は此の材料が冷却速度小なるためである。

食鹽溶液に於ける厚板及薄板の比較試験では油中に焼入して冷却速度が殆んど同一となる如くしたので同一應力下に於ける二つの材料間には何等著しき相違を見なかつた。

5%食鹽水中に於ける破壊 食鹽水中に於ける破壊は、空氣中に於けるものと同様の過程で行はれる如く見えるがその割合は甚大

であると云へる。其の例を第1表に示す。破壊に至る時間が數時間を超越する場合には屢々水準線の部分に於て腐蝕を生じ困難を感じた。此の部分は試験片の最少部分に比しその斷面數倍なるにも拘はず空氣の存在のため鹽類に依て腐蝕に敏感である。

第 1 表

破壊に至る時間

應力 t/in^2	空中にての荷重		5%食鹽水中に於ける荷重	
	空冷	油焼入	空冷	油焼入
6	1 day	4 1/2 day	1 1/3 hrs	9 hrs
5	1 "	4 1/2 "	2 1/4 hrs	12 1/3 hrs
4	2 "	9 "	1 hr	29 1/3 hrs
2	5 "	28 "	8 1/4 hrs	33 2/3 hrs

3/20 合金の破壊に至る關係試料は空冷、油焼入し空中及食鹽溶液中で應力を加へたものである。

之等の試験に於て食鹽溶液は底部を閉ぢた内徑 1 1/4", ガラスシリンダーに入れてある。試験片はその中心が表面から約 1 1/4" 下に入る如く浸漬せしむる。實際の状態からは溶解酸素がどの程度まで粒間腐蝕に影響するかは云ふことが出来ない。

空氣排除の影響 空氣の無い場合の試験をなすには金屬管によつてかこみつゝ荷重をかける。之は鑄型となつてその中に溶けたワセリンに 10% 白蠟を加へたものを注ぎ込む。凝固中に起る收縮は金屬の鑄造に於ける如く、容融混合劑を以て追ひ注ぎする。比較の爲空氣中の試験も同時に行た。或る試験では却て逆の効果をもたらしグリースは何等保護作用をなさぬ。空氣中で應力を加へた試験片では 4-5, 8-9 及 9 日で破壊した。グリース中に於ける三つの中二つの應力を加へたものは 4-5 日及 14 日で破壊し三番目のは 64 日後に破壊せり。夫から清淨し空中で荷重をかけ 6 1/2 日後に破壊した。他の系統では二つの燃料では 2 1/2 日及 4-5 日で破斷した。

夫から之を清淨にし空氣中で再び荷重をかけたるに 15 日の後に破斷せり。之等の結果からしてグリースを用ふる事に依り空氣を有効に排除すれば粒間の割れは起らず此の試験に於ける早期の破壊は空氣の排除が不完全なるためによると云ふ事を推定出来る。

低温度に於ける再焼鈍の効果 一連の試験片は溶解熱處理を 450°C で行た。一試験片は引出して空中で冷却し他は 400°C に冷却して其の温度に 24 時間保持した。夫から他の試験片は引出し空中に冷却せり。操作は 350, 300, 250, 200°C と階段的に續けた。各試験片は直に $5.2 t/m^2$ の應力を加へ破壊に至る時間を記録した。破壊せる試験片は研磨し顯微鏡的に試験した。450 及 400°C に熱處理せる材料は均一なる固溶體に現はれてゐる。

(第7圖A)

そして之は試験を行て速やかに破斷せり。350°C に熱處理せる材料では Cu_2Al_3 、化合物が部分的に分散しその大部は境界に在る。此の材料も又同様に速やかに割れる、

20°C に Anneal せる材料は三重組織、 Cu_2Al_3 と共に free Zn を含む。之は荷重下に比較的長く破壊せぬ。結晶の粒界には Cu_2Al_3 及 Zn の析出以外には何等變化がみられず、又低温度で Anneal せる加工材料は Rosenhain 及 Archbut に従へば粒間割れを防止すると云ふが、之には粗い不規則な粒界の發達の兆は見られなかつた。

此の研究より得られた結果から置き割れに對する金屬の感度を支配するものは固溶體中に於ける Zn の濃度であると云ふ事が可能と

思はれる。之は次章に述べる事にする。

他の成分の合金

Zn・Al 合金 Zn を 10 % , 15 % , 20 % 含む合金を高純度の材料でつくり之を 0.03" の厚さに壓延した。試験片は 450°C に於て溶體處理を與へたる後空冷し、空中で 6 t/in^2 の應力を加へた。

20 % Zn 合金は 3/20 合金と同様應力下で速かに破斷し一試験片は 4 時間で破斷し他は空氣中で試験の當夜に切斷せり。15 % Zn を含む合金は 120 及 169 日で破斷せり。10 % Zn を含む合金は 445 日でも破斷しなかつた。

全ての合金に於て粒間割れは 5 % 食鹽溶液中に上と同じ熱處理せる 15 % Zn 合金に初應力 10 t/in^2 を加へれば 2 時間で破斷しその破面は甚だ粗い粒界を示してゐる。10 % 合金は 26 時間で破斷したが、その破面は半分は明かに粒界であり、他の半面は明かに粒を横斷して居てかなり歪みを受けてゐる。10 % 合金の場合には初應力は合金の結局應力 (ultimate Striss) に甚だ近い。その結果低い初應力 (應力 6 t/in^2) の一連の試験は油中に挿入した 3 個の合金に就て行はれた。20 % Zn 合金は 25 及 37 分で破斷せり、15 % 合金は 25 分、35 分、18 時間、10 % 合金は水準線に於ては 20 及 43 日で破斷せり。高純度市販アルミニウムより成る 3/20 合金に就て二三の試験が行はれた。此の場合は 0.15 % Fe 及 0.12 % Si を含む。溶解處理の後に此の材料の結晶粒の大きさは高純度 Al から製したる金屬よりも小なり。然し乍らその粒間割れに關する作用は同様なり。此の材料の破斷に至る應力-時間曲線は第 5 圖に示す如し。次に 4 % Ag 及 20 % Zn を含む合金を作た。その目的は Zn・Al 合金の粒間割れに及ぼす銅と同屬の他元素の影響を研究する目的である。450°C に於ける溶體處理の後此の合金は甚だ粒間割れに對して敏感になる。得られたる結果は第 2 表に示す。

第 2 表 4 % Ag, 20 % Zn 合金に於ける破斷に到る應力時間の關係

450°C で熱處理し食鹽水中で試験せるもの

應力 t/in^2	破斷に至る應力		
	空冷せるもの	油焼入せるもの	
10	3 分	3 分	3 分
8	6 "	2 "	30 "
6	47 "	2 "	7 "
5	19 "	20 "	10 "
4	35 "	13 "	11 時間 5 分
2	5 時間 49 分	3 時間 5 分	26 時間 28 分

粒間割れ過程の顯微鏡試験 3/20 合金の帶板は適當の大きさに切り荒く研磨して試験片に造られる。試験片は熱處理し注意して中心迄研磨し腐蝕せず。

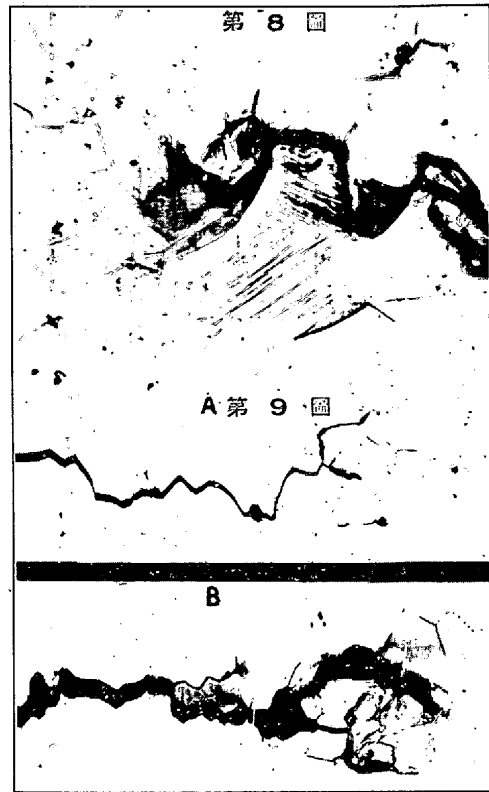
夫から空氣中で之に荷重をかけ割れの發達の顯微鏡試験のため週期的に動かした。應力の變化による荷重の週期の後に一つ又はそれ以上の細い横斷割れが最小斷面積の部分一般に端に現はれるが時としては板の表面に現はれる。割れは何等眼に見える歪みを伴はず材料は垂直照射の下では一様に輝いたまゝである。

腐蝕生成物は何も生成せず割れは肉眼には見へない。引續き應力を加へる中は一つ以上の割れが擴がつて試験片の端に達する。初應力が 6 t/in^2 の場合には割れは試験片の半分を過て擴がつても尙目に見へる歪みは生じない。

此の段階に於て通例板の兩面に發達するが尙肉眼には見へぬ。此

の段階迄は割れは一般に分岐して居らぬ。之が進むにつれて尙その性質は多少變る。即ち割れは分岐し若干の結晶粒界は同時に割れの傍の結晶に於て發達せる迂り線を伴ふものである。

割れの分岐は實際の割れが起た直後は表面のみ殆んど著しき歪みを伴はず迂り線の發達は僅かの歪みを伴ふから表面の一部は垂直照射の下では暗く見へる。(第 8 及 9 圖) 之等の觀測はこの研究に於て得られたる多くの結果の不規則性の説明を暗示するものである。 $33 \times 20 = 6.6$



割れの生成は直に試験片荷重の平衡を覆へすが之に基く局部應力の増加は最初の割れの位置に依る如くである。應力が増加するにつれて割れも急激に増加する。割れの傳播速度は割れの初めの位置に依る。金屬の結晶粒の粗大なるものは斷面に於ける結晶の数が少いために結果を不規則ならしめる。同様の試験を食鹽水中に荷重を加へた材料に就て行た。割れの過程は全く空氣中に於けると同様に見える。食鹽水中に於ける割れの發達は第 9 圖 B に示す。

第 II 部 Y 合金及 4 % 銅アルミニウム合金

此の實驗に於ては 0.030" 厚さの帶板試験片に對する海水噴霧の影響を試みた。之等の試験片は種々の熱處理を行たものである。第 1 圖 No.1 試験片を用ひたものである。之等は試験片の金屬と他の金屬との接觸を避けるためにベークライトの握みに懸け、屋根を覆つてはあるが三方は空け放しの小屋に懸して置いた。夫等の試料は前の一連の試料と同様 8, 6, 4 及 0 t/in^2 の引張力を加へた。そして一日に 2 回水を噴きかけた。

Y 合金 此の合金は市販の高純度の金屬より作た。試料の分析は次の如し。

Cu	Ni	Mg	Fe	Si	Ti
4.00%	2.07%	1.56%	0.16%	0.16%	0.17%

鑄造せるスラップは熱間壓延により 0.04" の厚さに延ばし 300°C で燒鈍して 0.035" に冷間壓延する。夫から 300°C で 2 時間

焼鈍し 0.035" に冷延する。試験片は冷間圧延板から切断し 520°C で1時間加熱する。之等は夫から出来る丈速やかに冷水又は沸騰水中に焼入れ又は第3表及IV表に述べた他の処理法を與へ、空气中に少くも10日間置く。最初に冷水中及沸騰水中に焼入れた材料間の比較を行て、之等二系列のものを同様な天候下に曝したのである。試験は二重に行た。二つの試片は沸騰水中に焼入れし 8 t/in² の荷重をかけた處が 5-6 日で破断し 6 t/in² のものは 13-14 及 15-16 日で破壊する。4 t/in² の荷重のものは 63-65 日で破壊する。

残りの試験片は沸騰水中に焼入れ 4 t/in² の荷重を加へたものを例外として除いた。之は 82-83 日曝露の後に荷重を掛けたまゝで残た。此の爲 65 日を曝露の標準として採用した。此の後破壊せずに残た試験片は取除き洗滌して乾燥し出来る丈速かに引張試験機で破壊した。最大應力は曝露以前の試験片の断面積に就て論じた。

第3表及IV表に述べた他の系列は空間を利用出来る様になつた時に試験したから同一の天候に曝露せるものではない。

第3表 静應力と食鹽水噴霧を最大 65 日間蒙た Y 合金板の破壊迄の時間と残存強度、粒間腐蝕を生ぜしめる熱処理

熱 處 理	試 験 中 の 應 力 t/in ²					曝 露 せ ず	
	8	6	4	4	0	A	B
空 冷	4日 1½" 3½"	5日 6½"	9日 9"	—	6.8 1 6.9 1	24.1 17 22.2 11 21.6 11	
	4日 9" 16"	16-17日 16-17"	18日 18"	—	5.5 <1 5.1 0	12.3 10 10.0 13	
冷水中に焼入れ 140°C に 20 時間再熱	6½日 6½"	5日 5" 8"	6½日 12"	—	13.5 1 13.0 1	22.3 14 22.5 11 24.0 11	
	5-6日 5-6"	12-13日 13-14"	63-65日 82-83"	—	16.4 3* 16.3 2*	22.2 17 23.5 14	
沸騰水中に焼入れ 350°C に 21 時間加熱	10-12日 10-12"	35-36日 43"	49日 49-50"	—	6.2 3 6.5 3	11.5 13 11.6 14	
	3-4日 2-3"	5-6日 5-6"	—	8.7 0 9.7 0	10.3 0 10.9 0	25.8 7 26.1 8	
沸騰水中に焼入れ空中時効及冷延	3-4日 6"	6日 6"	—	5.5 0 0+ 0	6.3 0 10.3 0	28.3 6 28.6 6	

- A 結局強さ、英 t/in²
- B 標點距離 3 cm の延伸率
- * 標點外で切斷せるもの
- + 曝露後の取扱で破斷せるもの

夫故二つの系列の間には何等量的比較はなされなかつた。然し乍ら定性的には判然とした結論に達し之は第IV表の如くなる。

4%銅合金 此の合金は適當な熱処理に依て單一なる固溶體に變へられ又、複式合金に變へられ従て二つの間に比較がなされるから試験のために選擇したものである。

この合金は高純度のアルミニウム及銅より成る。そして熔解の際に Contamination を防止する如く注意を要する。

湯中より取たサンプルは次の分析を示す。

Cu 3.99 Fe 0.003 Si 0.002

金屬は 1" 直径の金型に鑄造し 0.030" の厚さに熱間圧延する。

第IV表 65 日の間静應力と食鹽噴霧を蒙た Y 合金板試験片の残存強度粒界腐蝕を生ぜざりし熱処理

熱 處 理	試 験 中 の 應 力 t/in ²				曝 露 せ ず					
	8		6		4		0			
	A	B	A	B	A	B	A	B		
冷 水 中 焼 入	17.2	3*	17.7	4	16.6	4	17.3	4*	20.5	12*
	18.2	4	17.7	4*	17.7	5	17.1	5	21.2	13*
油 中 焼 入	19.2	5	19.7	5	19.7	5	21.3	7	23.8	17
	18.2	5	20.4	5	19.4	4*	20.3	7	24.0	19
冷水中に焼入れ直後冷延	23.4	2	24.4	2	23.6	1*	22.9	2	26.8	5
	24.4	2	24.8	2	24.6	2	22.9	1	28.0	7
冷水中に焼入れ空中時効冷延	28.4	1.5	25.7	1	26.2	1.5	25.3	1.5	29.2	2.5
	24.7	1.5	26.0	1	27.7	1.5	25.9	1.5	29.2	3
冷水中に焼入れ 100°C に 2 時間加熱	17.2	2*	18.3	6	17.3	4	18.1	5	23.2	17
	16.3	3*	16.9	3	19.0	5	17.7	4	23.4	17
80°C 水中焼入	16.4	3	17.7	3	19.1	4	17.9	5	21.9	12
	16.5	4	15.6	3	17.9	4	18.1	5	21.0	10
冷水中に焼入れ 100°C で 20 時間加熱	17.7	5	16.7	3	17.5	3	19.7	4*	23.5	10
	14.8	3	16.5	3	19.4	3	16.8	3	24.0	10

- A 結局強さ 英 t/in²
- B 標點距離 3cm の延伸率
- * 標點外で切斷せるもの

天候の變化に依る不精確さを除いては夫と同時に種々の熱処理を與へた。試験片は先づ 530°C に 3 時間加熱した。之により Al·Cu 化合物は二三の微粒子を除いて盡く溶けこんだ。夫から此の材料は冷水中に焼入れし唯二つの例外だけは空中に冷却するまゝにした。

530°C から焼入れた試験片は 500°C 及 450°C に一時間再熱し夫から冷水中に焼入れ空中に冷却した。530°C より焼入れ及空冷した試験片は 140°C に 20 時間加熱した。

之等は空中に 1 ヶ月時効するにまかせて夫から試験に供した。500°C に再熱した材料は僅かの Cu·Al 化合物を含み之が主として粒間に析出した。450°C に加熱した材料は相當量の Cu·Al 化合物を含み、共に結晶の粒界及内部に存在する。140°C に再熱する材料には析出が見られなかつた。

試験の結果 冷水中又は油中に焼入れて急冷した Y 合金は粒間腐蝕を蒙らない。そして外應力を加ふることは腐蝕による強度の減少にも影響しない。油中にて 100°C に 1 時間人工時効せる場合は粒間腐蝕を起さない。0.030" の厚さに冷間圧延せる材料は粒間腐蝕を生じない。

若し 80°C の水の中に焼入するか又は冷水中に焼入れた後に 100°C に 20 時間再熱せる場合には僅かではあるが顯微鏡下に於て明かに粒間腐蝕を示す。之等の試験結果は第IV表に示す。

前に述べたる如く沸騰水中に焼入れた材料は荷重に於て速かに破壊する。破壊の速度は荷重と共に急に増加する。空氣冷却又は冷水中に焼入れた後に 140°C で 20 時間加熱すれば更に敏感ならしめる。

沸騰水中に焼入れた後 350°C で 21 時間再熱すれば非常に軟化せしめるが破壊を防止せず又焼入れた材料を冷間圧延しても同様である。有らゆる場合に破壊は粒界である。外力を用ひずして曝露せる材料は腐蝕のため強度を失ひ又顯微鏡的試験は此の腐蝕が大部分が粒界に沿ふを生ずるを示す。4%銅合金の試験から得られた結果は Y 合金から得られた結果を一層確かならしめた。空中に冷却せる材料は荷重下で速かに破壊し甚だ脆くなり試験中荷重をかけない時きへ自重で破壊した事がある位である。水中に焼入れて 140°C に再熱せる材料は速に破壊する。すべての場合に破壊は粒界である。

得られたる結果は第 5 表及第 6 表に示す。4 % 合金に關する主なる試験の後に 530°C から沸騰水中に焼入れた材料に關する付加的試験を行た。試験片には曝露中破壊せるものはなかつたが之に引續き得られた引張試験結果は荷重の増加と共に縊々悪化して或る種の粒間腐蝕が生ずることを示す。

顯微鏡試験は軽度であるが判然とした粒間腐蝕を示した。得られた結果は第 5 表に示す。

第 5 表 65 日の静應力及食鹽噴霧を蒙た 4 %
Cu · Al 板試験片の残留強度

熱 處 理	粒間腐蝕を生じない熱處理									
	試験中の應力 t/in^2									
	8		6		4		0			
	A	B	A	B	A	B	A	B		
530°C より水中焼入	17.5	7	17.0	5	16.4	6	17.1	5	16.7	6*
500°C より "	16.3	5	17.0	6	17.3	5*	16.0	6	17.5	6
450°C より "	13.8	5	13.1	6	13.4	7	12.9	6	17.1	14
甚だ軽度の粒間腐蝕を起した熱處理										
530°C より水中焼入	15.8	5*	15.9	6	16.8	7	17.5	9	17.9	9
A	最大應力 英 t/in^2									
B	伸率 % 標點距離 3cm									
*	標點外で破壊せるもの									

第 6 表 最大 65 日の静應力及食鹽噴霧を蒙た 4 %
Cu · Al 板の破壊に至る時間及残留
強度、粒界腐蝕を生ぜしむる熱處理

熱 處 理	試験中の應力 t/in^2								曝露せず	
	試験中の應力 t/in^2									
	8	6	4	0	0	A	B			
530°C より空冷	3 日	6-7 日	6-7 日	—	0	0	16.2	13		
500°C " "	3-4 日	6-7 日	15-16 日	—	0	0	15.8	16		
450°C " "	<1"	1-2 日	3 日	15 日	—	—	12.5	17		
530°C より焼入 140°C に 20 時 間加熱	<1"	1-2 日	1-2 日	—	7.9	2	15.2	3*		
530°C より空冷 140°C に 20 時 間加熱	<1"	2-3 日	3 日	—	0	0	14.7	5		
A	最大應力 英 t/in^2									
B	伸率 % 標點距離 3cm									
*	標點外で破壊せるもの									

冷水中に焼入れた材料は顯微鏡で見える程に Cu · Al 化合物を粒界に析出したる場合も粒間を示さない。普通の腐蝕に基く強度の減少は Y 合金の場合に於けるよりも小さい。4 % 銅合金試験片及殊に Y 合金に於ては一般的腐蝕は壓延表面より切斷面に於て更に甚だしい。この理由により強度に於ける一般的影響は之等の試験に於て誇張される。之は試験片の幅が厚さに比して非常に小さいからである。

數年前に著者の一人及 dutton により次のことが提案された。

即ち冷水中に焼入れたものと沸騰水中に焼入れた材料との耐蝕性の差は前者は表面に於て大なる壓縮力を生じ之が粒界腐蝕に依る割れを閉じて從て更に腐蝕を妨げる。ここに述べた研究は此の提案が不正なることを示してゐる。

總 括

3 % Cu 及 20 % Zn を含む Cu · Zn · Al 合金は 450°C に於て溶體處理を行へば均一固溶體となり此の状態に於て粒間割れに敏感となる。低温度に於て再焼鈍して銅の析出を許してもこの感受性を消滅することは出来ない。尙低温度に於て焼鈍すれば Cu も Zn も同様に析出するが明かに之を減少するが、併し此の感受性を除去は出来ない。Cu の存在は此の過程には本質的ではなく、Zn のみを含有する合金は空中に於ても食鹽水中に於ても破壊することが發見された。

溶體處理の後の冷却は感受性にかなりの影響を及ぼし空中で冷却した板は冷油中に焼入れたものより敏感である。破斷に要する時間は荷重の減少と共に速かに増加する。然し破斷を生ずる最低應力は未だ調べられて居らぬ。そして粒界腐蝕は食鹽水では外力が存在しなくても生ずる。

此の點に於て之等の合金は α 眞鍮とは異なる。食鹽水中で應力をかけた 3/20 Cu · Zn 合金の粒間腐蝕は空中に於けるものと正に同様であるが併し液體中では破斷は更に速かに生ずる。空氣中に於ける破斷は大氣中の有る成分に依て起る粒界の選擇腐蝕に依るものと思ふ。ある研究に於て空氣の存在なしに應力を加へた時には破斷は起らなかつた。更に空中に於て應力をかけて曝す時は生じたる破斷は通常の如し。

死荷重をかけた研磨せる材料の顯微鏡試験は細い粒間割れが試験片の表面に發達し附近の金屬が見える程度に歪みを生ぜず擴がり遂に割れない金屬の斷面積が減少して加へられたる應力を高める。

この段階に於ては迂り線は結晶内で割れの根本を巡つて發達し或る程度の歪みが生ずる。この段階より僅かあとに破斷が生じ此の破斷は荷重の高い場合にも殆んど全く粒間である。引張荷重をかけた場合の Y 合金及 4 % Cu 合金に對する海水噴霧試験により溶體熱處理後の冷却速度の變化が甚だ重要な事が分つた。

冷水中に於ける焼入れの如き急冷却に於ては金屬は粒間割れに對して不感ならしめる。斯くの如き場合静應力は腐蝕による強度の減少に影響を及ぼさぬ。4 % 合金の粒間に顯微鏡の大きに析出せる Cu · Al の存在は腐蝕に影響するとは思はれぬ。

比較的緩やかな冷却速度例へば空中に於ける如き場合には粒間腐蝕に對し敏感ならしめる。之は加へられた應力により促進される。

併しながら斯くの如き應力は粒間腐蝕の發達に對して本質的のものではない。(完)