

銅・アルミニウム軽合金の焼戻硬化と 顕微鏡組織との關係

[合金の焼戻硬化に関する研究 (第6報)]⁽¹⁾

(化學研究所第7回講演會發表)

理學博士 宇野 傳三

理學士 村上 芳三

緒 言

アルミニウムに4%内外の銅を添加したるものは、諸種の焼戻硬化性アルミニウム軽合金の根幹をなす合金として、能く知られたる處なり。従つて、本合金の焼戻硬化現象の起る主因を闡明する事は、重要な問題なり。而して、本問題は十數年來、多くの研究者の俎上に横はれるも、今尙、論争は盡きざるものゝ如し。抑も、其論争たるや、焼戻硬化に際し、金屬化合物 CuAl_2 の微細なる結晶子が、均一固溶體組織上に析出するに依るとする派と、之に反對する派とにして、年々歳々、之れが反復さるゝ所以のものは、畢竟するに、析出に對する直接的の證據揚らざる爲、單に間接的の諸現象を捕へて、想像、憶説に終始せる故に外ならず。

茲に於て、著者等は、從來此の目的には、不可能視せられたる、顕微鏡組織的研究を丹念に繰返し、甚だ興味ある所謂、焼戻硬化の主因を説く、直接的の證據を握り得たるを以て、一路、本問題の解決に當らんとす。

本合金の焼戻硬化に對する顕微鏡組織的研究は、已に、數多の人々によりて行はれたるが、其の多くは失敗に歸し、偶、 CuAl_2 の析出組織を示すものあるも、合金自

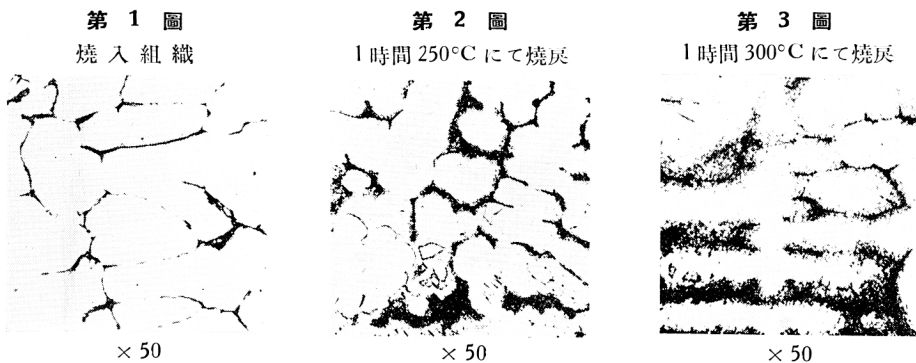
- (1) 第1報、宇野傳三、村上芳三 第6回當所講演會報告、(1932) (本誌所載)
第2報、宇野傳三、吉田定、工業化學會誌 **36** (1933) No. 4, 503.
第3報、第4報、第5報、川合照、日本化學會誌 **54** (1933) 754, 835, 1191.
第7報、宇野傳三、村上芳三、日本學術協會報告 **9** (1934) No. 1, 98.
第8報、宇野傳三、村上芳三、工業化學雜誌 **37** (1934) No. 4, 403.

體は、其の狀況に於ては 已に軟化せる場合なり。此の間にありて、唯一つ、Röhrig⁽²⁾の研究は、稍、成功せるも、焼戻硬化現象との關係に就ては、殆ど之に言及せず。尙 其の組織寫眞は、明瞭を缺くもの多く、本問題の解決には、從て、充分なりと謂ひ難し。

著者等は 第1報に於て、本問題の豫備的研究を報告し、顯微鏡組織的研究の、本問題解決に有望なる事を認めたるを以て、本研究に於ては、各種の熱處理を施せる試料を作り、特に 適當なる腐蝕法⁽³⁾を考案して、精細に鏡査法を行ひたる結果、所期の目的を達し得たり。今便宜の爲、直に 組織寫眞を掲げて、一々詳細なる説明を試みんとす。

實 驗 1.

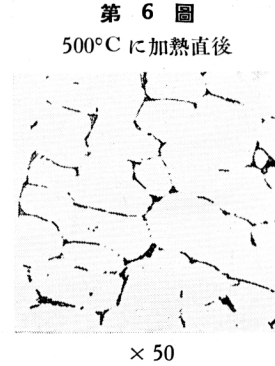
銅4%を含有する Cu-Al 合金を熔融後、其儘爐中にて 徐々に凝固せしめ、合金の組織を、成る可く粗大ならしめ、以て 鏡査に便ならしめたり。今 之を510°C に於て、1時間加熱し、氷水中に焼入後、種々の温度及び時間にて、焼戻を施して、研磨、腐蝕をなし、之を鏡査せり。鏡査に際し、最初は、視野を 成る可く廣くし、以て、組織變化の概觀を知らんが爲め、特に、低倍率に依れり。其の結果、200°C 迄の焼戻に於ては、焼戻時間1時間位なれば、其の組織は、殆ど、第1圖に示す焼入組織と大差なきも、250°C に於て、1時間焼戻を行ひたるものは、第2圖の如くに、極めて、微細なる細線狀の結晶子が、母體結晶粒の境界線に沿うて、析出せるを認むべし。



(2) H. Röhrig, Z. Metallk. 24 (1932), S. 231.

(3) 第1報に掲げたるものと、略、同様な腐蝕法を採用せり。

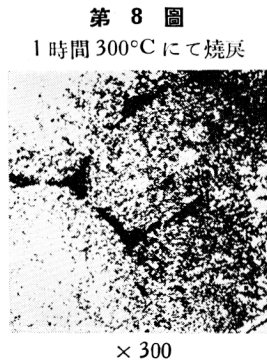
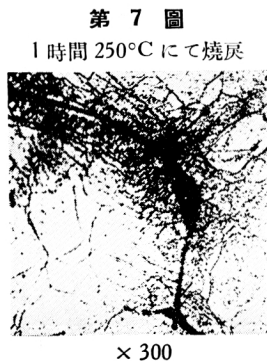
300°C にて 1 時間、焼戻を行ふ時は、第 3 圖の如くに、析出部分の面積は、漸次擴大せられたり。350°C にて、6 時間 焼戻を施す時は、析出品は 益、増加せる事 第 4 圖の



如し。然れ共、400°C にては、僅かに、1 時間の焼戻にありても、第 5 圖の如くに、析出品は 大に減少す。之れ、此の温度に於ては、一旦、析出したる結晶子は、再び、母體固溶體中に 溶解し去るが故なり。第 6 圖は 500°C に加熱直後の組織にして、析出品は 全部、母體中に溶解して、再び 均一固溶體となるべし。

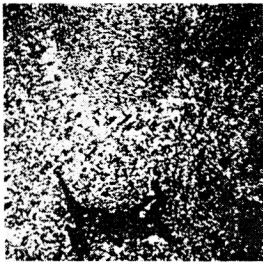
實 験 2.

前實驗に於て、析出品の位置、並に 焼戻度の強弱に依る、其の 増減状態を知り得たるが、尙 倍率を昂めて、主として、焼戻度の強弱に依る、析出品の増減を 詳細に鏡査せんとす。第 7 圖は、250°C にて、1 時間 焼戻を施したる場合にして、細線狀の結晶子



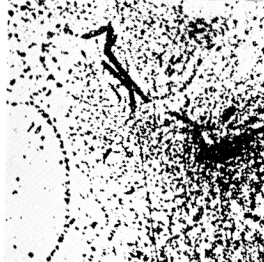
が、恰も、蜘蛛の巢の如き形態をなして、母體結晶粒の境界に 集積せるを見るべし。300°C にて、1 時間焼戻を施す時は、第 8 圖に示すが如く、析出量は増加し、其の形狀は、幾分粒狀に變化せるを認めん。更に、焼戻度を昂めて、350°C に

第 9 圖
6 時間 350°C にて焼戻



× 300

第 10 圖
1 時間 400°C にて焼戻



× 300

て 6 時間熱處理を施す時は、第 9 圖の如くに、析出量は、益、増加するも、其の 形状は、全く 粒狀に變ずる事を知る。然れ共、400°C にて、1 時間焼戻を施す時は、第 10 圖に示すが如くに、析出晶は 大に減少し、即ち、母體の固溶體內

に 溶解し去るなり。

實 驗 3.

上記の實驗に於ては、析出晶の焼戻度の強弱に依る、増加 並に、減少の徑路を知り得たるも、倍率 尙 小に失し、析出晶の形態を明かにする事を得ざりき。従つて、本實驗に於ては、倍率を 700 倍に昂め、焼戻の相違に基く、析出晶の 形態變化を 仔細に調査せんとす。

第 11 圖は、250°C にて、1 時間 焼戻をなしたる場合にして、析出晶は、母體結晶子の境界に密集して、

細網狀に現出せり。第 12 圖は、300°C にて、1 時間焼戻を施したる場合にして、細網狀の析出晶は、幾分、其の長さ 短縮するも、析出量は、寧ろ増加すべし。第 13 圖は、350°C

第 11 圖
1 時間 250°C にて焼戻



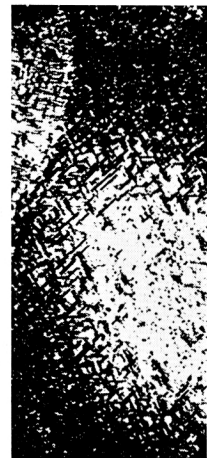
× 700

第 12 圖
1 時間 300°C にて焼戻



× 700

第 13 圖
1 時間 350°C にて焼戻



× 700

第 14 圖
6 時間 350°C にて焼戻



× 700

第 15 圖
1 時間 400°C にて焼戻



× 700

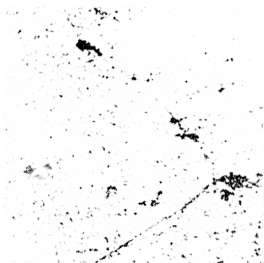
にて、1 時間焼戻を行ひたる場合に於て、析出物は、成長して太く短くなり、互に或る角度をなせるが如し。第 14 圖は、同温度にて、6 時間焼戻を行ひたる場合に於て、析出物は 全く粒状に化せり。

第 15 圖は、400°C にて、1 時間焼戻をなせる場合に於て、析出物は、粗粒状となるも、溶解の爲、甚だ其の量を減じたり。

實 験 4.

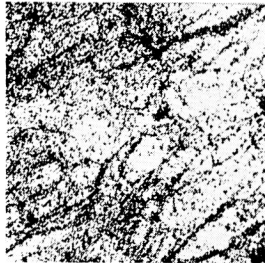
以上の實驗は、總て 爐中凝固試料に就て行ひたるが、更に、金型鑄造試料の場合に於ける、焼戻硬化に伴ふ 組織變化を攻究せ

第 16 圖
焼 入 組 織



× 700

第 17 圖
1 時間 250°C にて焼戻



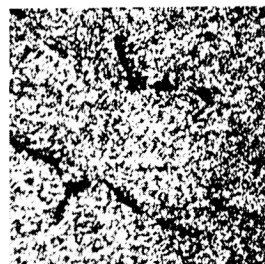
× 700

第 18 圖
1 時間 300°C にて焼戻



× 700

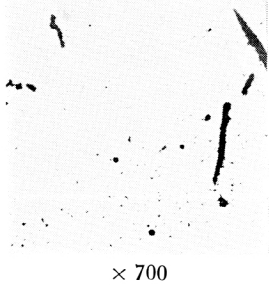
第 19 圖
430°C に加熱直後



× 700

んとす。第 16 圖は、金型鑄造試料を 510°C にて、1 時間 加熱したる後、氷水中に焼入せし組織にして、之を 250°C にて、1 時間 焼戻をなす時は、第 17 圖に示すが如く、微細なる結晶子の析出を見るべし。300°C にて、1 時間焼戻を施す時は、析出量増加して、結晶子の粒子 亦 大となる事、第 18 圖の如し。第 19 圖は、焼入試料を 430°C に加熱したる場合に於て、析出物は 著しく、粗大となる事を認むべし。更に、加

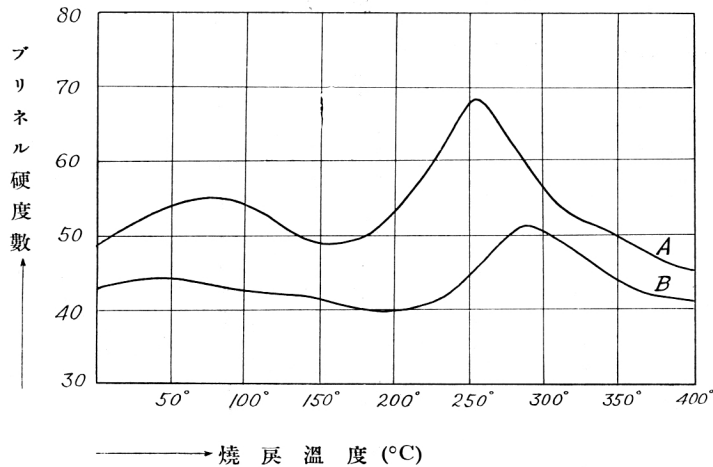
第 20 圖
500°C に加熱直後



熱温度を 500°C に昇す時は、第 20 圖の如くに、全く均一固溶體組織と化したり、鑄造試料の場合にありては、徐冷試料の場合と異り、組織細密なるを以て、析出晶は、始めより全面的に、現はるゝ傾向あり。而して、焼戻硬化度も亦、爐中凝固試料の場合よりも、遙かに大なり。之れ 即ち、顕微鏡組織と 焼戻硬化との間に、緊密なる關係あるが爲なり。

第 21 圖は、硬度測定の結果にして、能く叙上の關係を實證せり。圖中、曲線 A は、金型鑄造試料の焼戻硬化曲線を示し、曲線 B は、爐中凝固試料の場合に相當す。硬度の測定は、鋼球の直徑 5 mm、荷重 50 kg. のブリネル硬度計に依り、焼戻時間は、總て 之を 1 時間とす。圖に於て、明か

第 21 圖



なるが如く、鑄造試料の焼戻硬化度が、爐中凝固試料の場合を 遙に、凌駕せる所以は、前述せる組織變化の相違に依りて 自ら明かならん。

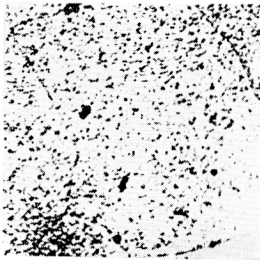
實 驗 5.

以上各種の實驗に於ては、試料として、何れも、銅 4% を含有する Cu-Al 合金を選

びたるが、今析出品が果して、銅に關係あるものなりや、否やを確證する爲に、銅含有分を異にせる、諸種の試料を探りて、前同様の實驗を繰返さんとす。先づ、焼入試料を 250°C に於て、1時間焼戻を施す時は、銅1%を含有する場合は、第22圖に示すが如く、殆ど、析出品を認め難きも、銅2%を含有する場合は、少量乍ら、析出品が細線状をなして現はるゝ事、第23圖に示すが如し。次に、 300°C にて、1時間焼戻を施す時

第 22 圖

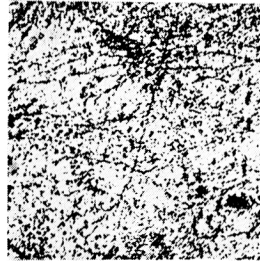
1時間 250°C にて焼戻



(1% Cu) $\times 450$

第 23 圖

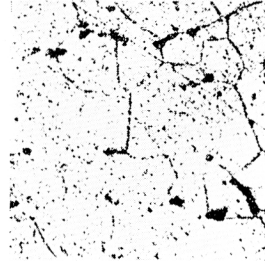
1時間 250°C にて焼戻



(2% Cu) $\times 450$

第 24 圖

1時間 300°C にて焼戻

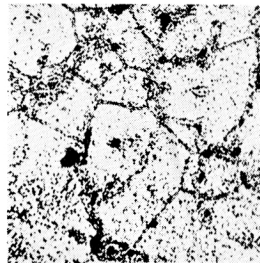


(1% Cu) $\times 200$

は、銅1%の場合には、第24圖の如くに、析出品は甚だ疎らなり。第25圖は、銅2%の場合にして、析出品は、 250°C にて焼戻の場合に比し、稍、増加せるも、多少粒状化せるの趣あり。

第 25 圖

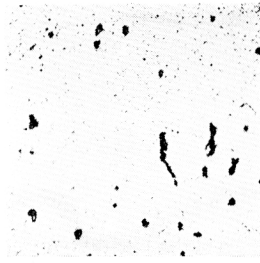
1時間 300°C にて焼戻



(2% Cu) $\times 200$

第 26 圖

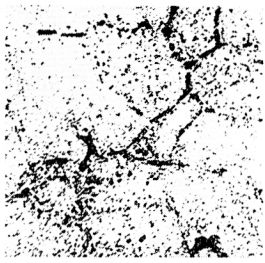
1時間 400°C にて焼戻



(2% Cu) $\times 200$

第 27 圖

1時間 400°C にて焼戻

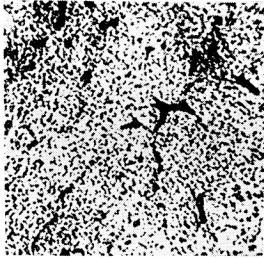


(3% Cu) $\times 200$

最後に、 400°C にて、1時間焼戻を施す時は、銅2%に於ては、殆ど、析出品消失せる事、第26圖の如きも、銅3%以上の場合にありては、漸次、銅分の増加するに従ひ、析

第 28 圖

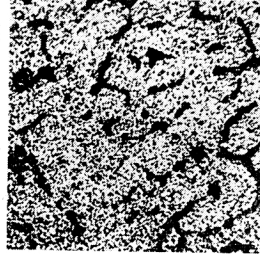
1時間 400°C にて焼戻



(4% Cu) × 200

第 29 圖

1時間 400°C にて焼戻



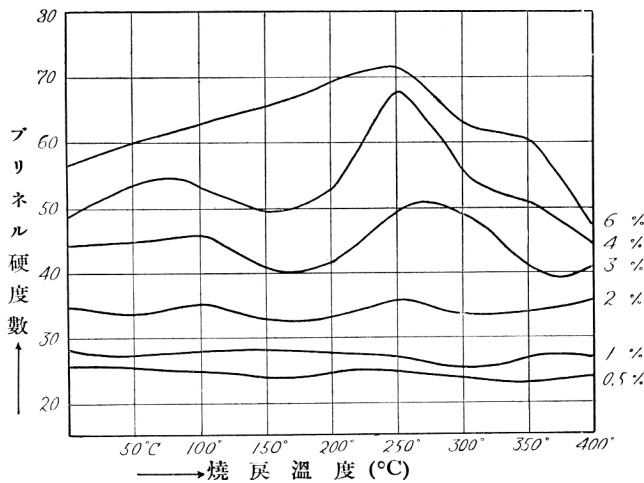
(6% Cu) × 200

析出は、多量に残存せる事を認むべし。第 27 圖, 第 28 圖, 並に 第 29 圖は, 此の関係を能く表はせるものなり。

斯くて, 析出物は 焼戻に依りて, 試料中の銅含有分の増加に伴ひ, 多量に現はるゝものにして, 即ち 析出物は, 銅

を含有し, 金屬化合物 CuAl_2 の微細なる結晶子と考察する事を得べし。而して, 銅分多き試料にありては, 析出量も亦 従つて, 多きを加へ, 之れが母體への溶解は, 益, 遅延する事も明かとなれり。之れ等の關係は, 前掲の組織寫眞を参照せば, 頗る明瞭ならん。次に銅 0.5, 1, 2, 3, 4, 及び 6% を含有する, Cu-Al 合金の 金型鑄造試料に就て, 其焼戻硬化曲線を測定する時は, 第 30 圖に示すが如き結果を得たり。

第 30 圖



本測定に於ては, 焼戻時間は總て, 之を 1 時間とす。圖に於て, 已に明白なるが如く, 銅分 0.5 並に 1% の場合にありては, 全く焼戻硬化せざるも, 2% の場合には, 微弱

乍ら、焼戻硬化せるを認むべし。3%以上に於ては、焼戻硬化は漸次著しきを加ふ。之れ等の關係は、前述の顯微鏡組織的研究と能く合致する處なり。

結 語

之を要するに、以上の研究に依りて、銅・アルミニウム輕合金に於ける焼戻硬化の主因は、均一固溶體より微細なる結晶子の析出するに基く事、明白となれり、又、此の析出晶は、從來の説の如く金屬化合物 Cu_2Al_3 なりと斷定する事も、合理的なり。更に亦、最大の硬化を示す場合は、析出晶 細網狀 乃至 細線狀にして、焼戻度の進むに従ひ、析出晶は漸次、粒狀に變化して、硬化度を減するに至るべく、遂に、析出晶は粗粒となり、合金は愈、軟化すべし。

尙 著者等は、之れ等 各種の實驗に依り、或は、析出晶の現出する位置、或は、析出晶の形態 並に、焼戻に伴ふ形態の變化、或は、析出晶の焼戻度に依る増減、並に 消失等を仔細に、知悉する事を得たるなり。