

金属学与热处理文集

哈尔滨工业大学
金属教研室 热处理教研室



冶金工业出版社

金属学与热处理文集

第 3 輯

哈尔滨工业大学 金属学教研室 編著
热处理教研室

冶金工业出版社

出版者的話

在党的社会主义总路綫光輝照耀下，我国冶金工业获得空前的发展。冶金工作者对各专业的图书資料的要求日益增长，为了适应金属学及热处理工作人员的需要及弥补图书之不足，我社出版一套“金属学与热处理文集”。

这一套文集包括我国作者和外国作者有关金属学及各种鋼与合金的热处理和性能的論文，按不同类别分册出版，或将不同类别的論文汇编成册出版。

本辑系哈尔滨工业大学金属学教研室和热处理教研室 1957 年以来所作的論文的一部，包括耐热鋼、鑄造高速鋼、鋁导綫及奥氏体稳定化等九篇論文。可供我国冶金与机器工业部門的金属学与热处理人員参考。

金属学与热处理文集 第 3 輯

哈尔滨工业大学 金属学教研室 热处理教研室編著
冶金工业出版社出版(北京市灯市口甲 45 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 号

西四印刷厂印 新华書店发行

1959 年 11 月第 一 版

1959 年 11 月北京第一次印刷

印 数 1,020 册

开本 $850 \times 1168 \cdot \frac{1}{32}$ · 80,000 字 · 印张 $3 \frac{22}{32}$

統一書号 15062·1905 定价 0.49 元

哈爾濱工業大學金屬學教研室和熱處理教研室在黨的關懷下和蘇聯專家的幫助和指導下，自1955年以來已經從事了四十餘項課題的研究。值此國慶十週年之際，我們把1957年以來的一部分研究結果，編輯成冊交冶金出版社出版。其中包括有關鑄造高速鋼方面的二篇，耐熱鋼方面的三篇，鉛導線方面的一篇及奧氏體穩定化及 γ 工具鋼熱處理等方面的三篇。在進行這些工作過程中，曾得到哈爾濱量具刃具廠、長春第一汽車製造廠等單位的大力協助，我們向他們表示謝意。

由於編寫和整理時間比較倉促，作者水平有限，論文中難免有不足之處，望讀者提出意見和批評，我們將誠懇地接受和感謝。

哈爾濱工業大學 金屬學教研室
熱處理教研室

於1959年8月

目 录

1. 冷拔变形对阿尔德莱依 (Aldrey) 型 Al-Mg-Si 合金时效过程的影响……許守康 V. 雅萊士 V. 考瑪萊克… 1
2. 冷轧对奥氏体 3H 395 型耐热钢的组织及性能的影响……朱日彰 M. J. 伯恩斯坦…20
3. 冷硬变形对奥氏体型耐热钢的耐热性能的影响 朱日彰…31
4. 冷硬变形对 3H 437 型镍基高温合金耐热性能的影响…… 朱日彰…44
5. 加硼减铬铸造高速钢的研究……楊杰章 姚忠凱…50
6. 铸造高速钢铸态组织和性能的研究……楊杰章 史美堂…65
7. 马氏体对奥氏体中温转变的影响……戚正风 張 中…82
8. 为 2 鋼与 15 鋼分級淬火的研究…康詠狂 戚正风…91
9. 为 2 鋼尺寸稳定化的研究……戚正风 赵国泰…103

冷拔变形对阿尔德莱依(Aldrey)型 Al-Mg-Si 合金时效过程的影响*

許守廉 V. 雅萊士 V. 考瑪萊克

提 要

以測量物理和力學性能變化的方法研究不同冷拔變形度對阿爾德萊依型鋁合金時效過程中固溶體分解各階段的影响。結果指出,冷拔變形顯著加速時效過程的進行。並按計算出的 α 固溶體分解時的擴散激活能推知時效過程中 σ_s 最高值受硅原子擴散所控制, $Q=25600$ 卡/克原子,而電導率最快反應速度受鎂原子的擴散所控制, $Q=38000$ 卡/克原子。

一、文獻簡單總結

阿爾德萊依(Aldrey)型 Al-Mg-Si 合金是一種高壓輸電材料。它的化學成分各國略有差別;大致含 0.3~0.5% Mg, 0.4~0.7% Si, 0.2~0.3% Fe。根據發表的有關此種合金的研究,可分為相圖、成分、熱處理工藝和應用等四方面的工作。

在 Al-Mg-Si 三元相圖方面,1921 年 D. 韓桑(D. Hanson)和 M. 蓋來爾(M. Gayler)^[1] 做的工作是十分重要的,他們確

* 本文是 1958 年 12 月在捷克工業大學(ÖVUT)完成的。次此發表前,又做了一些補充與修改,因時間關係未經指導人審閱。

定了 Al-Mg-Si 三元合金的液相面、固相面，研究了在 500°C 和 150°C 截面上的相变线，并且确立了时效时合金的强化程度和溶入 α 固溶体的 Mg_2Si 含量成正比。此后迪克斯(Dix, E.)^[3]、包赤瓦尔(A. A. Бочвар)^[8]、沃龙诺夫(C. M. Вороноб)^[4] 都又较详细的研究了在一些温度下，Mg、 Mg_2Si 和 Si 的溶解度。此外在 1946 年发表了菲利浦斯(Phillips)^[6] 等做的 Al-Mg-Si-Fe 四元相图。

我们综合这些工作的结果绘制了图 1、图 2。

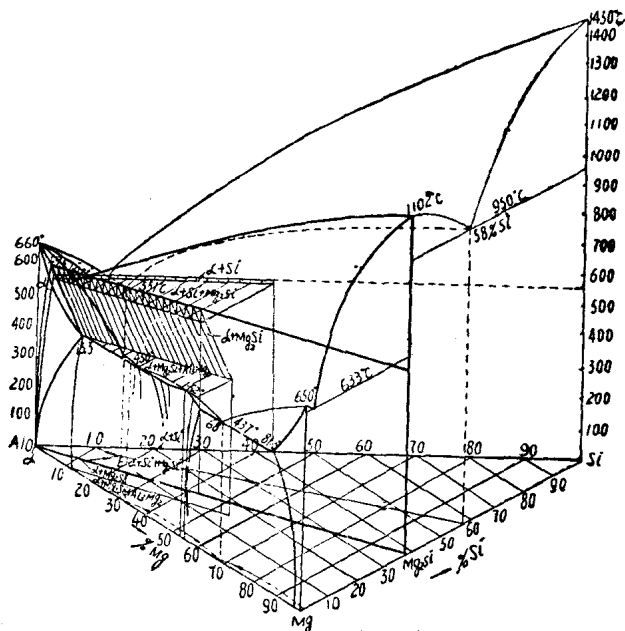


图 1 Al-Mg-Si 三元平衡图

1927 年费哈(Fuchs, A.)^[6] 发表了第一篇高压输电阿尔德莱依合金的文章。该合金的抗张强度 $\sigma_b = 35$ 公斤/毫米²、电导率 $\alpha_{20} = 31.5$ 米/欧姆×毫米²。此后关于合金中 Mg、Si 的含量及比例关系，杂质 Fe 的影响等由乌拉佐夫(Г. Т. Уразов)^[7]、盖勒

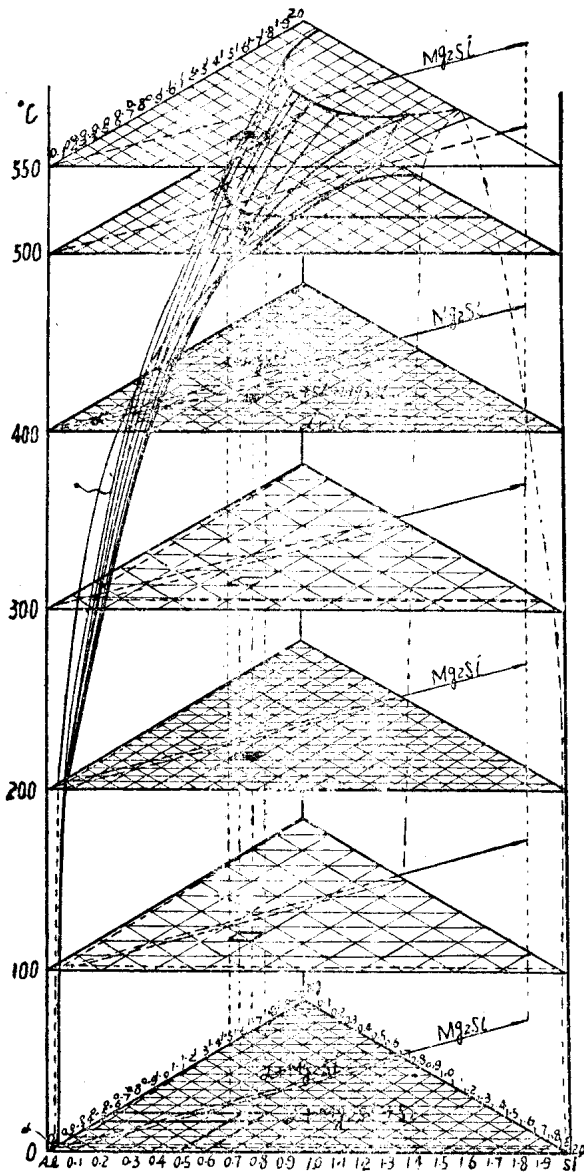


图2 Al-Mg-Si 三元平衡图之一角

尔(W. Geller)^[8]和包斯哈尔德(M. Bosshard)^[9]等人做了系统的研究,肯定了阿尔德莱依合金的化学成分,并指出当析出相为 Mg_2Si 及少量 Si 时,时效的强化效果最好。

在热处理工艺方面包赤瓦尔(A. A. Бочвар)^[10]和沃龙诺夫(C. M. Воронов)^[4]研究了淬火温度、时效温度及两者间停放时间对时效后力学性能的影响。以后哈赛(C. Haase)^[11]也研究了时效和强度间的关系(见图3)。

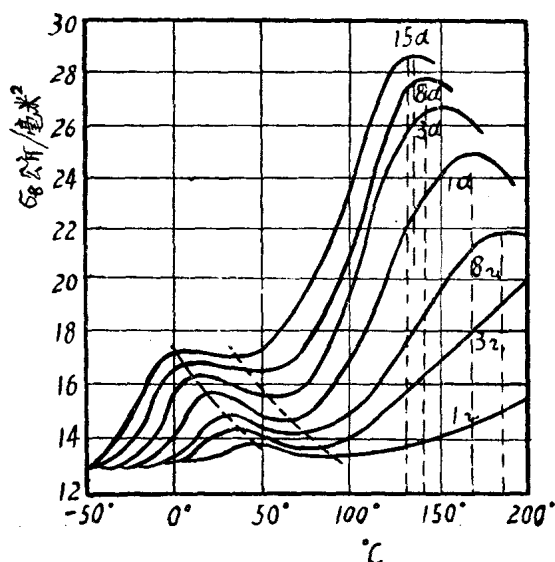


图3 530°C/1小时水淬后时效强度与时效温度及时间的关系

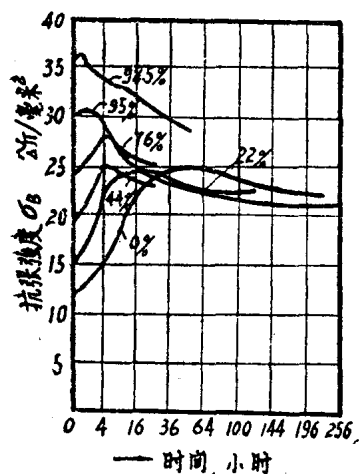
关于 Al-Mg-Si 合金时效机构方面,盖斯勒尔(Geissler, A. H.)、希来(Hill)、古尼尔(Guinier, A)和拉姆包特(Lambot, H.)等人进行了许多工作,并由哈尔基(H. K. Hardy)等做了综合论述^[12]。现在看来可能的分解过程如下:

在 $(100)_{Al}$ 面产生富集 Mg 与 Si 原子的“基—皮”区

$\rightarrow \beta'$ 过渡区 $\rightarrow \beta$ 即 Mg_2Si 。

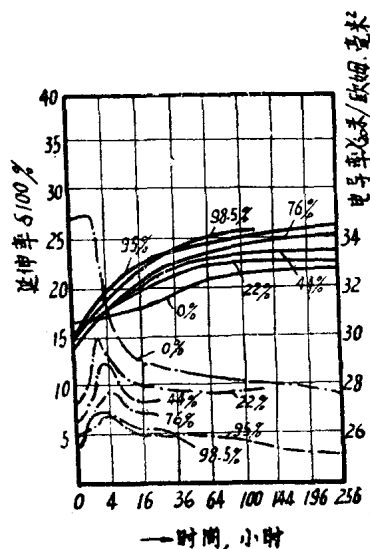
变形对时效影响方面，过去的工作还不多。1940年庫茲涅佐夫(В. Г. Кузнецов)和馬卡洛夫(Е. С. Макаров)^[13]曾以X光的方法研究了含1.2% Mg_2Si 的鋁合金，并獲得变形显著加速时效过程的結論。1953年布依諾夫(Н. И. Буйнов)^[14]以电子显微鏡的方法也証實了这一結論。

近年来那霍基戈爾(Nachtigall, E)^[15,16]等对阿尔德勒依合金的加工工艺又进行了許多工作。研究了变形度对160°C时效后力学性能和导电率的影响。結果如图4、5、6所示。



淬火+变形+时效

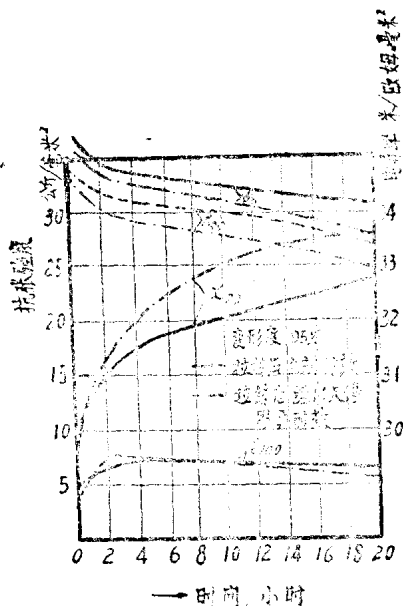
图 4



淬火+变形+160°C时效

图 5

冷加工变形对热处理工艺及强化合金性能的影响是显著的，具有重要的实际价值，值得进一步系統地研究，本文即对此做一些探討。



淬火+变形+100°时效

图 3

二、試驗方法及結果分析

原材料是由純度 99.7% 的鋁 (主要雜質為 Fe 和 Si) 和 Al-Mg、Al-Si 合金在坩堝電爐中溶配制成。鑄錠直徑為 70 毫米，長 210 毫米。經表面車削後直徑為 62 毫米，長 170 毫米。

化學成分見表 1。

表 1

化學成分 錠 号	Si%	Mg%	Fe%
鑄錠 1	0.50	0.42	0.14
鑄錠 2	0.53	0.42	0.13
鑄錠 3	0.50	0.44	0.22
鑄錠 4	0.62	0.40	0.13
鑄錠 5	0.62	0.43	0.14

表面車削后的鑄錠在 480°C 均匀化加热 17 小时, 然后于該温度下一次热挤压到 $\varnothing 16$, 再經打絲打成直径为 $\varnothing 11$ 的圓棒。下一步热处理与拔絲的工序按表 2 进行。

表 2

原始直径	热 处 理	拔 絲 $d_0 \rightarrow d$	变形度	用 途
$\varnothing 11.0$	$525^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}/2$ 小时水淬	$\varnothing 11.0 - \varnothing 2.5$	95%	力学性能实验
$\varnothing 6.0$	"	$\varnothing 6.0 - \varnothing 4.0$	55%	"
$\varnothing 4.0$	"	$\varnothing 4.0 \rightarrow \varnothing 1.0$	0%	"
$\varnothing 4.5$	"	$\varnothing 4.5 \rightarrow \varnothing 1.0$	95%	物理性能实验
$\varnothing 1.5$	"	$\varnothing 1.5 \rightarrow \varnothing 1.0$	55%	"
$\varnothing 1.0$	"	$\varnothing 1.0 \rightarrow \varnothing 1.0$	0%	"

$$\text{变形度}\% = \frac{d_0 - d}{d_0} \times 100$$

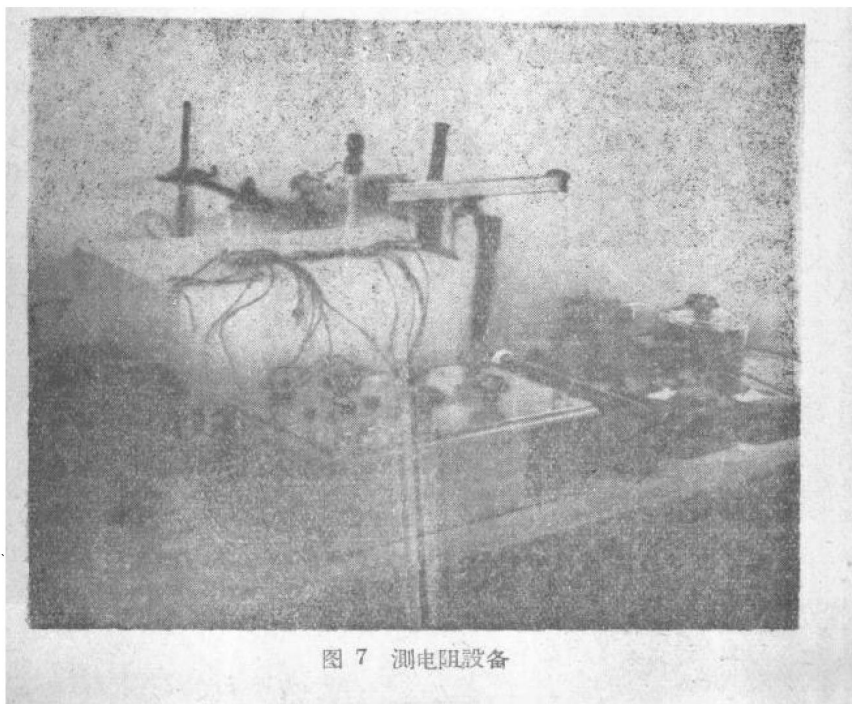


图 7 测电阻设备

按表 2 制成的試件分別于 20°C , 70°C , 120°C , 140°C 和 $160^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 进行时效处理。保温时间为 2, 4, 6, 8, 16, 32 和 64 小时。

采用了测量电阻变化及力学性能实验的方法研究变形对时效的影响, 同时并测量了固溶体点陣常数的变化。

电阻是用捷制湯姆遜双电桥测量的(見图片 7)。精度为 0.02%, 标准电阻采用 $0.001\ \Omega$ 。被测鋁絲置于 $25^{\circ} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的煤油恆温槽內。鋁絲电阻約 $0.01\ \Omega$ 左右, 測得数据的誤差 $< 0.15\%$ ($1.5 \times 10^{-5}\ \Omega$)。并以德制高精度电位差計 (R-F-T, VEB) 用补偿法进行了校对与检查。力学性能試驗是在最大載荷为 500 公斤的拉伸試驗机上进行的, 强度值总誤差 $< 1.3\%$ 。点陣常数是以銀粉为标距以背反射法测量的。

試驗結果分述如下。

1. 冷拔变形对退火和淬火合金的強化作用

为了清楚的了解变形对不同状态固溶体的影响, 冷拔前我們將一部分試件进行了长期退火, 直到按点陣常数的变化固溶体完全分解为止。从图 8 看到退火与淬火合金的抗张强度都随变形度的加大而增高。但淬火合金强度上升快, 并且变形度愈大就愈显著。当变形度为 95% 时, 淬火冷变形合金的强度达 32.7 公斤/毫米^2 , 較变形前提高 110%, 为退火状态的 360%。所以淬火冷变形是强化合金異常有效的方法。此时点陣常数也有了一些改变, 說明在变形中已产生了部分时效分解。由导电率的变化来看, 变形对导电性能的影响很小 (2~3%), 而淬火带来的影响却很大 (較退火状态降低 17%)。由此可知, 異类溶質原子在固溶体中的溶解或沉淀, 将使电导率产生显著的变化。

2. 淬火合金的时效过程

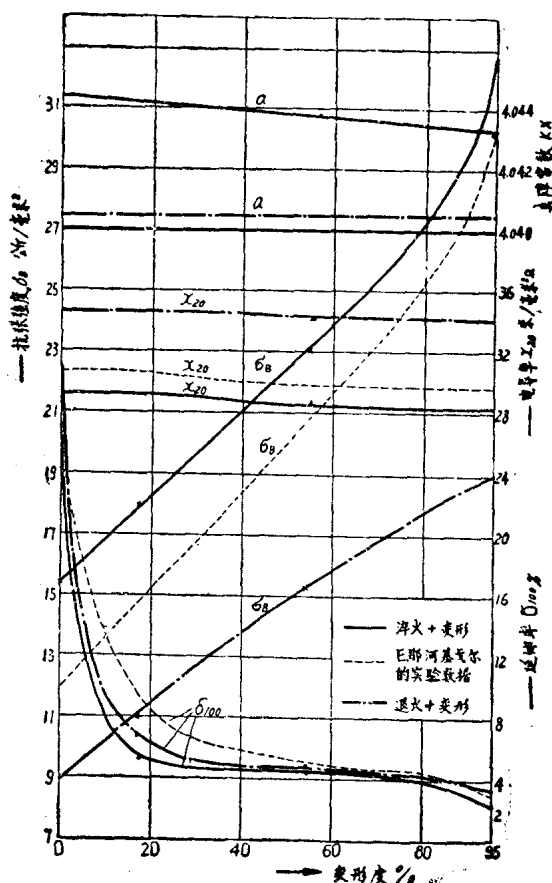


图 8 变形对合金的强化作用

如图 9 所示, 自然时效时抗张强度稍有升高; 而电导率徐徐下降, 70°C 时效, 电导率下降更较显著, 这说明固溶体晶内形成了局部富集 Mg 与 Si 溶质组元原子的盖尼也—普烈士顿区的结果, 会提高合金的电阻^[12,17,18,24]。在 120° , 140°C 时效过程中, 电导率不降低或稍升强度增加也大致如此, 这说明不产生基—皮区新相 β' 晶核开始成长。当 140°C 时效近 64 小时或 160°C 时效 8 小时, 电导率显著的上升, 此后抗张强度也有迅

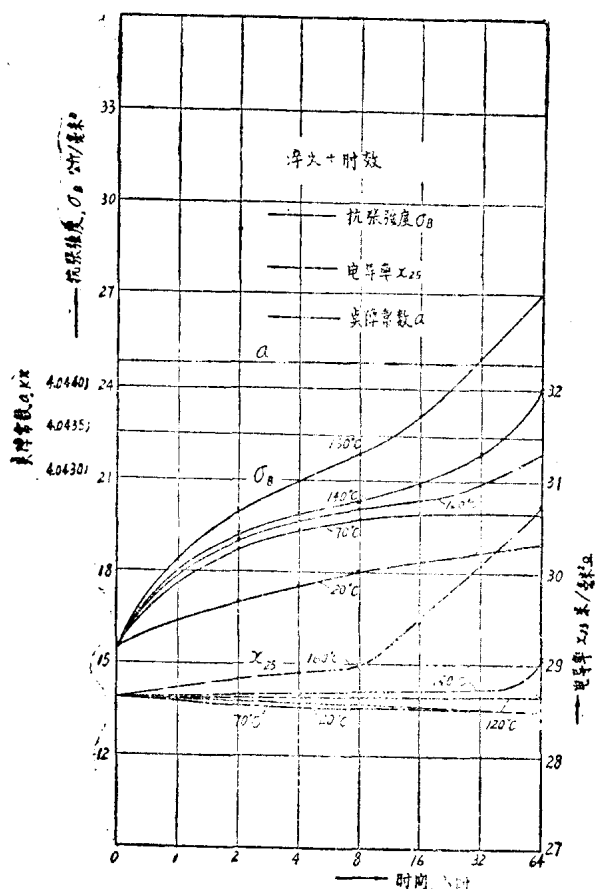


图 9 淬火后在不同温度时效时, 合金性能的变化图

速的增高, 这意味着晶内产生了较大的扩散或变化, 我们认为这是 β' 相的形成并转向 β 相的阶段。此后电导率与抗张强度都一直上升, 所以高温时效过程是处于 β' 成长、向 β 相过渡与 β 长大的时效第一、第二两阶段。因此, 温度在 160°C 以下, 保温 64 小时以内, 时效过程只处于基一皮区 (20° 或 70°C 低温时效), β' 相、和 $\beta' \rightarrow \beta$ 相 ($120, 140, 160^\circ\text{C}$ 高温时效) 的两个阶段内。此时由于扩散慢、析出相少, 还观察不到点阵常数的

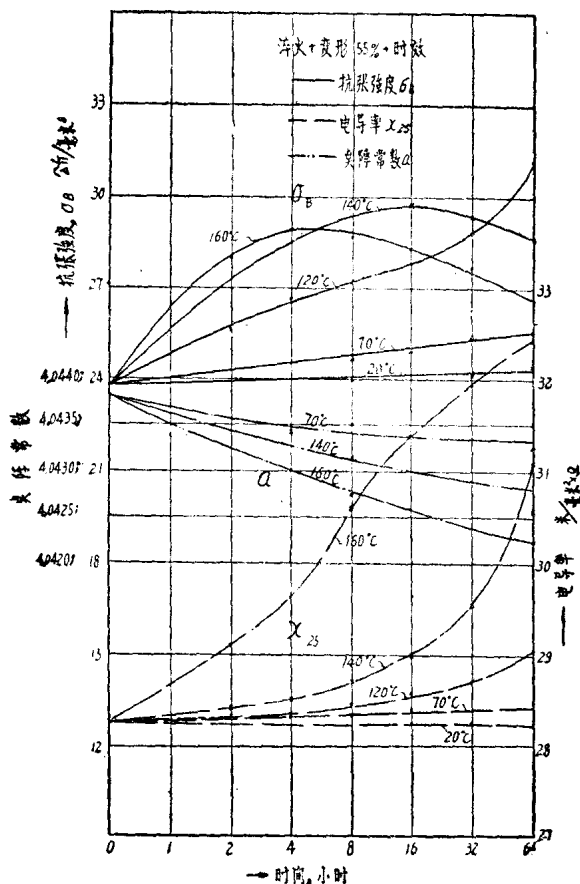


图 10 淬火+变形55%+时效

改变。

3. 冷拔变形对淬火合金的时效影响

图 10、图 11 是 55% 与 95% 两种不同变形度对时效过程影响的关系图。在較低的时效温度下，如 20°C、70°C、120°C 各曲线变化规律，基本上和图 9 相似，不过变化的数值大了些，并且没有电导率下降的现象。所以时效过程较未变形者进行得快。基—皮区被变形所破坏或不产生，因此在低温时效开

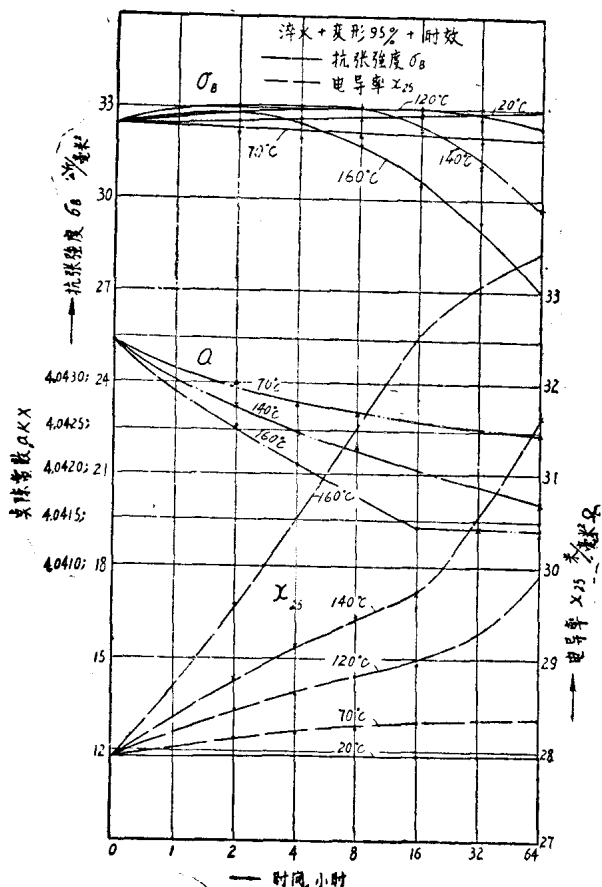


图 11 淬火+变形95%+时效

始，就是 β' 相成核与生长的过程。在较高的温度下，如 140°C 与 160°C，抗张强度出现了最高值；电导率的上升也较低温或未变形时高很多。并且温度愈高，变形就愈大；抗张强度最高值和电导率反应速度最快的时间出现得也愈早。这更充分说明变形加速了时效分解。但时效温度低时，图 10，图 11 中各种性能变化仍较小；而提高温度后，则看出变形对时效的显著影响。此证明温度仍是时效过程的基本控制因素。强度最高值的