

# Al-Mg-Mn合金의 機械的 性質에 미친 予備圧延의 影響

芮吉村·孟璇在  
韓國科學技術研究所 材料試驗室

## Effect of Pre-Rolling on the Mechanical Properties of Al-Mg-Mn Alloy

Gil-Chon Ye and Sun-Chae Maeng  
Material Testing Lab., Korea Institute of Science and Technology

(1974. 7. 1接受)

### ABSTRACT

In this work the effect of pre-rolling on the homogenization and on the mechanical properties of 4.6% Mg-0.5% Mn-0.18% Cr-Al alloy has been studied. At room temperature tensile strength and elongation have been found to increase in the pre-rolled homogenized sample compared to those of the as cast sample. At 400°C this pre-rolled homogenized sample has shown a little lower tensile strength and a remarkably higher elongation than the samples as casted or homogenized without pre-rolling.

Metallurgical microstructure of the pre-rolled homogenized sample has shown conspicuously less secondary phase such as  $\beta$ -phase at the grain boundaries than the other samples. The difference of magnesium content between grain boundaries and within the grains has been also checked by EPMA. The test results show enhanced homogenizing effect by the pre-rolling before homogenizing heat treatment.

### I. 序 論

半連續鑄造된 展伸用 알루미늄합금 슬라브(slab)는 鑄造時의 매우 높은 冷却速度(Chilling rate)로 인하여 鑄造組織이 interdendritic second phase를 形成하며 結晶粒界에는 金屬間化合物이 形成되거나 共晶組成이 이루어지기 쉽다. 따라서 이러한 鑄造狀態의 슬라브는 熱間圧延時에 赤熱脆性を 誘發하여 표면균열을 發生시켜 熱間加工性이 좋지 못하다(Williams, 1957). 또는 結晶粒界에  $\beta$ 相(Mg, Al<sub>3</sub>)이 連續的으로 殘存한 경우는 応力腐蝕破斷의 要素가 되고 있다(Taylor, 1964). 따라서 高強度 알루미늄합금의 경우에는 슬라브의 充分한 予熱處理를 通하여 이들 結晶粒에 形成된 共晶組成을 除去, 減少시키므로써 加工性 및 機械的 性質을 현저히 向上시키고 있다(Hardwick등, 1961-62 및 Singh등, 1969-b). 즉 Al-4.5%Mg-Mn 슬라브의 경우에 적절한 予備加熱로 熱間押出性を 改善시킨 바 있으며(Braeuninger, 1969) 특히 이 合金슬라브를 熱間圧延하기 위해 먼저 슬라브를 予備押出(pre-extrusion)시켜 鑄造組織을 개선시킴으로써 熱間圧延性を 많이 向上시키고 있다.(Staples and Hurst, 1952-53).

本研究에서는 展伸용 Mg系 알루미늄합금 슬라브를 對象으로 予備加工이 均質化 熱處理效果와 機械的 性質에 미친 영향을 調査하였다. 즉 半連續鑄造된 슬라브를 予備圧延시킨후 熱處理를 하고 機械的 性質을 室温 및 高温에서 試驗하였다. 한편 이들 試片에 대해 顯微鏡組織조사를 했고 Electron Microprobe Analyzer(EMPA)에 의해 合金組織內 마그네슘(Mg)成分의 分布狀態를 試驗 調査하여 予備圧延이 均質化 熱處理效果와 機械的 性質에 미친 영향을 綜合的으로 調査 檢討하였다.

### II. 實驗方法

試驗用 알루미늄합금 슬라브는 半連續鑄造法에 의해 75mm(두께)×350mm(폭)의 치수로 鑄造하였다

合金의 성분은 4.6% Mg, 0.56% Mn, 0.18% Cr, 殘部 알루미늄이며 不純物로 Fe 0.23%, Si 0.13%를 포함한다. 試驗用 슬라브는 同一한 條件으로 세個를 만들었고 熱間 予備圧延은 슬라브 No.2와 No.3에 대해 兩面을 면삭하고 430°C로 加熱한 다음 圧延率 6% 및 15%로 각각 施行하였다. 슬라브 No.1은 鑄造狀態 그대로의 試驗을 위해 사용하였다.

이와같이 予備圧延시킨 슬라브 No.2, 3과 鑄造狀態의 슬라브 No.1은 각각 二段 熱處理方法으로 均質化 熱處理시켰다. 즉 430°C에서 11시간 유지한 후 480°C로 乘溫시켜 10시간 加熱한 다음 水冷시켰다. 모든 試片들은 슬라브의 兩 表面으로부터 두께 10mm以內에서 채취하여 試片두께 5mm - Gage 길이 25mm크기의 引張試片을 加工했다. EPMA 試驗用 및 組織試驗用 試片은 同一 슬라브의 隣接部位에서 15mm立方의 크기로 채취하였다.

機械的 性質 調査에는 上記 슬라브 No. 1 - 3의 均質化 熱處理를 시킨 三種이외에 슬라브 No. 1의 鑄造狀態 그대로의 것도 採했고 이들을 각각 室溫 및 400°C의 高溫에서 引張시험하여 引張強度와 延伸率을 측정하였다. 硬度는 引張試片과 같은 條件의 各 試片에 대해 측정하였다. 組織試驗을 위한 腐蝕液으로는 70°C의 H<sub>2</sub>O-10%NaOH 용액을 사용하였다. EPMA (MAC-400S)를 사용하여 各種 슬라브 組織內의 Mg分布狀態를 병행하여 調査하였다. EPMA 사용시의 作業條件은 加速電圧 20 kV, 電子束電流密度 0.1μA, electron microprobe size 약 2μ으로써, 2μ step의 step-scanning에 의하여 200배로 확대한 合金組織에 대한 Mg-Kα 特性X-線의 分布를 調査하였다.

### III. 結 果

予備圧延의 與否 및 予熱處理에 따른 네 種類의 試片들에 대한 機械的 性質의 試驗結果는 Table 1과 같다. 이들 結果値는 5個 이상의 試片에 대한 平均値이다. 鑄造狀態의 슬라브를 熱處理한 경우는 熱處理 하지않은 것에 比하여 延伸率이 증가하며 高溫 引張強度가 약간 減少하여 熱處理로 因한 熱間加工性의 向上이 다소 이루어지고 있음을 볼 수 있으나 予備圧延후 熱處理한 경우는 그 效果가 더욱 현저히 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉 室溫 引張特性으로써 15% 予備圧延후 熱處理한 試片은 鑄造狀態 및 6% 予備圧延후 熱處理한 試片에 比해 引張強度와 延伸率이 각각 증가하고 있음을 나타내고 있다. 특히 400°C의 高溫 引張試驗 結果에서는 予備圧延이 슬라브의 機械的 性質의 向上에 미치는 效果가 뚜렷함을 알 수 있다.

延伸率 6% 및 15%로 予備圧延한 것은 鑄造후 熱處理한 것에 比하여 引張強度가 다소 減少 하며 延伸率은 25% 및 60% 정도까지 增加한 結果를 보여주고 있다. 또한 本實驗의 硬度試驗 結果는 15% 予備圧延의 경우가 鑄造狀態의 熱處理한 것에 比하여 R<sub>E</sub> 74에서 R<sub>E</sub> 77 까지 增加하고 있는데 이것은 室溫 引張試驗의 引張強度 값과 定性的으로 一致하고 있음을 나타내고 있다.

鑄造狀態 및 予備圧延된 슬라브를 熱處理한 후 각각의 作業條件에 對應한 슬라브의 組織을 觀察한 結果는 Fig. 1 - 4와 같다. Fig. 1 및 Fig. 2는 鑄造狀態 및 15% 予備圧延된 狀態의 슬라브 組織 寫眞이다. Fig. 2를 보면 予備圧延의 結果 結晶粒이 鑄造狀態에 比하여 3분의 1 이상으로 微細化

Table 1. Comparison of mechanical properties of the tested specimens.

state of the sample	tensile prop.				hardness before and after heat treatment (RE)	
	at room temp.		at 400°C		before	after
	T. S. (kg/mm <sup>2</sup> )	elong. (%)	T. S. (kg/mm <sup>2</sup> )	elong. (%)		
as cast	22	10	6.4	15	72	
heat treated cast str.	26	13.5	5.8	19		74
6% pre-rolled and heat treat.	26	13.5	5.2	25	76	76
15% pre-rolled and heat treat.	28	15.5	5.3	32	77	77

되고 micro-pore들이 상당히 圧着되고 있음을 알 수 있다. Fig. 1 및 Fig. 2의 結晶粒界에는 鑄造時에 二次相이 形成되어 있음을 볼 수 있다. 이 부분은 뒤에 나오는 바와 같이  $\beta$ 相 등의 Mg-rich한 部位이다. Fig. 3 및 Fig. 4는 鑄造狀態 및 15% 予備圧延된 슬라브를 각각 均質化 熱處理시킨 組織으로써 再結晶이 현저하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. Fig. 3의 경우는 結晶粒界에 상당량의  $\beta$ 相이 殘存하고 있음을 볼 수 있으나 15% 圧延한 Fig. 4의 경우는 Mg의 擴散이 效果의으로 이루어져 結晶粒界에  $\beta$ 相이 크게 消滅되어 있음을 알 수 있다.

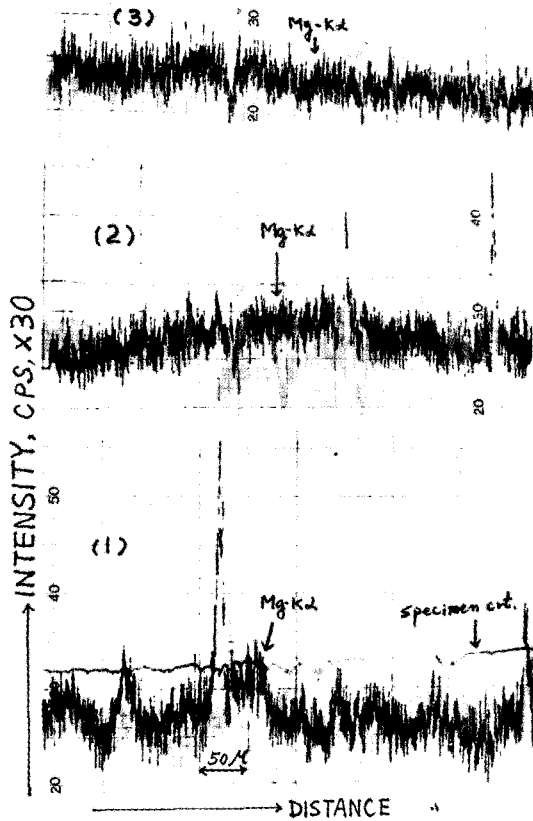


Fig. 5. Distribution of magnesium content in the samples checked by EPMA. Graph (1) is taken from as-cast sample, graph (2) from homogenized sample without pre-rolling, and graph (3) from homogenized sample after 15% pre-rolling.

위의 顯微鏡組織寫真에 對應하는 試片들을 EPMA에 의해 Mg 分布狀態를 調査한 結果는 Fig. 5와 같다. Fig. 5의 1)은 鑄造狀態의 슬라브에 대한 Mg 分布狀態로써 結晶粒界 및 그 基地의 Mg 分布는 심한 起伏을 나타내고 있다. 이 그래프로부터 結晶粒基地 및 結晶粒界에서의 Mg-K $\alpha$  特性 X-線의 相對強度(relative intensity) 값을 決定해 보면 結晶粒基地가 대체로 4%인데 反하여 結晶粒界는 6-15% 정도으로써 組織內的 Mg 成分이 매우 不均一하게 析出되어 Mg-rich한 dendritic segregation이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5 (2)는 鑄造狀態의 슬라브를 熱處理한 試片에 대해 調査한 結果로써 結晶粒界에 Mg-K $\alpha$ 의 相對強度가 6-10% 정도로  $\beta$ 相 또는 Mg이 殘存하고 있음을 보여주고 있다. Fig. 5의 (3)은 15% 圧延후 熱處理시킨 試片에 대한 結果로써 結晶粒內 및 粒界의 Mg-K $\alpha$ 의 相對強度가 4-6% 정도로써 比較的 均一하게 分布되어 있음을 나타내고 있다.

#### IV. 考 察

室溫引張試驗의 結果를 보면 15% 予備圧延후 熱處理한 경우가 鑄造狀態 및 5% 予備圧延后 熱處理한 것에 比하여 引張強度 및 延伸率이 增加하고 있는데 이것은 可能的 最高의 圧延率로 予備圧延하는 것이 熱間加工性을 向上시키는 效果가 크다는 것을 意味한다. 特히 高溫引張試驗의 結果는 6% 및 15% 予備圧延으로 延伸率이 각각 25% 및 60%까지 현저히 增加하고 引張強度가 減少하여 위의 予備圧延의 效果를 더욱 確然히 해주고 있다.

以上的 結果에서 予備圧延이 延伸率의 增加를 가져온 것은 鑄造組織內的 脆性的인 (brittle) 成分인 Mg-rich한 部位 및  $\beta$ 相이 予備圧延에 의해 熱處理時에 效果의으로 擴散되어 材質의 ductility가 向上된 것을 意味하고 있다. 室溫引張強度 및 硬度가 予備圧延한 경우에 增加하는 것은 위와 同一한 效果에 의해 結晶粒內에 Mg 固溶도가 增加된으로써 固溶硬化된 때문으로 해석된다. 反面에 高溫引張強度가 予備圧延시킨 경우 減少하는 現象은 흥미있는 結果이다. 이것은 高溫變形의 경우에는 結晶粒界에 殘存한  $\beta$ 相 및 Mg-rich部位가 變形抵抗에 크게 기여하고 있는 반면 室溫引張에 있어서는 이들 結晶粒界의 析出相과 함께 粒內的 Mg 固

溶度の增加가 변형抵抗에 보다 相關이 큰 것으로 生覺된다. 이 問題는 앞으로 더 檢討해 볼 課題로 미룬다. 本實驗의 熱間加工性에 대한 基準으로써 檢討한 試片들의 延伸率値는 加工性에 対応하는 正確한 定量的 資料이기 보다는 이에대한 定性的 判斷基準에 相応하고 있음을 附記한다. 通常 熱間加工性 또는 圧延變形抵抗은 引張, 壓縮 및 비틀림試驗을 하여 이를 해석하고 있으며 특히 引張試驗의 경우는 試片의 断面收縮率(reduction of area)이 材質의 ductility 또는 加工性에 보다 關聯되고 있다(Arnold and Parker, 1959-60). 또한 本실험에서는 슬라브試片의 특성(合金구조조직)으로 인하여 断面收縮率을 測定하기 어려운 관계로 延伸率을 그 基準으로 挾하였는데 이들 延伸率 이 위와같은 試片특성으로 gauge length 全体の 均一變形의 結果로써만 이루어진 것으로는 단정하기 어려운 때문이다.

위의 機械的 性質試驗과 병행하여 슬라브의 組織 및 Mg 分布狀態를 調査한 結果는 機械的 性質의 變化와 一致되는 것으로 나타나고 있다. 즉 Fig. 3 과 같이 鑄造狀態의 슬라브를 熱處理한 경우는 結晶粒界에 상당량의 β相 또는 Mg-rich 部位가 殘存하는 반면 Fig. 4 의 15% 予備壓延한 경우는 粒界의 析出相이 현저히 拡散 消滅되어 있음을 볼 수 있다. 한편 Fig. 3 및 Fig. 4 에서의 再結晶粒도가 거의 유사하여 위의 各種 슬라브의 機械的 性質 혹은 熱間加工性은 合金 添加元素의 析出狀態와 密接한 關係가 있는 것으로 判斷된다.

이들 析出物들은 β相 또는 Mn 및 Cr의 析出物이 主된 것으로 보나 本實驗에서는 주로 結晶粒界의 β相의 析出 여부를 中心으로 調査하였다. 위의 顯微鏡組織에 対応하는 試片에 대하여 Mg 혹은 β相의 分布狀態를 EPMA 에 의하여 調査한 結果는 Fig. 5 에서 알 수 있는 바와 같이 相當量의 予備壓延을 施行함으로써 鑄造組織內的 β相 혹은 Mg-rich한 部位가 擴散 消滅되어 均一한 組成을 나타내고 各種 슬라브의 機械的 性質의 試驗結果와 부합되고 있다. Al-Mn, Al-Cr 등의 析出物狀態가 材質의 加工性에 미치는 영향에 대해 調査되고 있으나(Scharf and Achenbach, 1969) 이에 대해서는 다음 기회에 調査할 課題로 미룬다.

끝으로 予備壓延이 β相 및 Mg-rich部位的 擴散을 促進시켜 슬라브의 機械的 性質을 向上시킨 것은 Fig. 3 에서 본 바와 같이 予備壓延으로 인한 鑄造組織의 微細化 및 結晶粒에 析出した β相 등의

fragmentation이 이루어져 熱處理時에 添加元素의 擴散面積을 크게 增加시킨 것이 主된 原因이라고 生覺된다. 또한 鑄造組織에 內在하는 micro-pore를 壓着시켜 위의 擴散效果를 촉진시키며 熱間壓延時에 熱間균열의 發生을 억제한 것으로 판단된다. Singh와 Flemings(1969-a)의 研究에서도 슬라브의 一次的인 予備加工이 鑄造組織內的 析出物을 fragmentation시키고 micro-pore를 壓着시킴으로써 熱處理效果 및 加工性을 向上시키고 있음을 보여 주고 있다.

### V. 要 約

본 실험에서는 予備壓延이 4.6%Mg-0.5% Mn-0.18%Cr의 알루미늄합금의 均質化處理 및 그의 機械的 性質에 미치는 影響을 調査하였다. 予備壓延後 均질화 열처리된 試片은 鑄造狀態의 시편에 比하여 室溫 引張強度 및 延伸率이 증가되고 있음을 보여주었다. 400°C의 高溫 引張試驗의 結果는 予備壓延후 均質化熱處理한 試片이 鑄造狀態 또는 그의 均質化處理만 시행한 것에 比하여 다소 낮은 引張強度와 현저히 向上된 延伸率을 所持함을 보여 주었다.

予備壓延후 均質化 熱處理된 試片의 金屬顯微鏡 組織은 다른 試片들에 비해 結晶粒界에 β相等의 第二相이 현저히 減少되고 있음을 나타내고 있다. 試片의 結晶粒內 및 粒界에 있어서의 主된 合金添加元素인 Mg 分布狀態를 EPMA를 사용하여 調査하였다. 이 結果는 均質化處理를 施行하기 전에 予備壓延을 導入함으로써 均質化處理의 效果가 增大되고 있음을 보여주고 있다.

### REFERENCES

Arnold, R. R., and Parker, R. J. (1959-60) : Resistance to Deformation of Aluminium and some Aluminium Alloys, *J. Inst. Metals*, 88(6):255  
 Braeuninger, K. F. (1969) : International Extrusion Technology Seminar paper, No. 11.  
 Hardwick, D., and Tegart, W. J. McG. (1961-62) : Structural Changes During the Deformation of Copper, Aluminium and Nickel at High Temperatures and High Strain Rates, *J. Inst. Metals*, 90 (1):17.  
 Scharf, G., and Achenbach, D. (1969) : Das

- Verhalten nicht aushärtbarer Aluminium-Legierungen bei der Warmformgebung, Z. Metallkde., 60 (12):904
- Singh, S.N., and Flemings, M.C. (1969-a) :  
Solution Kinetics of a Cast and Wrought High Strength Aluminium Alloy. Trans. Metall. Soc.-AIME., 245 (8):1803.
- Singh, S.N., and Flemings, M.C. (1969-b) :  
Influence of Ingot Structure and Processing on Mechanical Properties and Fracture of a High Strength Wrought Aluminium Alloy. Trans. Metall. Soc.-AIME., 245 (8): 1811.
- Staples, R.T., and Hurst, H.J. (1952-53):The Control of Quality in the Melting and Casting of Aluminium Alloys for Working, J. Inst. Metals, 81 (19): 387.
- Taylor, B. (1964) : Grain-Boundary Precipitate in Aluminium-Magnesium Alloys. Canadian Metall. Quarterly., 3 (4): 313.
- Williams, TR. G. (1957) : Overheating Effects in High Strength Aluminium Alloys. Metallurgia, 56 (333): 33.

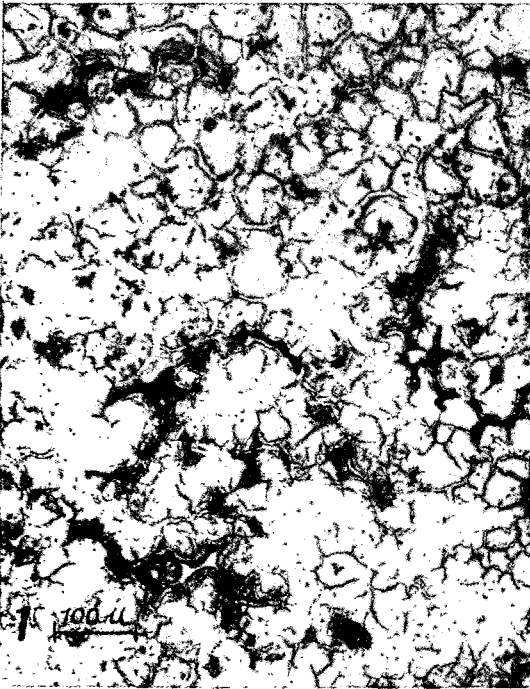


Fig. 1. Microstructure of the as cast sample.

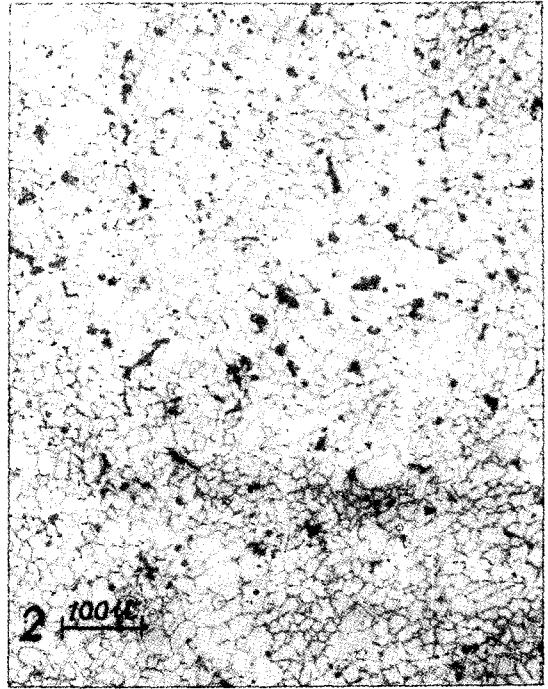


Fig. 2. Microstructure of the sample pre-rolled 15%

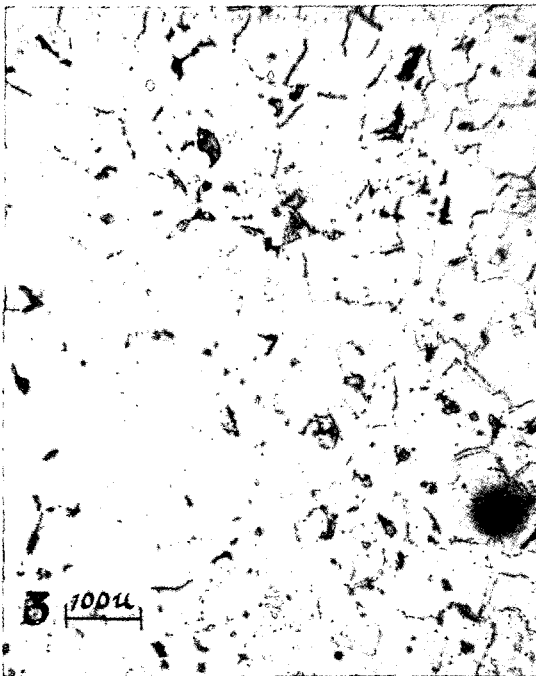


Fig. 3. Microstructure after homogenizing heat treatment of the cast alloy.

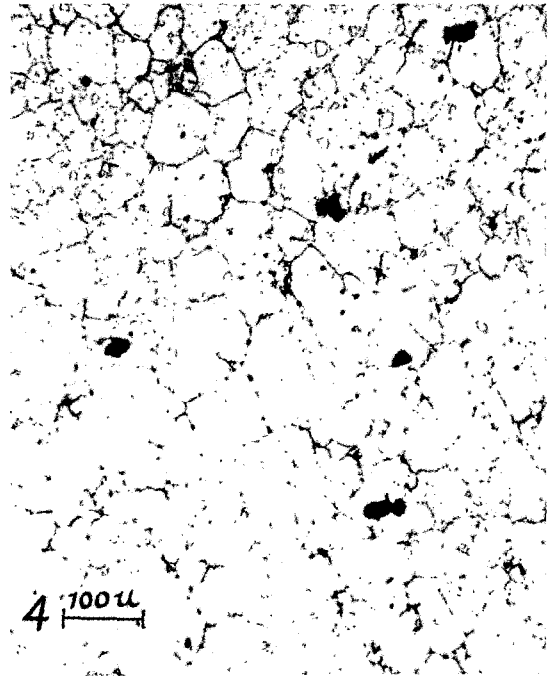


Fig. 4. Microstructure after homogenizing heat treatment of the 15% pre-rolled alloy.