

# 알루미늄 5182 합금에서 집합조직에 미치는 교차압연의 영향

\*김용희, 조용상, 허무영  
고려대학교 금속공학과

## The Influence of Cross Rolling on the texture of Aluminium 5182 Alloy

\*Yong-Hee Kim, Yong-Sang Cho, Moo-Young Huh  
Department of Metallurgical Engineering  
Korea University, Seoul 136-701

### Abstract

The effect of the cross-rolling on the evolution of the deformation texture and the subsequent annealing texture was studied in 5182 aluminium alloy. The orientation density near  $\{011\}\langle 110 \rangle$  became higher after the  $90^\circ$  cross-rolling since the orientations along the  $\beta$ -fiber were separated into  $\{011\}\langle 110 \rangle$ . The weak  $\beta$ -fiber orientations in the deformation texture lead to the randomization of the annealing texture, whereas the strong  $\beta$ -fiber orientations lead to the strong Cube orientation in the annealing texture. The development of the strong rotated Cube orientation in the annealing texture seemed to be related with the decrease in the R-value.

### 1. 서론

최근 CO<sub>2</sub> gas배출규제 및 기업별 평균연비(CAFE) 규제법안 등의 환경오염에 관한 국제적 분이기가 강화되면서 자동차 경량화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이에 대한 에너지 절약 및 공해방지 대책으로 엔진효율 향상, 설계에 따른 공기저항감소, 차체 경량화 등을 들 수 있다. 이중 가장 효과적인 방법은 10%의 경량화로써 약10%의 연료절감 효과를 가져온다는 차체경량화방법 [1]이다. 이를 위해 현재 차체 및 각종부품에 가장 많이 사용되고 있는 철강재료를 고강도 고성형성을 지닌 알루미늄 5xxx, 6xxx 계열의 Al-Mg합금 [2]으로 대체하여 가고 있다. 이러한 Al-Mg합금은 높은 재활용률과 함께 우수한 내식성, 성형가공성, 용접성 등의 성질을 포함하고 있어 대체 재료로써 가장 활발히 연구되고 있다.

선진국에서는 지금 인장강도 30kg/mm<sup>2</sup>, 연신율 30%(30-30합금)의 기계적 특성을 갖는 알루미늄합금의 개발을 완료하고 현재 35-35합금을 개발 중에 있다.

본 연구의 목적은 알루미늄 5182합금을 사용하여 압연가공 및 열처리에 따른 특성평가를 함으로써 차체경량화 합금의 기반기술확보에 있다.

## 2. 실험방법

본 연구에 사용된 시료는 대한알루미늄에서 제조된 알루미늄 5182합금으로 화학 조성은 표 1과 같다. 두께 6.5mm의 열간압연 판재를 사용하여 냉간압연 후의 교차압연 압하율과 교차압연 각도가 압연조직 및 재결정조직에 미치는 영향을 조사하였다. 실험에 사용된 모든 시료는 실험실용 압연기(127mm)를 사용하여 최종 압하율 84.7%인 두께 1mm( $\epsilon=1.88$ )의 판재로 만들어졌으며, A조건 시편은 정상압연을 60% 실시한 다음 30° 교차압연을 행하였고, B조건 시편은 정상압연 70% 후 90° 교차압연을 실시하였고, C조건 시편은 정상압연 82.5% 실시 후 90° 교차압연을 실시하였으며, D조건 시편은 정상압연만 행하였다. 교차압연은 그림 1.에서처럼 열간압연 방향과  $\omega$ 의 각도를 이루며 행하였다.

냉간압연 판재는 환원성인 H<sub>2</sub>분위기에서 400℃, 450℃, 500℃에서 각각 1시간씩 열처리하였다. 집합조직은 자동화된 집합조직측정용 고니오메타를 사용하여 {111}, {200}, {220}의 극점도를 측정 후 Bunge방법 [3]에 의하여 방위분포함수로 구하였다. 그리고 각 조건에 대하여 인장시편(ASTM sub size)을 제작하여 인장강도와 R값을 측정 [4]하였으며 광학현미경으로 재결정 거동을 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

열간압연 시료를 각 조건에 따라서 교차압연한 결과를 그림 2.에 나타냈다. 84.7%까지 정상압연한 D조건에서는 냉간압연된 FCC금속의 우선방위인 {112}<111> Cu-방위, {123}<634> S-방위, {110}<112> Bs-방위가 강하게 발달하여  $\beta$ -fiber를 형성하였으며 [5], 정상압연 60%후 30°의 교차압연을 실시한 A조건과 정상압연 82.5%후 90° 교차압연한 C조건의 경우 정상압연한 D조건과 유사하게 Cu-방위, S-방위, Bs-방위가 발달하는 양상을 보이고 있다. A조건은 교차압연 각도(30°)가 작고 교차압연 가공도( $\epsilon=0.96$ )가 높아 정상압연시의 우선방위인  $\beta$ -fiber가 교차압연에서 다시 형성되었다. C조건은 정상압연 가공도( $\epsilon=1.74$ )가 높고 교차압연 가공도( $\epsilon=0.13$ )가 낮아 정상압연시 존재하던  $\beta$ -fiber의 분리가 매우 미약하게 나타난다. 즉, C조건의 극점도를 ND에 대하여 90°회전시키면 정상압연한 D조건과 유사하며  $\beta$ -fiber의 분리가 약하게 일어난 극점도를 얻게 된다. B조건의 시편은 90°의 교차압연 각도와 높은 교차압연 압하율( $\epsilon=0.67$ )에 의하여 냉간압연시 나타나는  $\beta$ -fiber의 분리가 크게 일어나고 있으며 {011}<110>의 새로운 주방위로 방위의 밀집이 발생하고 있다.

그림 3은 400℃, 1시간 어닐링한 시편의 집합조직이다. A와 C, D조건에서는 Cube-방위가 주방위로 발달하고 있으나 B조건에서는 교차압연에 의해  $\beta$ -fiber의 분리가 강하게 일어났으므로 무질서한 재결정 집합조직이 얻어졌다. Lücke 와 Engler 등에 의하면 FCC 금속에서는 냉간압연 집합조직인  $\beta$ -fiber가 강하게 발달할수록 재결정시 Cube 집합조직이 발달한다고 보고된바 있다 [5]. 그리고 Chang과 Duggan 등에 의하면 교차압연시에는 이러한 Cube-방위의 핵들이 파괴되어 재결정시 Cube 집합조직이 형성되기 어렵다고 보고하고 있다. [6, 7]. 그림 4.에서 광학현미경 사진을 보면 A-D조건 모두 20 $\mu$ m의 작고 균일한 결정립 크기를 갖고 있는데 이는 Al-Mg합금에서 분산강화로 인한 기계적 특성을 향상시키기 위해 Al에 대하여 고용도가 매우

낮은 Cr, Zn, Mn 등의 합금원소를 첨가하는데 이러한 분산입자들이 재결정시 결정립 성장의 지연과 압연등 가공시의 결정립 미세화효과를 나타기 때문이다. [8].

450 °C, 1시간 동안 어닐링한 시편의 집합조직인, 그림 5.에서 교차압연 압하율이 높은 A조건과 B조건에서 강한 {001}<110>의 rotated Cube-방위가 발달하였으며, 교차압연량이 적은 C와 D조건에서는 Cube-방위가 발달하였다. 그림 6.은 위의 시편을 광학현미경으로 관찰한 것으로 A와 B조건은 rotate Cube-방위를 갖는 결정립이 우선 성장하여 1000 $\mu$ m의 조대한 결정립으로 존재하고 있으며, 이와 반대로 정상압연에 유사한 경우인 D와 C조건에서는 결정립 크기가 20 $\mu$ m로 유지되고 있음을 보여주고 있다.

그림 7.은 500 °C, 1시간동안 어닐링한 후의 집합조직이다. A조건의 시편은 450 °C에서 열처리 한 것보다 rotated Cube-방위의 강도가 약해지고 ND방향으로의 산란이 일어났으나 여전히 rotated Cube-방위가 주방위를 나타내고 있고, C와 D조건은 450 °C 이하의 어닐링시 Cube-방위가 발달하였으나 500 °C에서는 rotated Cube-방위가 강하게 발달하였다. 그러나 B조건에서는 무질서한 방위가 얻어졌다. 그림 8.은 위의 시편을 광학현미경으로 관찰한 것으로 rotated Cube-방위가 발달한 A, C, D 조건에서는 약 800 $\mu$ m의 큰 재결정 결정립이 형성되었지만 무질서한 집합조직을 갖는 B조건에서는 약 200 $\mu$ m의 중간 크기의 재결정립과 25 $\mu$ m의 작은 결정립이 혼재함을 알 수 있다.

각 실험조건에 대하여 인장실험한 결과와 R값을 그림 9.에 나타냈다. 400°C와 450°C에서 어닐링한 시편에서는 30-30합금보다 우수한 인장강도 및 연신율을 얻을 수 있었으며, 400°C 어닐링한 경우 인장강도 및 연신율이 가장 우수하였다. 또한 rotated Cube-방위의 조대한 결정립을 갖는 시편들은 R값이 낮아짐을 보이고 있어, 재결정시 rotated Cube-방위의 증가가 판재 성형성에 나쁜 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

## 4. 결론

1. 교차압연 각도가 90°이고 교차압연 압하율이 큰 B조건은  $\beta$ -fiber의 분리가 일어나 {011}<110>방위가 주방위로 발달하였으며  $\beta$ -fiber는 거의 소멸하였다.
2.  $\beta$ -fiber가 발달한 A, C, D조건은 400°C에서 어닐링시 Cube-방위가 발달하였으나, 압연시  $\beta$ -fiber가 거의 소멸한 B조건은 무질서한 집합조직이 얻어졌다.
3. rotated Cube-방위는 450°C에서 어닐링한 시편에서는 교차압연 압하율이 높은 시편에서 강하게 발달하였으며 500°C에서는 정상압연에 가까운 시편에서 강하게 발달하였다.
4. 조대한 rotated Cube-방위의 발달은 R값을 저하시켰다.
5. 400°C에서 어닐링한 시편에서는 균일하며 미세한 결정립들이 형성되며 우수한 인장강도 및 연신율이 얻어졌다.

## 5. 참고 문헌

1. 자동차 경량화 특집, 알루미늄 합금의 성형가공(1), 29, 1991, p.17

2. T.R. McNelly, A.A. Salama and P.N. Kaln, *Advances in Superplasticity and Superplastic Forming*, TMS, Warrendale, Pennsylvania, 1993, p.45
3. H.J. Bunge, *Mathematical Methods of Texture Analysis*, Butterworths, 1981
4. D. Daniel, J.J. Jonas, *Metallurgical Transaction A*, Vol.21A, 1990, p.331-343
5. K. Lücke, O. Engler, *The Norwegian Inst. of Tech.*, Vol.III, 1992, p.439-452
6. M.H.Kim, *Rapidly Solidified Master. Reserch Center Annual Report. 1995*, p.413
7. C.Y.Chung, *ICOTOM-11, China*, Vol.II, 1996, p.711-716
8. C.Y.Chung, B.J.Duggan, the 16th RISØ conference, 1995, p.295-302

Table 1. Chemical composition of investigated aluminium 5182 alloy

Element	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Ti	Cr	Zn	V
wt%	0.08	0.27	≤0.05	4.5	0.35	≤0.1	0.03	≤0.05	0.014

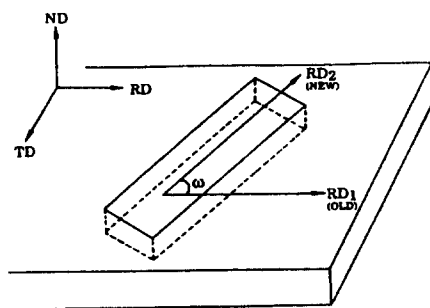


Fig. 1. Schematic sketch of the cross-rolling employed in the present study.

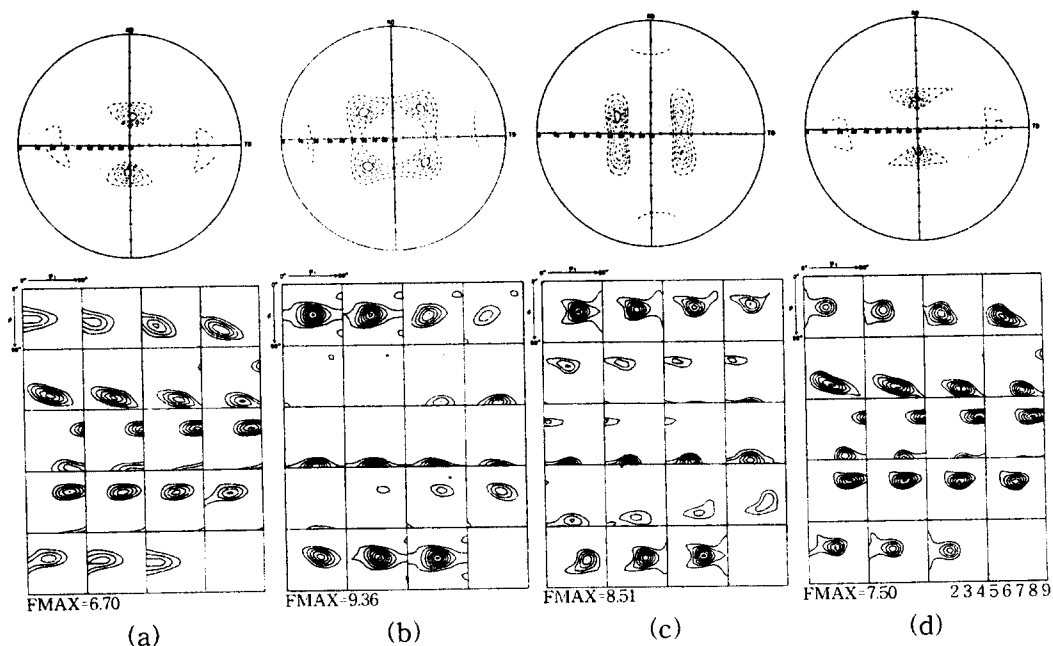


Fig. 2. Orientation distribution function and pole figure after cross rolling and normal cold rolling: (a) specimen A; (b) specimen B; (c) specimen C; (d) specimen D.

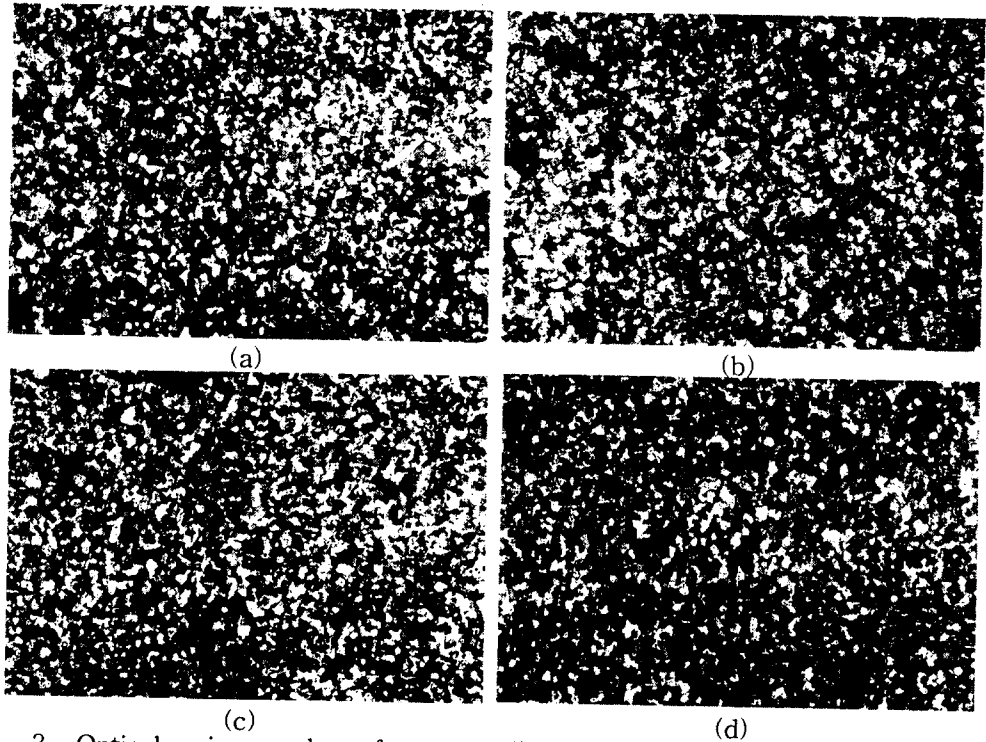


Fig. 3. Optical micrographs after annealing at 400°C: (a) specimen A; (b) specimen B; (c) specimen C; (d) specimen D.

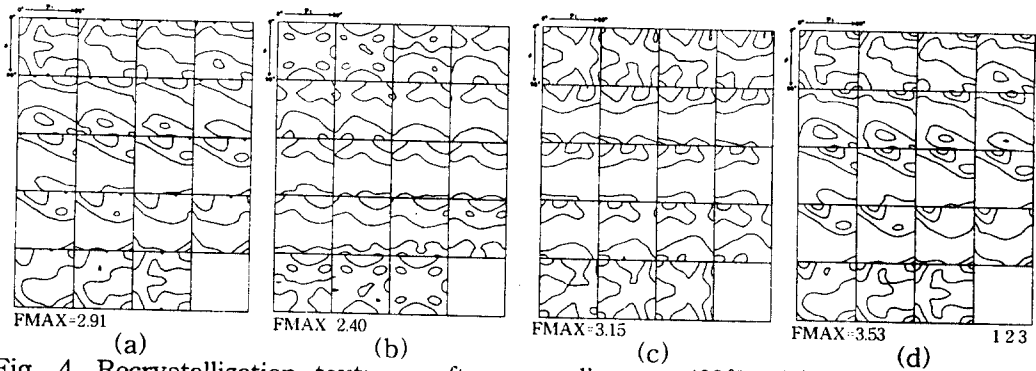


Fig. 4. Recrystallization textures after annealing at 400°C: (a) specimen A; (b) specimen B; (c) specimen C; (d) specimen D.

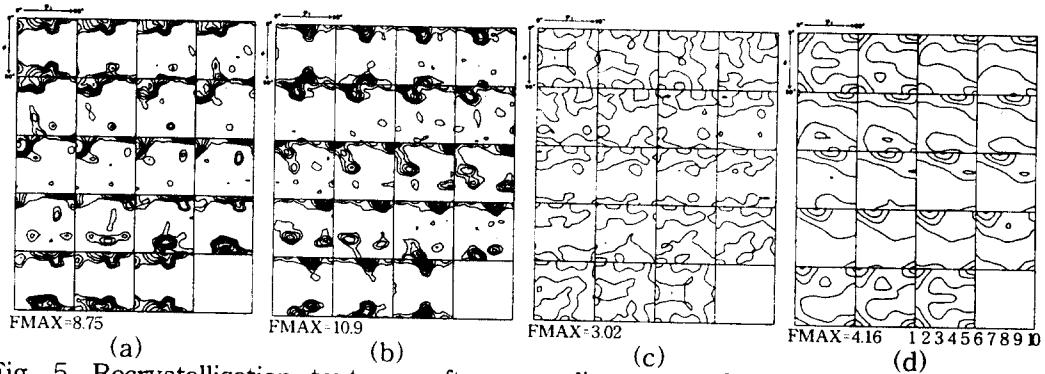


Fig. 5. Recrystallization textures after annealing at 450°C: (a) specimen A; (b) specimen B; (c) specimen C; (d) specimen D.

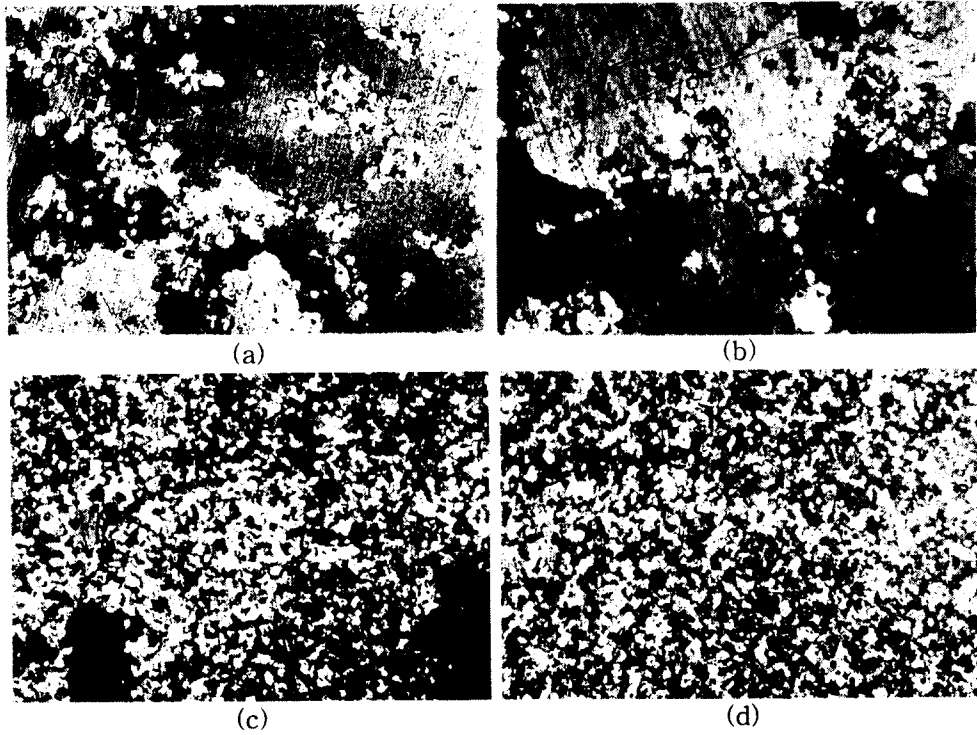


Fig. 6. Optical micrographs after annealing at 450°C: (a) specimen A; (b) specimen B; (c) specimen C; (d) specimen D.

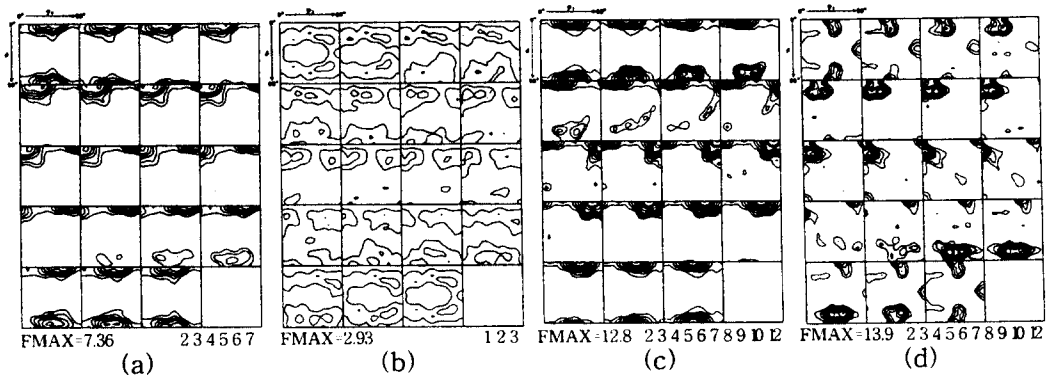


Fig. 7. Recrystallization textures after annealing at 500°C: (a) specimen A; (b) specimen B; (c) specimen C; (d) specimen D.

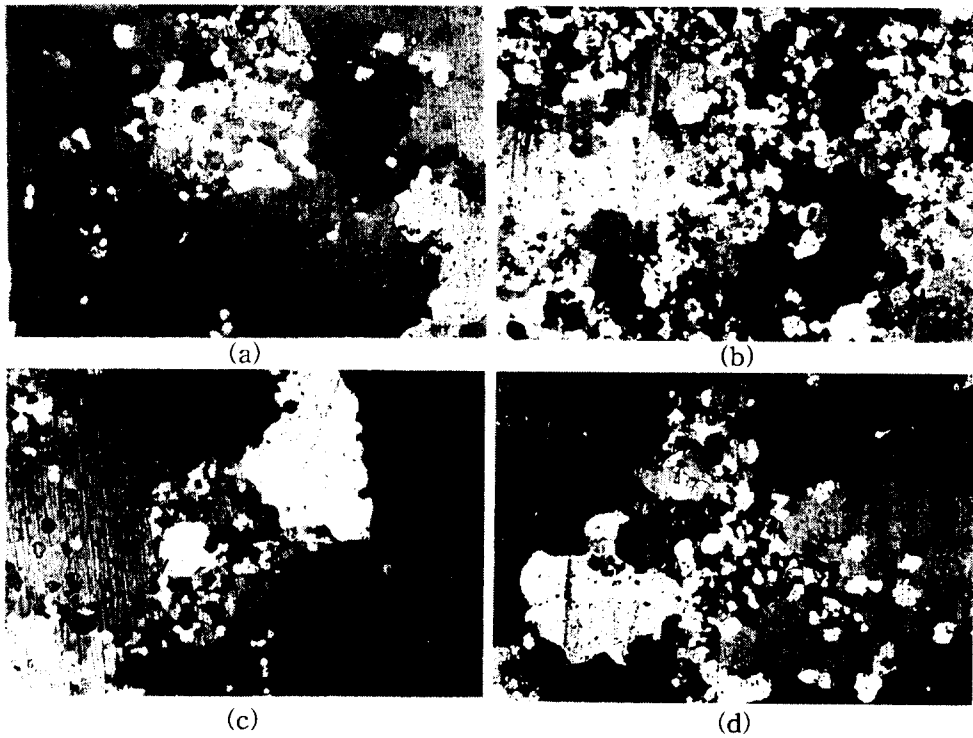


Fig. 8. Optical micrographs after annealing at 500°C: (a) specimen A; (b) specimen B; (c) specimen C; (d) specimen D.

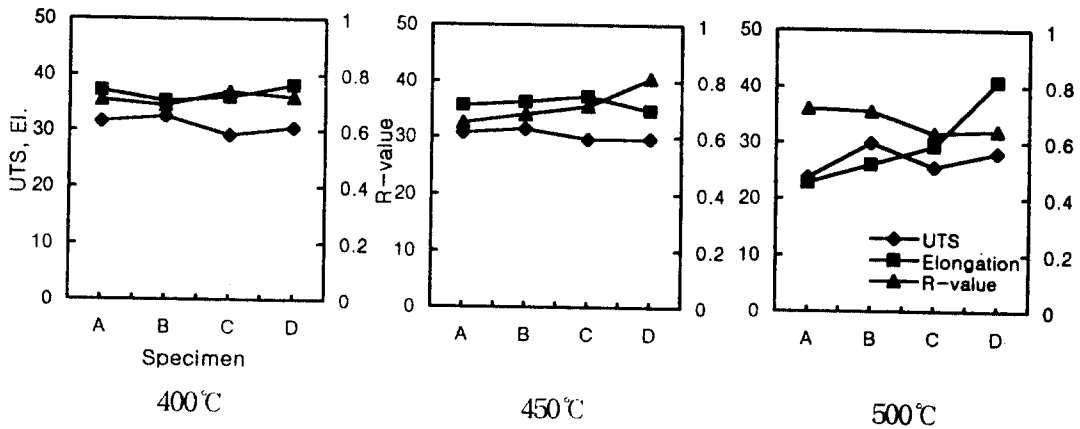


Fig. 9 Tensile properties and R-values of aluminium 5182 alloy with annealing at 400°C, 450°C and 500°C.