

## Al 2013-T8 합금에서 Zr 첨가에 따른 기계적 특성 분석

백민숙<sup>1</sup> · 조사현<sup>1</sup> · 박만복<sup>2</sup> · 윤동주<sup>2†</sup> · 허기복<sup>3</sup>

<sup>1</sup>순천대학교 미래전략신소재공학과, <sup>2</sup>차세대 전략산업용 희유자원 실용화센터, <sup>3</sup>(주)삼우ECO

## Analysis of Mechanical Properties with Addition of Zr in Al 2013-T8 Alloy for Galvanizing Equipment

Min-Sook Baek<sup>1</sup>, Sa-Hyeon Cho<sup>1</sup>, Man-Bok Park<sup>2</sup>, Dong-Joo Yoon<sup>2†</sup> and Ki-Bok Heo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of future strategic new Materials Engineering, Sunchon National University, Suncheon 57922, Republic of Korea

<sup>2</sup>Center for Practical Use of Rare Materials, Sunchon National University, Suncheon 57922, Republic of Korea

<sup>3</sup>SAMWOO ECO., Ltd., Gwangyang 57759, Republic of Korea

(Received April 19, 2016 : Revised June 20, 2016 : Accepted July 22, 2016)

**Abstract** In this study, the recently developed Al 2013 alloy was T8-tempered and, to improve the strength and corrosion-resistance, slight amounts of Zr of 0.2 wt% and 0.5 wt%, respectively, were added and the mechanical properties were analyzed. For microstructure and precipitate analysis, OM observation, XRD analysis, and TEM analysis were performed, and for the mechanical property analysis, hardness and tensile strength tests were done. Also, in order to determine the corrosion rate according to the Zr content, a potentiodynamic polarization test was performed and the properties were compared and analyzed. The size of the precipitate varied with the content of Zr and was finest at Zr content of 0.2 wt%; it grew larger at 0.5 wt%, at which point the hardness value accordingly showed the same trend. On the other hand, as calculated from the aspect of chemical bonding among atoms, it was confirmed that the tensile strength and the corrosion-resistance increased with the same trend.

**Key words** Al alloy, T8-tempered, Zr, property.

### 1. 서 론

알루미늄 합금은 철강에 비해 약 1/3 정도의 비중을 가지면서, 기계적, 내식성 특성이 우수하여 각종 구조물, 기계장비, 설비등 널리 사용되어오고 있다. 그 중 현재 응용 아연 도금 장치 설비는 대부분 Al합금으로 사용되어 오고 있는 가운데, 여전히 Al 합금 소재에 기계적, 부식성으로 인해 어려움을 겪고 있는 실정이다. 그 중 2013 합금(Al-1.7Cu-1.0Mg-0.8Si-0.15Cr wt%)은 압출재로서 파이프형상으로 압출하는 판재로서 담금질 후, 성형, 시효 처리를 실시하는 공정이 가능한 고강도 알루미늄 합금보다 성형성이 우수한 합금이며, 2013-T6재는

2024-T3재와 동등한 강도를 유지하고 내식성도 우수하기 때문에 2023-T3재의 대체용으로 기대되고 있다. 또한 2013합금은 T8조질처리로도 고강도화가 가능한 것이 확인되었다.<sup>1)</sup>

Al-Cu계 합금에 강도와 연성 향상에 효과적인 원소들(Cd, Mn, Si, Fe, Ti 등)을 첨가하여 상변화 및 시효거동 등에 대한 연구<sup>2-5)</sup>가 꾸준히 되어오고 있는 가운데, 특히 Al 합금계에 미량의 Zr을 첨가하면 결정립이 미세화되고 입계의 우선부식을 입내의 전면부식으로 바꾸게 되어 내용력 부식성이 향상되고 용접이 개선되었다는 보고<sup>6-8)</sup>가 있었다.

따라서 본 연구에서는 최근 개발된 Al 2013-T8합금에

<sup>†</sup>Corresponding author

E-Mail : djiyoon@sncu.ac.kr (D. -J. Yoon, Sunchon Nat'l Univ.)

© Materials Research Society of Korea, All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

미량의 Zr을 첨가하여 Zr의 첨가량에 따라 변화하는 미세조직 및 기계적특성 등을 알아보려고 하였다.

## 2. 실험 방법

합금의 용점 차이로 인해 용해시간이 길어지고 편석 발생을 최소화 하기 위해 비소모성 진공아크용해로(VAR)를 이용하여 모합금을 제조한 후 유도용해로(용융온도 : 약 800 °C ~ 900 °C)를 이용하여 주형에 넣어 합금을 제작하였다. Table 1은 본 연구에서 사용된 2013 합금 성분이며, 비교를 위하여 각각 0.2, 0.5 Wt%의 Zr을 첨가하여 총 3종류의 시험편을 제작하였다.

용해 후 주형을 제거한 잉곳을 진공열처리로를 이용하여 540 °C에서 24시간 균질화 열처리를 진행하였다. 열처리시 5.5 × 10<sup>-5</sup> Torr의 진공도를 계속 유지하였으며 승온속도는 5 °C/min, 냉각은 노냉으로 진행하였다. 그 후 열간압연은 500 °C에서 이루어졌다. 용체화처리는 수직 튜브로를 이용하여 540 °C에서 1시간동안 시행되었으며 물에 바로 떨어뜨려 급냉 처리하였다. 그리고 냉간압연은 2.4 mm에서 2.0 mm로 가공도 16.6 %로 실시하였다. 마지막으로 인공시효는 수직 튜브로를 이용하여 170 °C에서 8시간 동안 행한 후 수냉처리 하였다.

미세조직 및 석출물 등의 분석을 위하여 OM 관찰, XRD분석, TEM(TECNAI F20 UT)분석을 실시하였으며, OM 관찰용 부식액 조건으로는 25 ml 메탄올, 25 ml 염산, 25 ml 질산, 1 drop 불산을 혼합하여 20-30초 간 실시하였다.

TEM관찰용 박막시료는 집속이온빔(FIB\_Versa 3D)을 이용하여 기계연마로 약 200 μm 두께로 만든 후 -20 °C 초산메탄올(HNO<sub>3</sub> : CH<sub>3</sub>OH = 1 : 3)을 전해액으로 사용하여 전해연마법으로 제작하였다.

기계적 특성 분석을 위하여 경도와 인장강도 시험을 실

시하였으며 우선 경도는 장비명이 Mitutoyo HM-200, 하중은 100 g으로 측정 포인트는 3회 측정하여 평균값으로 나타내었다. 그리고 인장강도는 경도정밀공업(주)에서 제작된 KDPI-130-1 모델로, 인장속도 5 mm/min, 인장하중 500 kgf으로 실시하였다.

또한 Zr의 함량에 따른 부식률을 알아 보기 위해 동전위 분극시험을 실시하였으며 부식액 으로 NaCl 3.5 wt%, 스캔속도는 1 mV/S 의 조건으로 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

각 Zr 함량에 다른 미세조직의 변화를 관찰하기 위해 광학현미경(200배율)을 이용하여 관찰 하였으며, XRD를 이용하여 상분석을 실시하였다.

Fig. 1을 보면 Zr 함량이 증가함에 따라 석출물로 추측되는 상들이 더 많이 발생됨을 확인할 수 있었으며, 입내 쌍정 또한 많아짐을 확인할 수 있었다. Yun et al.<sup>6)</sup>에 따르면 Zr 함량이 증가함에 따라 결정립이 미세화 된다고 하였으나 본 결과에서는 뚜렷한 결정립 미세화를 찾을 수 없었는데 본 연구에서 실시한 콜드롤링에 의해 기계적 가공이 더해진 결과라고 추측된다.

형성된 석출물 및 상의 종류는 XRD를 이용하여 분석하였으며 Fig. 2에 나타내었다. 그림상으로는 높은 Al 피크에 비해 워낙 작은 피크들이라 잘 보이지 않았으나,

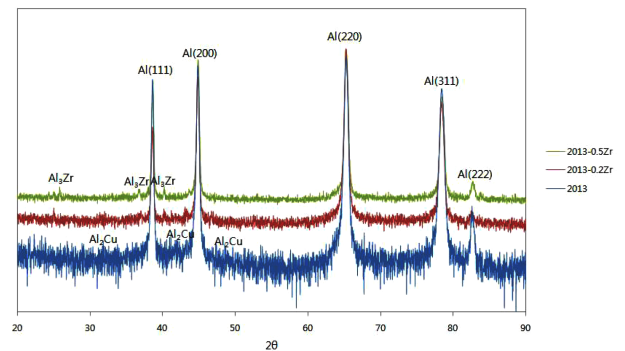


Fig. 2. XRD analysis peak.

Table 1. Chemical composition of the 2013 aluminum alloy(wt%).

Composition	Cu	Mg	Si	Cr	Al
wt%	1.7	1.0	0.8	0.15	Bal.

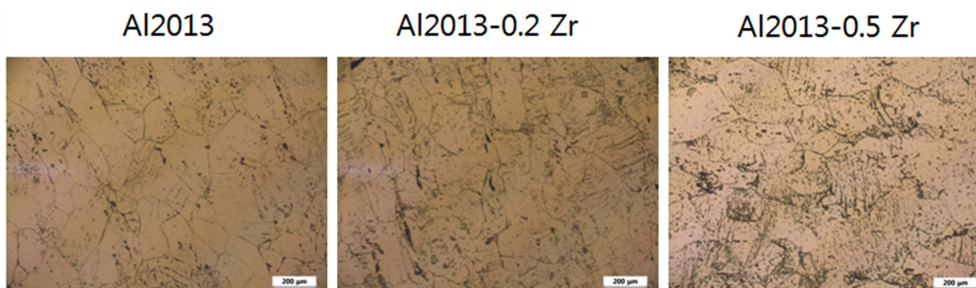


Fig. 1. Micro structure image of the Zr content.

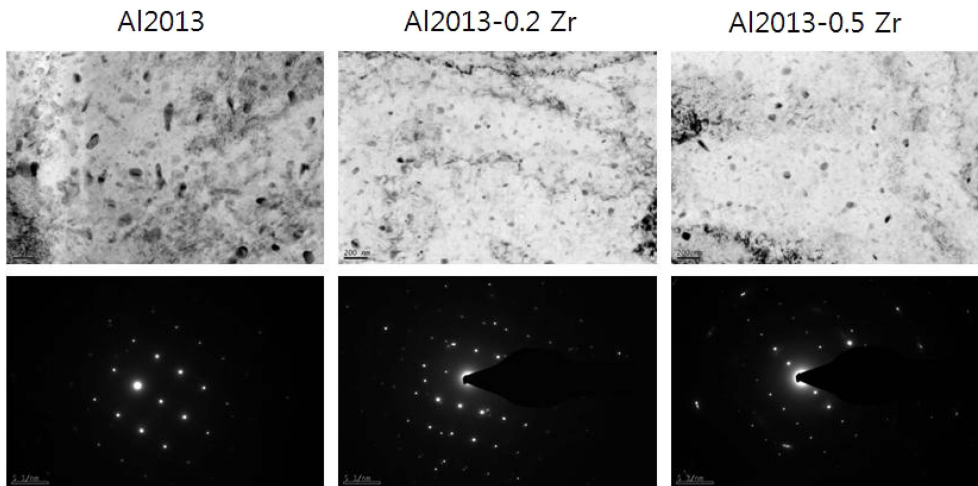


Fig. 3. TEM images( $\times 9900$ ) and  $\theta'$ (CuAl<sub>2</sub>)precipitates structure.

$\theta$ ,  $\theta'$ (CuAl<sub>2</sub>),  $\beta'$ (Al<sub>3</sub>Zr)등으로 추측되는 미세 피크들이 확인되었으며 특히 0.5 wt%Zr을 첨가했을 때 더 많은 미세 피크들이 생성되었다. 또한 Zr의 함량을 더 할수록 격자간의 거리가 각각 2013일 때는 4.0491 Å, 2031-0.2Zr은 4.0494 Å, 2031-0.5Zr은 4.0498 Å로 아주 미세한 차이가 남을 확인할 수 있었다.

Fig. 3에 나타낸 TEM 이미지로 Zr 함량에 따른 석출물의 크기를 확인할 수 있었는데, 검은 점들이 석출물에 해당되며 EDS로 성분 확인 결과 Al과 Cu로 확인되어 거의 대부분 CuAl<sub>2</sub>에 해당하는  $\theta'$ 상(tetragonal 구조)임을 확인할 수 있었다.

석출물의 크기는 Zr의 함량에 따라 사이즈와 격자상수

가 달라지고, Zr이 0.2% 첨가되었을 때 석출물은 가장 작은 사이즈(약 10 nm)를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Zr 첨가량이 0.5%일 때 보다 0.2%일 때 석출물의 사이즈를 미세화 시키고 0.5%일 때는 석출물의 크기가 다시 커졌음을 알 수 있었다.

경도와 인장강도를 통해 기계적 특성을 확인하였으며 다음의 Table 2와 Fig. 4에 각각 나타내었다.

경도와 인장강도, 연신율 전체적인 경향성을 보면 Zr의 함량에 따라 증가하는 경향을 보였다. 하지만 경도의 경우 큰 차이는 아니지만 0.5% Zr을 첨가했을 경우 Zr을 0.2% 첨가 했을 때 보다 적은 경도 값을 보였는데, 이는 앞에서 말했듯이 석출물 사이즈와도 관련이 있으며 또한  $\theta'$ (CuAl<sub>2</sub>)등의 석출물이 생성되고, 시효까지 하게 되면서 Zr 이  $\theta'$ 상의 석출에 영향을 끼쳐 시효경과 거동을 변화<sup>5,6)</sup> 시키는 것으로 판단된다.

인장강도와 연신율은 보통 반비례 관계를 가지고 있는데, 이 또한 Zr의 첨가의 영향으로 앞서 보고<sup>6-9)</sup>된 결과와 같이 Zr 첨가량이 증가함에 따라 인장강도와 연신율이 증가하는 결과와 일치하는 결과를 나타내었다.

Zr의 첨가량이 0.5 wt%일 때 국소적으로 석출물의 크기와 격자구조가 커지면서 경도의 값은 하락했지만 인장 강도의 값은 상승한 것은 넓은 의미로 생각해서 XRD 미세피크에 해당하는  $\beta'$ (Al<sub>3</sub>Zr)석출물의 생성과, Zr의 고용경화 작용으로 결국 인장강도는 높아졌을 것이라고 추측하였다.

마지막으로 Zr함량에 따른 내식성을 확인하기 위해 동전위 분극시험을 실시하였고 Fig. 5에 결과를 나타내었다.

Potential(E<sub>corr</sub>, V)은 open circuit 조건에서 표준전극에 대하여 부식되는 시편의 표면에서 발생하는 전위를 말하며 전체의 전위영역에서 전류밀도(I<sub>corr</sub>, A)가 낮을 수록 내식성이 우수함을 나타낸다.<sup>10,11)</sup>

Table 2. Value of Micro Vickers Hardness.

	Hardness(Hv)
Al 2013	132.1
Al 2013-0.2Zr	134.8
Al 2013-0.5Zr	133.6

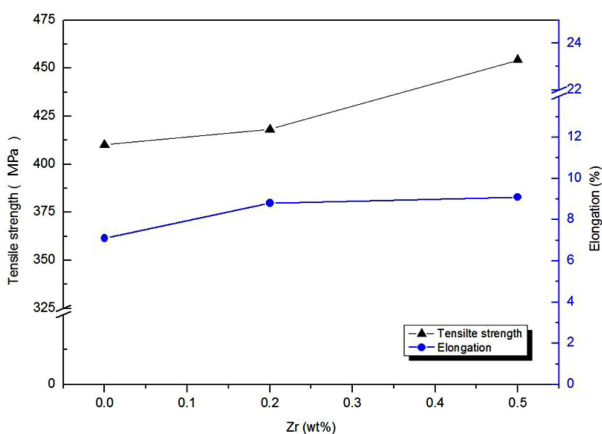


Fig. 4. Tensile strngth and elongation graphs for the Zr content.

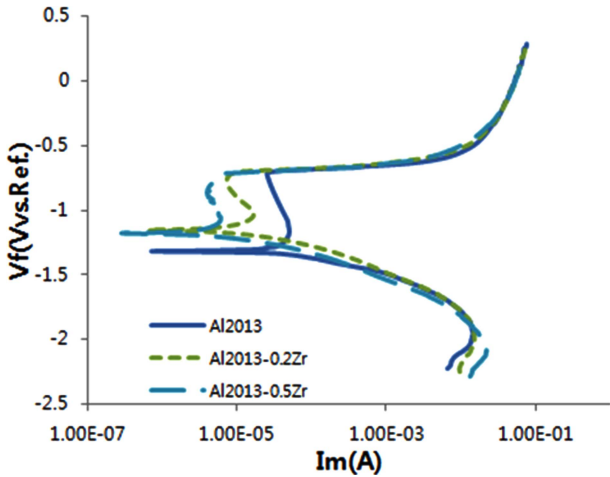


Fig. 5. Potentiodynamic polarization for the Zr content.

Table 3. Corrosion Rate for the Zr content.

	Corrosion Rate(mpy)
Al 2013	29.839
Al 2013-0.2Zr	9.321
Al 2013-0.5Zr	4.298

Zr 함량에 따라  $E_{corr}(V)$ ,  $I_{corr}(A)$  값으로 Al 2013은  $-1.32 V$ ,  $6.91 \times 10^{-5}$ , Al2013-0.2Zr은  $-1.15 V$ ,  $2.17 \times 10^{-5}$ , Al2013-0.5Zr은  $-1.17 V$ ,  $1.0 \times 10^{-5}$ 으로  $I_{corr}(A)$ 값으로 보았을 때 가장 낮은 값을 가진 Al2013-0.5Zr이 내식성이 가장 좋을 것 이라고 판단하였고 Table 3에 나타난 것과 같이 부식률이 Al2013-0.5Zr이 가장 낮은 값을 가짐을 확인할 수 있었다.

M. Morinaga 등은 원자간의 화학결합을 나타내는 파라미터로 원자반경(합금원소 주변의 국소변형은 전위변형장과 상호작용으로 전위운동을 방해하는 마찰효과를 만들어 결국 강도의 상승을 일으킴)과 전기음성도(원자간 화학결합의 세기변화로 전위에너지에 직접 관계하는 물성값이 변화함)로 나타내었으며, 이 두 가지 파라미터는 강도에 영향을 준다고 보고하였다.<sup>12)</sup> 본 연구에 사용된 합금 또한 이온반경과 전기음성도를 이용하여 식 1,2를 이용하여 그래프로 나타내었다. 이온반경의 자료는 R. D. Shannon,<sup>13)</sup> 전기음성도의 자료는 A. L. Allred<sup>14)</sup>에 의해 정리된 값을 사용하였다.

$$\Delta \bar{R} = \sum_i^n X_i |R_i - R_{Al}| \quad \text{식 1}^{12)}$$

$$\Delta \bar{\Phi} = \sum_i^n X_i |\Phi_i - \Phi_{Al}| \quad \text{식 2}^{12)}$$

여기서  $X_i$ 는 합금성분 I의 몰분율,  $R_i$ 와  $\Phi_i$ 는 각각 합

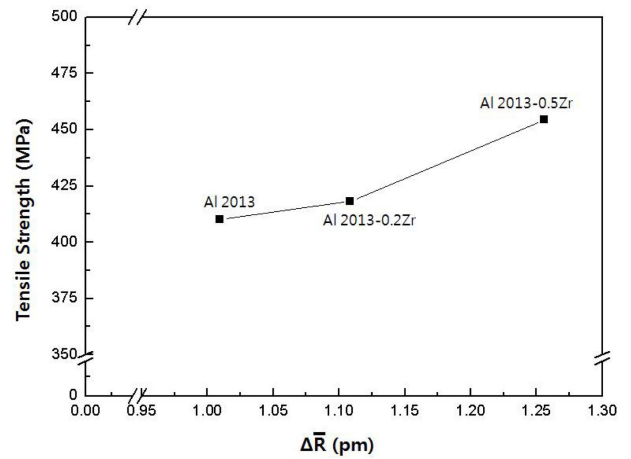


Fig. 6. Relations between Tensile strength and  $\Delta \bar{R}$  for the Al alloys.

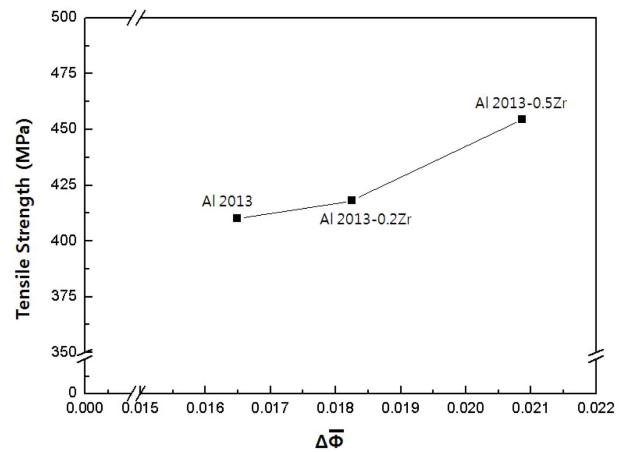


Fig. 7. Relations between Tensile strength and  $\Delta \bar{\Phi}$  for the Al alloys.

금원소 i의 원자반경과 전기음성도,  $R_{Al}$ 와  $\Phi_{Al}$ 는 각각 모금속 Al의 원자반경과 전기음성도이다.

Fig. 6과 Fig. 7에 나타난 것과 같이 Zr 함량에 따라 나타낸 합금의 강도가  $\Delta \bar{R}$ (합금 중의 격자변형의 평균치)과  $\Delta \bar{\Phi}$ (합금 중의 전하이동량의 평균값)가 증가함에 따라 증가하는 결과를 확인할 수 있었다. 이는 M. Morinaga 등이 제시한 결과와 같은 경향을 가짐을 확인할 수 있었으며, 이론값인 이온반경과 전기음성도를 이용하여 강도를 예측할 수 있는 연구 결과에 부합하는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 사용된 Al 2013 합금에 미량의 Zr을 첨가하는 것은 기계적 성질 및 내식성에 우수한 영향을 미친다는 것을 실험적, 이론적으로 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Al 2013-T8 소재에 Zr의 첨가량에 따

른 기계적, 부식의 특성을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Zr의 함량에 따라 석출물의 크기가 달라졌으며, Zr 함량의 증가에 따라 인장강도와 내식성이 증가하였다.

2) 인장강도와 내식성은 Zr 함량이 증가함에 따라 원자간의 화학적결합 측면으로 계산했을 때와 같은 경향으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

## Acknowledgements

This research was financially supported by Korea Evaluation Institute of Industrial Technology for the Advanced Technology Center business. In addition, Thanks to RIC(Center for Practical Use of Rare Materials) research people our cooperation in research.

## References

1. S. Iwamura, Y. Ozeki and H. Yoshida, Sumitomo Light Met. Tech. Reports, **50**, 32 (2010).
2. K. H. Kim, T. H. Lee, J. G. Park and I. B. Kim, J. Korean Inst. Met. Mater., **37**, 142 (1999).
3. K. H. Kim, J. D. Kim and I. B. Kim, Korean J. Mater. Res., **12**, 248 (2002).
4. C. H. Kim, J. M. Lee, K. H. Kim and I. B. Kim, J. Korean Foundry Soc., **24**, 45 (2004).
5. S. H. Han and D. H. Kim, J. Korean Inst. Met. Mater., **23**, 611 (1985).
6. J. Yun and H. Park, Sung Kyun Kwan University, **40**, 469 (1989).
7. S. C. Han, H. Y. Kim and S. E. Nam, J. Korean. Inst. Met. Mat., **31**, 145 (1993).
8. H. Yoshida and Y. Baba, J. Jpn. Ins. Light Metals, **31**, 20 (1981).
9. G. E. Dieter, Mechanical Metallrgy, 2nd Ed. McGraw-Hill 191-199 (1976).
10. K. T. Oh, H. M. Sim, C. J. Hwang and K. N. Kim, J. Korean Soc. Dent. Mater., **29**, 221 (2002).
11. J. H. Han, K. H. Lee and M. C. Shin, Analytical Sci. Technol. **9**, 192 (1996).
12. M. Morinaga and S. Kamado, Modelling Simul. Mater. Sci, Eng. **1**, 151 (1993).
13. R. D. Shannon, Acta Crystallogr., **A32**, 751 (1976).
14. A. L. Allrd, J.Inorg. Nucl. Chem., **17**, 215 (1961).