

新規な塑性加工強化メカニズムによる 超高強度マグネシウム合金の開発

熊本大学 大学院自然科学研究科

教授 河村能人

(平成 18 年度重点研究開発助成 AF-2006009)

キーワード：強化メカニズム、塑性加工、マグネシウム

1. 研究の背景と目的

近年、これまでの常識を覆すような機械的性質を有する新しいマグネシウム合金が開発され、学会のみならず産業界からも注目されている。開発された合金は、マグネシウムに亜鉛と希土類金属を微量添加したものであり、長周期積層 (LPSO) 構造という新規な原子配列を持つ合金である^[1-4]。この合金は鋳造したままでは平凡な特性しか示さないが、押出加工等の塑性加工を施すことによって著しく強化し、商用マグネシウムを凌駕する機械的特性が室温と高温で得られている^[5-8]。この塑性加工による強化は、 α -Mg マトリックス相の動的再結晶による微細化と長周期積層構造相へのキンクバンド形成によって生じ、単なる加工硬化とは異なる新規の強化メカニズムによって強化されることが明らかになっている^[8]。しかしながら、最適加工条件をはじめとして、塑性加工条件が機械的性質と組織に及ぼす影響の調査は不十分である。特に、合金の組織に及ぼす塑性加工中の材料の流動速度、塑性加工時に加わる平均相当ひずみや加工発熱の影響は考慮されておらず、その詳細は明らかとなっていない。そこで本研究では、塑性加工中の材料の流動速度、塑性加工時に加わる平均相当ひずみ及び加工発熱による温度上昇を考慮した加工中の到達温度が押出材の組織と機械的特性に及ぼす影響について調査した。

2. 実験方法

本研究で用いた $Mg_{97}Zn_1Y_2$ (at. %) 合金は高周波誘導溶解

炉を用いて Ar ガス雰囲気中で溶製した。得られたインゴットから $\phi 29 \times 60$ mm の試料を切り出し、押出用ピレットとした。押出加工は押出温度 623 K、押出速度 1.0 - 7.0 mm/s (材料流動速度 $0.3 \sim 1.8 \text{ s}^{-1}$)、押出比 1.5 - 15 (相当ひずみ 0.4 - 2.7) で行った。機械的性質は引張試験、組織は OM、SEM、EBSD、TEM を用いて評価した。

3. 実験結果

3・1 二相合金 (α -Mg 相と LPSO 相)

図 1 に α -Mg 相と LPSO 相からなる Mg-Zn-Y 二相合金の機械的性質に及ぼす各押出条件の影響を示す。平均流動速度が増加するにつれて、降伏強度が低下した。また、平均相当ひずみの増加に伴って、平均相当ひずみ 2.3 まで維持するが、その後、降伏応力は低下する傾向にあった。さらに、平均流動速度が増加するにつれて加工中の最大到達温度が上昇し、合金の降伏強度が低下することがわかった。以上のように、Mg-Zn-Y 二相合金押出材の降伏強度は平均流動速度および到達温度に大きく依存することがわかった。

平均相当ひずみ一定の条件で、 α -Mg 相と LPSO 相からなる Mg-Zn-Y 二相合金の組織に及ぼす押出加工時の到達温度の影響を調査した結果、到達温度の低い条件で押出加工を施した試料の組織は、 α -Mg 相未再結晶領域とランダム配向した非常に微細な α -Mg 相再結晶領域および黒いコントラストで示される LPSO 相の三領域が存在することがわかった (図 2)。さらに、微細な α -Mg 再結晶粒は LPSO 相近傍にのみ観察され、 α -Mg 未再結晶領域内には多量の小

角粒界が存在していることがわかった。一方で、到達温度の高い条件で押出加工を施した試料の組織は、LPSO 相が層を成し押出方向に伸長しており、 α -Mg マトリックス相は全面再結晶組織であることがわかった (図 3)。

以上のことから、高強度展伸材の作製のためには、平均流動速度及び到達温度を低く抑えることで結晶粒の粗大化を抑制するとともに、 α -Mg 相が動的再結晶できるように十分な加工ひずみを加える必要があることがわかった。

3・2 LPSO 単相合金

図 4 に LPSO 単相合金の機械的性質に及ぼす押出条件の影響を示す。平均流動速度の増加および押出加工時の到達温度の上昇に伴い、降伏応力は単調に減少するものの、降伏強度の低下率は α -Mg 相と LPSO 相からなる Mg-Zn-Y 二相合金と比較して非常に小さいことがわかった。さらに、LPSO 単相合金では、平均相当ひずみの増加に伴い降伏強度が単調に増加することがわかった。

平均相当ひずみ一定の条件で、LPSO 単相合金の組織に及ぼす押出加工時の到達温度の影響を調査した結果、到達温度の低い条件で押出加工を施した試料の組織 (図 5) 及び到達温度の高い条件で押出加工を施した試料の組織 (図 6) とともに、光学顕微鏡観察では大きな違いは観察されず、再結晶しないことがわかった。XRD による極点図でも、Max Peak Intensity は同程度であり差異は確認されなかった。

以上のことから、LPSO 相は再結晶せずにキंक変形して加工時にひずみを加えることでより強化されるとともに、熱的に非常に安定であり、温度上昇に伴う組織変化が小さいことがわかった。

3・3 α -Mg 単相合金

図 7 に α -Mg 単相合金の機械的性質に及ぼす押出条件の影響を示す。 α -Mg 相合金押出材の降伏応力は平均流動速度の増加に伴って、単調に低下した。平均相当ひずみ 2.3 (押出比 10) まで降伏応力は上昇するが、その後、急激な強度低下に転じた。また、到達温度の上昇に伴って単調に低下した。

平均相当ひずみ一定の条件で、 α -Mg 単相合金の組織に及ぼす押出加工時の到達温度の影響を調査した結果、到達温度の低い条件で押出加工を施した試料の組織は、せん断

帯近傍からの微細粒帯や押出方向と平行に伸びる微細粒帯が観察された。IPF マップより微細粒はランダムに配向し、未再結晶粒は底面 {001} 近傍の面が試料表面と平行に向いていた (図 8)。一方で、到達温度の高い条件で押出加工を施した試料の組織は、低到達温度材と比較して α -Mg 相の結晶粒が粒成長し、全面が再結晶組織を呈していた (図 9)。

4. まとめ

Mg-Zn-Y 二相合金押出材の機械的性質は、機械的性質の発現に寄与する LPSO 相に組成ひずみを加えるとともに、押出加工時の平均流動速度及び到達温度を低く抑えることで α -Mg 相未再結晶領域とランダム配向した非常に微細な α -Mg 相再結晶領域を共存させることが非常に重要であることが明らかとなった。

謝辞

本研究は天田金属加工機械技術振興財団研究助成 (平成 18 年度) の支援を受けて行われたものであり、同財団に深甚の謝意を表す。

参考文献

- [1] Y. Kawamura, K. Hayashi, A. Inoue, T. Masumoto: Mater. Trans. 42 (2001) 1172-1176.
- [2] E. Abe, Y. Kawamura, K. Hayashi, A. Inoue: Acta Mater., 50 (2002) 3845-3857.
- [3] Y. Kawamura, S. Yoshimoto, M. Yamasaki: Proc. PM2004, European Powder Metallurgy Association, 2004, pp. 449-454.
- [4] Y. Kawamura, S. Yoshimoto: Magnesium Technology 2005, TMS, (2005) 499-502.
- [5] M. Yamasaki, T. Anan, S. Yoshimoto, Y. Kawamura: Scripta Mater., 53 (2005) 799.
- [6] Yoshihito Kawamura, Takayuki Kasahara, Shogo Izumi, Michiaki Yamasaki: Scripta Mater. 55 (2006) 453-456
- [7] M. Yamasaki, M. Sasaki, M. Nishijima, K. Hiraga, Y. Kawamura: Acta Mater., 55 (2007) 6798-6805.
- [8] S. Yoshimoto, M. Yamasaki, Y. Kawamura: Mater. Trans., 47 (2006) 959-965.

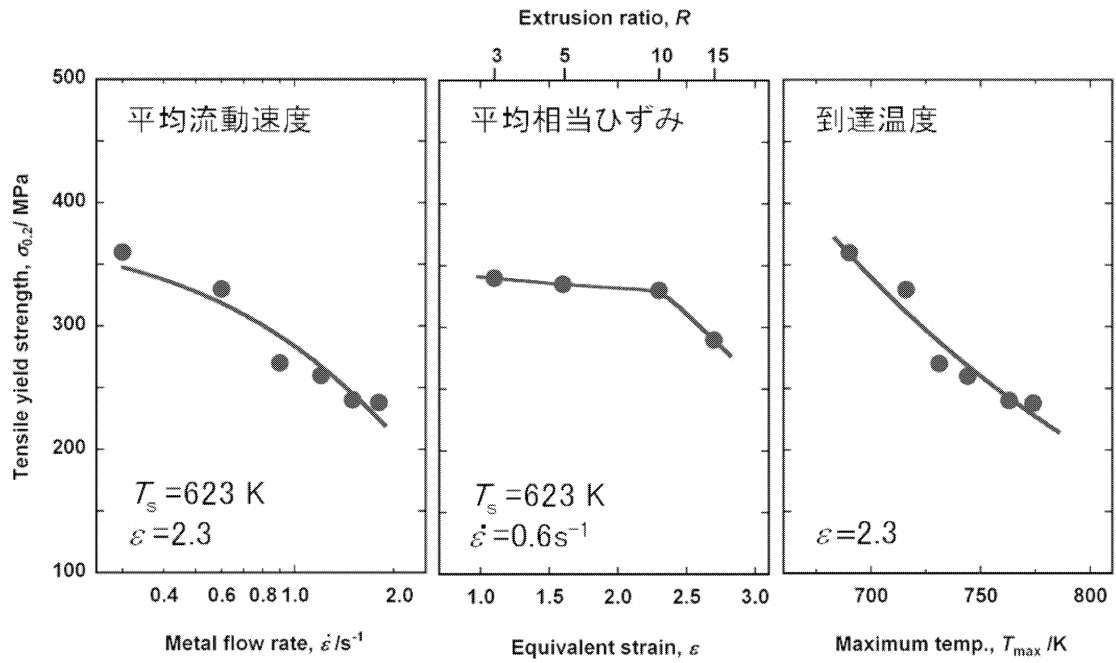


図1 Mg₉₇Zn₁Y₂二相合金押出材の機械的性質に及ぼす押出条件の影響

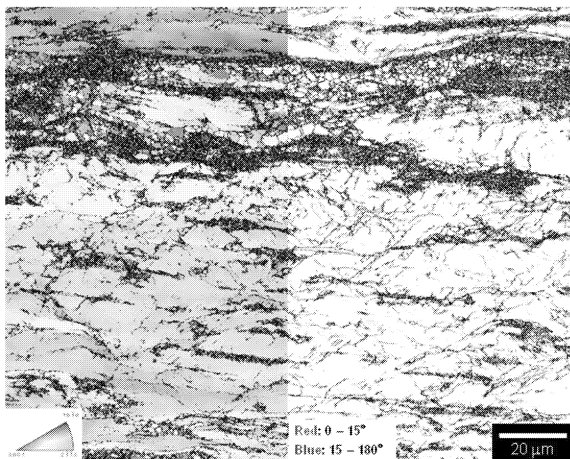
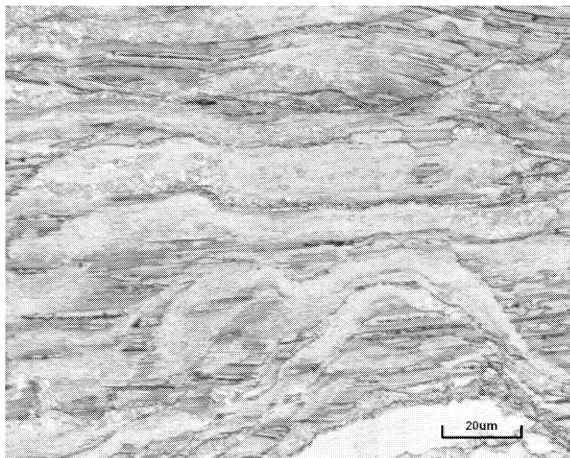


図2 低い到達温度で押出加工した Mg₉₇Zn₁Y₂二相合金押出材の組織

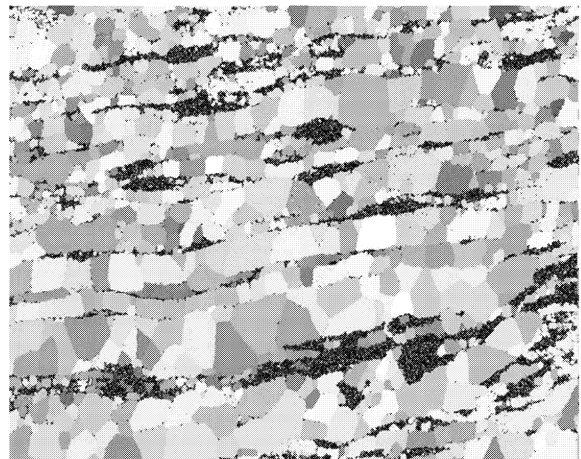
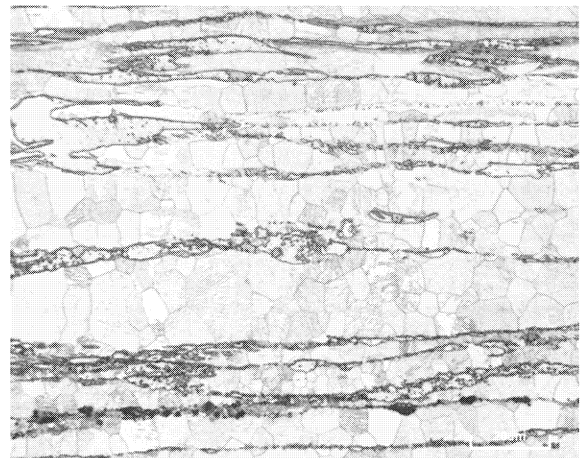


図3 高い到達温度で押出加工した Mg₉₇Zn₁Y₂二相合金押出材の組織

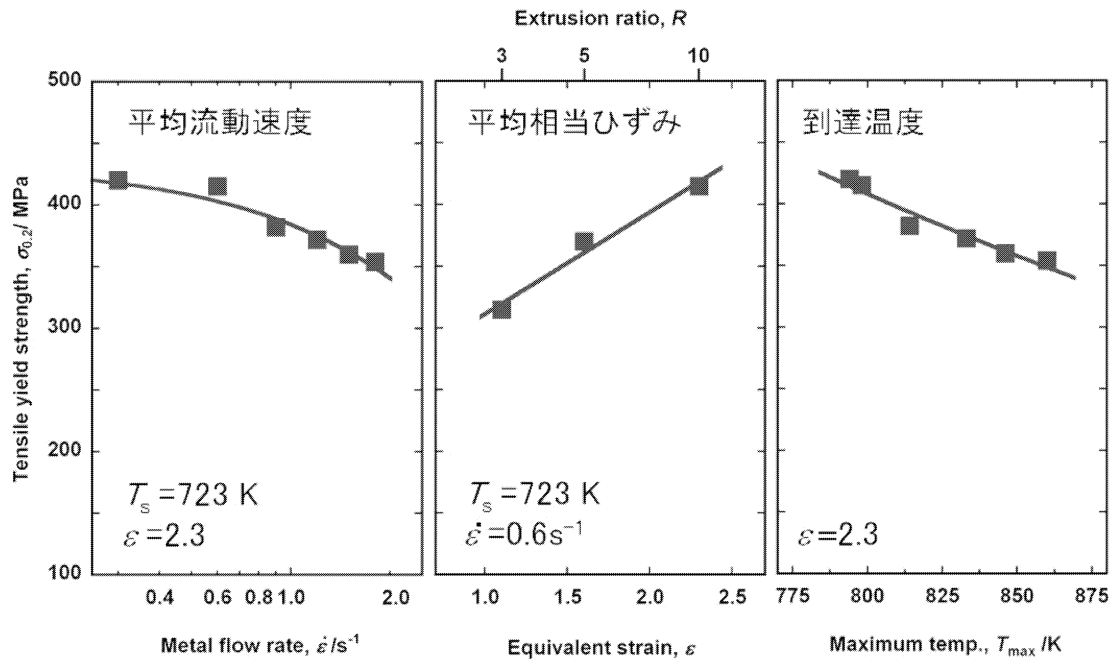


図4 LPSO単相合金押出材の機械的性質に及ぼす押出条件の影響

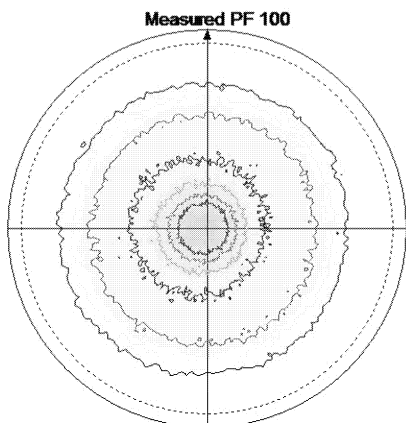
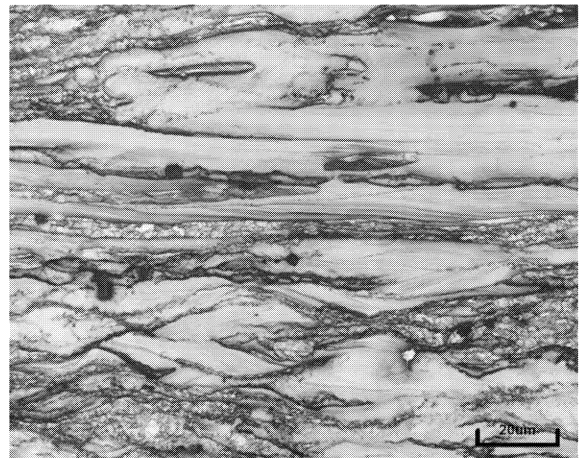
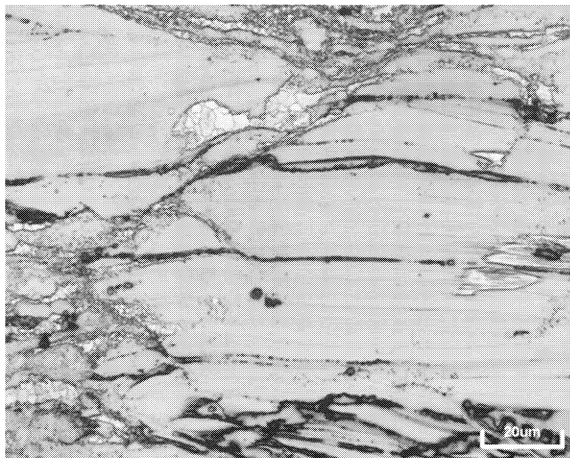


図5 低い到達温度で押出加工したLPSO単相合金押出材の組織

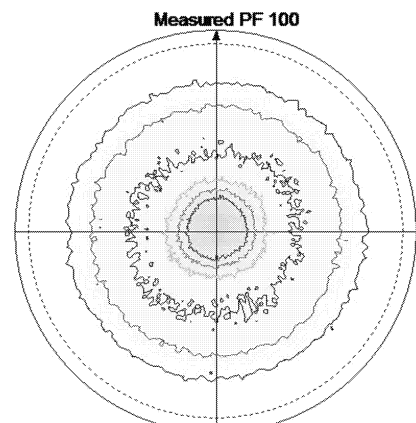


図6 高い到達温度で押出加工したLPSO単相合金押出材の組織

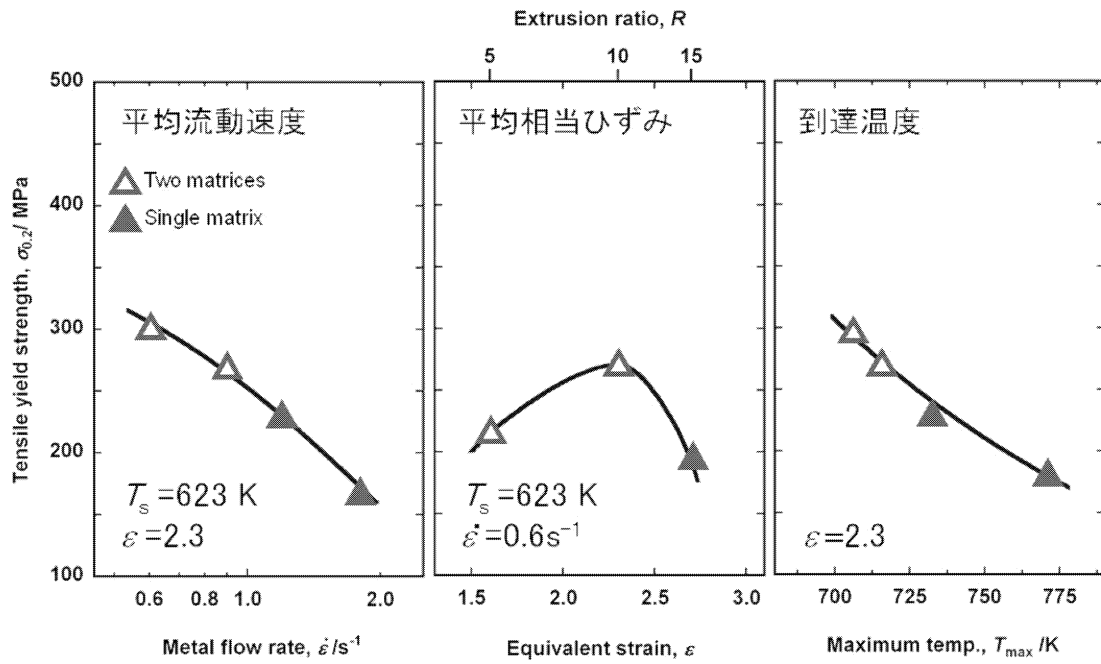


図7 α -Mg 単相合金押出材の機械的性質に及ぼす押出条件の影響

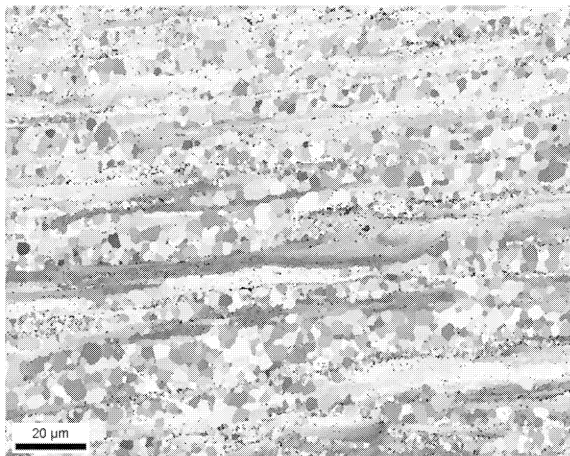
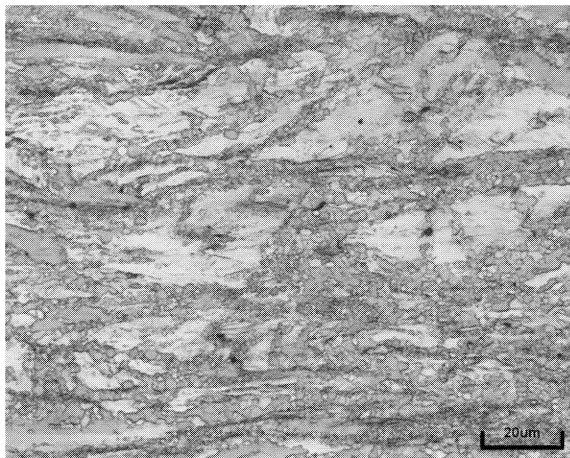


図8 低い到達温度で押出加工した α -Mg 単相合金押出材の組織

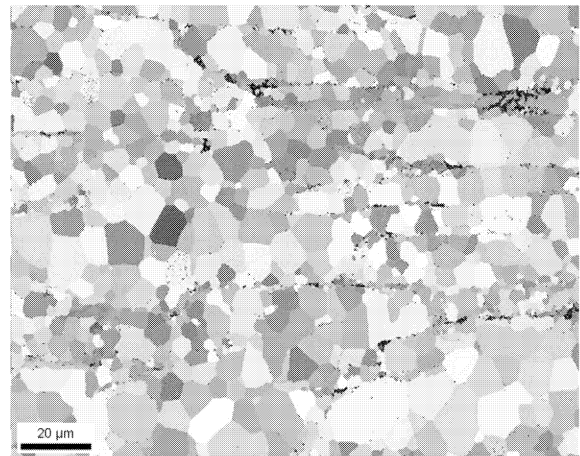
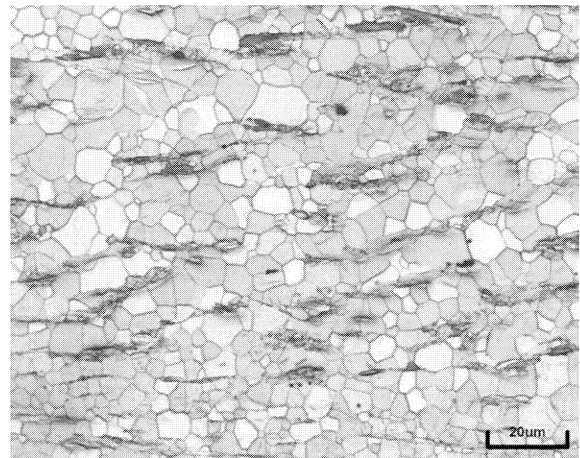


図9 高い到達温度で押出加工した α -Mg 単相合金押出材の組織