

短繊維強化金属基複合材料の超塑性成形

日本大学 生産工学部 機械工学科

教授 菅又 信

(平成2年度研究開発助成 AF - 90016)

1. 研究の背景

ウィスカーなどの不連続繊維で強化した金属基複合材は押しや圧延などの従来の加工方法によって加工が可能である。また、加工の際のマトリックスの塑性流動によって強化繊維に配向性を持たせることにより、強化効率の向上を得ることができる。しかし、塑性流動による繊維の折損はかなり起こるので、強化材の効果が半減する。強化繊維の折損を防止しながら配列させるため、静電的手法が試みられた例¹⁾もあるが、マトリックスに超塑性合金を用いて、その著しく低い熱間変形抵抗特性を利用する方法も考えられる。また、マトリックスの超塑性変形を利用することによって、複合材を任意の複雑な素形材に2次成形加工することができる利点も考えられる。

2. 研究の目標

マトリックスに熱処理のみで超塑性を発現するZn-22mass%Al共析合金を用いて、強化繊維をSiCウィスカーとして複合材を高圧鋳造法によって作製する。この鋳造複合材を熱間押し加工して、折損を抑えながら強化繊維を塑性流動に沿って配向させることを試み、得られた押し複合材の機械的性質および高温変形挙動を検討する。また、マトリックスが超塑性を発現する条件下で鋳造複合材を金型内圧縮加工で成形し、任意の複雑な形状に2次成形する際の加工性を調べることを目的とした。

3. 研究成果の概要

3.1 複合材の製造と機械的性質

図1に鋳造複合材と押し複合材の作製工程を示

す。Zn-22mass%Al共析合金の溶湯をSiCウィスカーを成形したプリフォームの間隙に浸透させた鋳造複合材では、SiCウィスカーが3次元ランダムに配向していた。この鋳造材を共析変態処理して、マトリックスを約0.2 μ mの細かい結晶粒の α 相と β 相からなる共析組織とした後、マトリックスが超塑性を発現する条件での熱間押し加工によって、ウィスカーが押し方向に配向した押し複合材とした。押し比は12:1とし、円錐角90°のコンカルダイスを使用した。

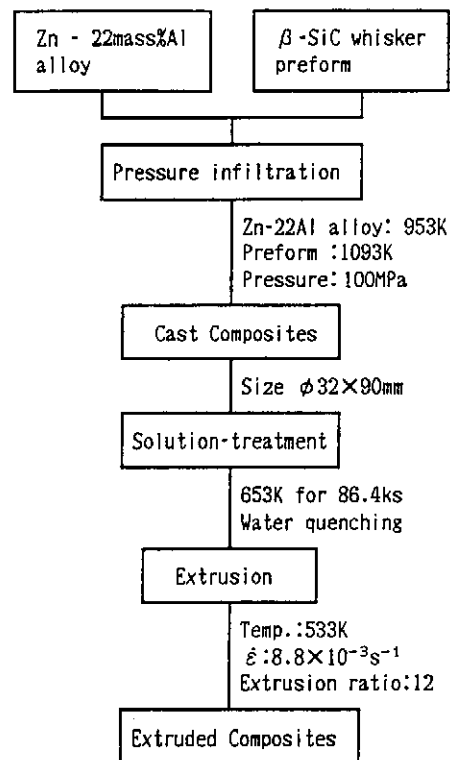


図1 SiCウィスカー強化Zn-22Al合金複合材料の作製工程

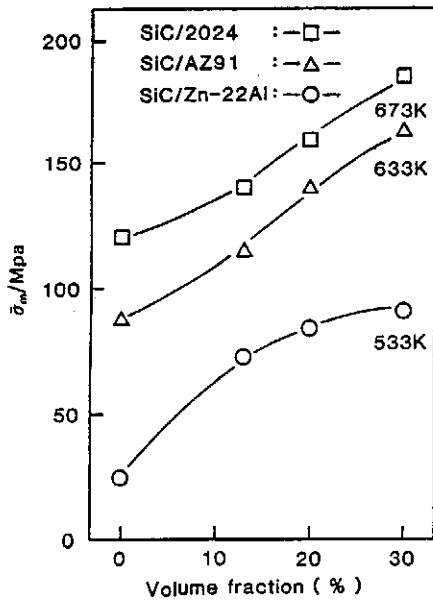


図2 押出加工時の平均変形抵抗のSiC whisker 体積率による変化

押出圧力から算出した平均変形抵抗は、図2に示すように同一条件で押出加工を行った2024アルミニウム合金やAZ91マグネシウム合金をマトリックスとした複合材に比べてはるかに小さい。このため変形中に whisker に作用する曲げ応力が低くなって、whisker の体積率 (Vf) が10%の押出複合材中の平均アスペクト比は16、Vf30%で11にとどまり、超塑性合金をマトリックスとすることによって、whisker の折損を抑えながら一方向に配向させることが可能であることが明らかとなった。

押出材の引張強さをマトリックスの強さと比較して強化効率で評価すると、Vf20%で約2倍以上の強化効率を得られた(図3参照)。この値はマトリックスをアルミニウム合金やマグネシウム合金とした複合材に比べて高く、比較的長い繊維が配向していることが強化効果を発揮している。

3.2 複合材の高温強度と加工性の評価

共析変態処理した Vf13% の押出複合材について、初期ひずみ速度を $5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ とした種々の温度における引張試験によって求めた真応力-真ひずみ曲線を図4に示す。最大応力はそれぞれの温

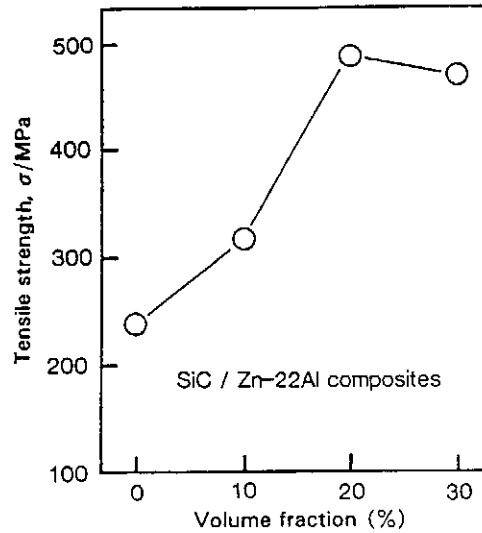


図3 押出複合材の室温における引張強さ

度における Zn-22Al 合金の値に比べて約3倍であり、Zn-22Al 合金のみでも変形抵抗が最も低かった 553K の試験温度において、最大応力が最少となり、最大値に達した後の変形抵抗の低下が比較的緩やかである。

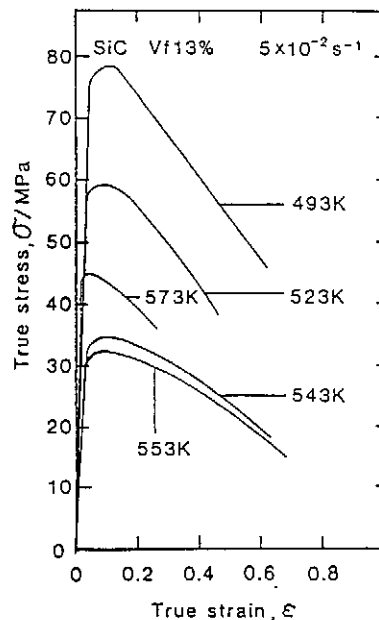


図4 押出複合材の高温引張試験における真応力-真ひずみ曲線

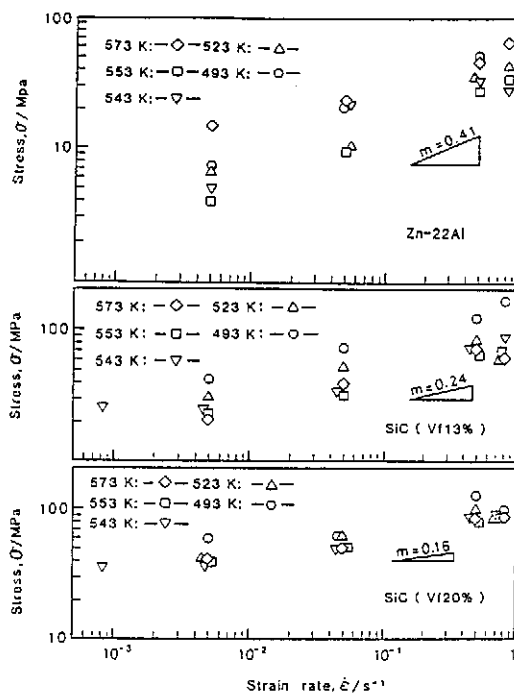


図5 押出複合材の最大応力のひずみ速度依存性

図5は種々の温度における引張試験によって得られた押出材の最大応力をひずみ速度に対して示している。いずれの材料とも、初期ひずみ速度の増加に伴って最大応力は両対数グラフ上でほぼ直線的に上昇している。マトリックス合金のひずみ速度感受性指数 (m 値) は0.36~0.44であるが、複合材では0.24 (Vf13%) および0.16 (Vf20%) とウィスカーの体積率が高くなると低下した。これはウィスカーが粒界すべりなどの粘性的変形に寄与しないためである。

図6に種々の温度における破断伸びとひずみ速度の関係を示す。いずれの材料においてもひずみ速度が小さい場合には局部的なくびれが発生したが $5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上の初期ひずみ速度ではくびれはほとんど生じず、比較的一様に変形した。Zn-22Al合金は m 値が高かった543Kと553Kにおいて、最も大きな伸びを示している。Vf13%の複合材では543Kで初期ひずみ速度が $5 \times 10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ の範囲で約70%の最大伸びが得られた。Vf20

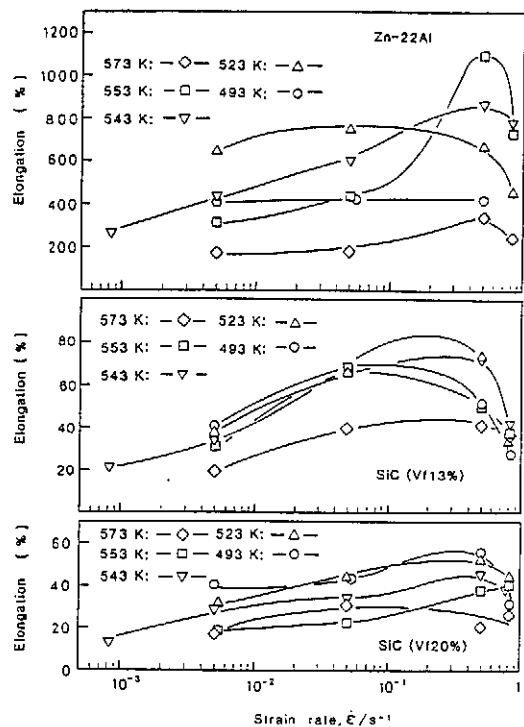
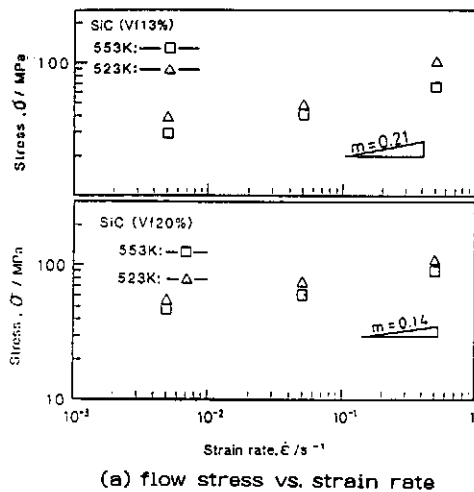


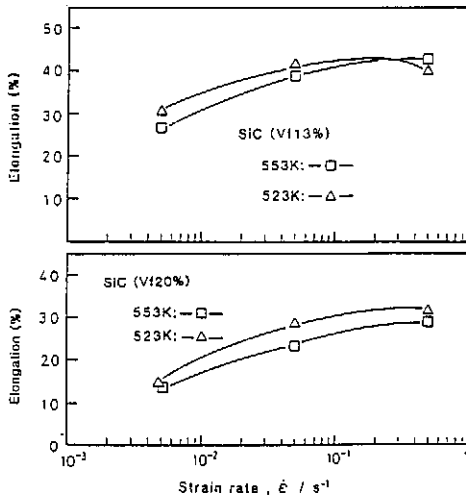
図6 押出複合材料の破断伸びのひずみ速度依存性

%の複合材では、523Kの温度において最大50%の破断伸びが得られており、Vfの増加とともに破断伸びは低下した。また、複合材の最大伸びは、Zn-22Al合金に比べてやや低い温度範囲で得られる傾向があると判断される。

図7は、鋳造材について最大応力と破断伸びのひずみ速度依存性を測定した結果である。鋳造複合材の最大応力のレベルは全体的に押出複合材より高い。これは、SiC/6061とSiC/AZ91複合材などでの結果²⁾と同様な傾向であるが、これらの複合材の押出材では、ウィスカーの折損による強度低下とマトリックスが微細組織になるために高温強度の低下の2つの理由が考えられる。しかし、本実験では共析変態処理によって鋳造材と押出材のマトリックス組織は同一である。したがって、押出加工によりウィスカーが一方向に配向することによる強度増加よりも、押出加工によるウィスカーの折損による強度低下が上回ったことを示している。



(a) flow stress vs. strain rate



(b) elongation vs. strain rate

図7 鋳造複合材の最大応力および破断伸びのひずみ速度依存性
(a) 最大応力, (b) 破断伸び

Vf13%、Vf20%の鋳造複合材の m 値は、各々0.21と0.14となって、押出複合材より多少低い値を示した。最大破断伸びも、押出複合材の約 $2/3$ である40%と30%程度にとどまっている。鋳造材では押出材に比べてアスペクト比の大きいウィスカーがランダムに配向しており、微細粒超塑性を発現するマトリックスからなるウィスカー強化複合材料の高温変形抵抗と破断伸びは、ウィスカーの長さや配向によって大きく影響を受けることがわかった。

複合材の引張変形部の組織観察では結晶粒径より大きい空洞が多数形成されていることが認めら

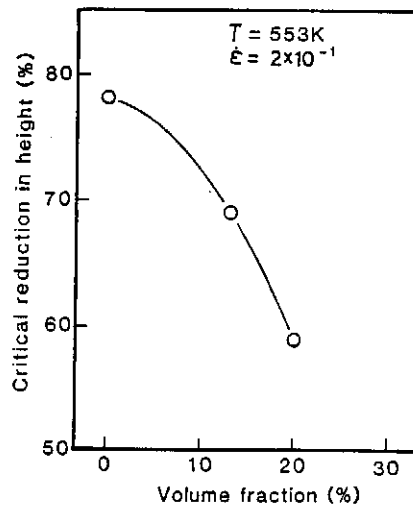


図8 鋳造複合材の限界据え込み率のSiCウィスカー体積率による変化

れ、Zn-22Al合金に比べて破断伸びが低いことに対応していた。

3.2 熱間据え込み加工性

鋳造複合材の熱間加工性を限界据え込み率で評価した。試験法は、日本塑性加工学会が推奨する方法⁹に準じて、円柱試験片の拘束試験によって行った。据え込み加工条件の温度と初期ひずみ速度は前述の実験結果より、553K (Vf0%、Vf13%)と523K (Vf20%)において、 $5 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ を最適変形条件とした。

図8に各々の鋳造複合材の限界据え込み率をVfに対して示す。Zn-22Al合金は80%まで圧縮変形しても割れは発生しなかった。限界据え込み率はVfの増加に伴って低下するが、Vfが20%の複合材で60%以上の限界据え込み率は、不連続繊維で強化した金属基複合材として高いレベルであり、種々の複雑な素形材に高温圧縮成形することが可能と思われる。

3.3 鋳造複合材の高温成形性

鋳造複合材の高温成形性を評価するために用いた金型を図9に示す。いずれも鋳造複合材の円柱形小片を金型内圧縮加工して、カップ形状と歯車形状に成形加工する。限界据え込み率を評価した変形条件で、成形加工したカップと歯車形状の素

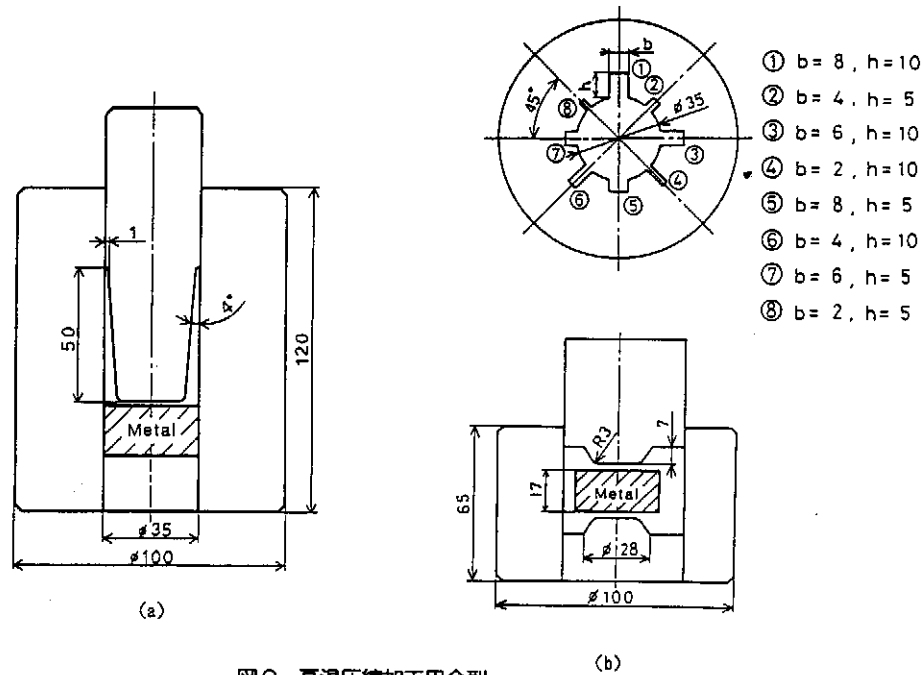


図9 高温圧縮加工用金型
(a) カップ成形用, (b) 歯車成形用

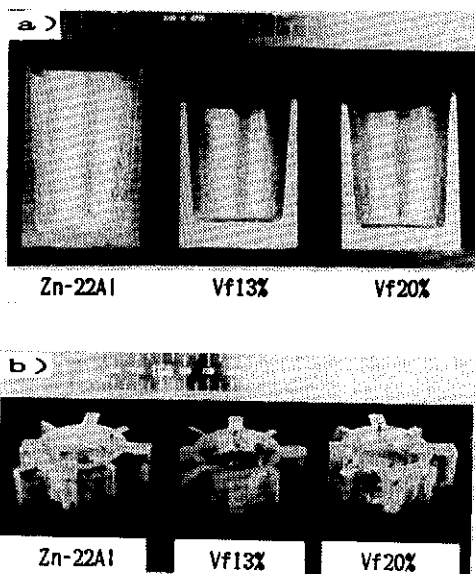


図10 鋳造複合材からの高温圧縮加工による成形品
(a) カップ, (b) 歯車

形材を図10に示す。

カップ形状の成形加工においてZn-22Al合金は高さ50mm、厚み1mmのカップ壁まで、すなわち、金型に対して完全な形に成形加工が可能であ

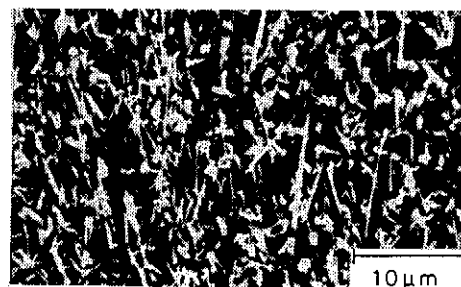


図11 成形したカップ壁部のSiCウイスカーの配向状態

った。これに対して、Vf13%、Vf20%の鋳造複合材は、各々カップの高さ43mmと42mmまで成形加工が可能であった。歯車形状においては、いずれもフィンの隅まで複合材が流れ込んで、完全な形の素形材に成形加工された。圧縮成形したいずれの素形材においても、引張変形部に見られたような空洞は観察されず、ウイスカーは図11に示すようにマトリックスの塑性流れに沿って配向されるのが認められた。とくに、フィン部においてウイスカーが歯車の半径方向に配向されており、

遠心力が作用する方向での弾性率や降伏強さなどの機械的性質の改善が予想される。このように、成形加工時の塑性流動によって強化材であるウィスカーに配向性を与え、希望する力学的特性を賦与することも可能である。

4. おわりに

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団の平成2年度研究助成を得て行われました。財団に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 伊藤友二、平井秀敏、磯村廉一：軽金属、38 (1988), 620.
- 2) 金 峻洙、菅又 信、金子純一：日本鋳物協会 第117回全国講演大会講演概要集、(1990),

59.

- 3) 金 峻洙、菅又 信、金子純一：日本金属学会誌、55 (1991), 521.
- 4) 冷間鍛造分科会材料研究班：塑性と加工、22 (1981), 139.

発表論文

- 1) 金 峻洙、金子純一、菅又 信：SiC ウィスカーで強化した Zn-22mass % Al 超塑性合金複合材料の作製と機械的性質、日本金属学会誌、55, (1991), 986.
- 2) 金 峻洙、菅又 信、金子純一：SiC ウィスカー/Zn-22mass % Al 超塑性合金複合材料の高温変形挙動、日本金属学会誌、55, (1991), 994.