

分散強化型金属基複合材料の鍛造加工プロセスに関する研究

名古屋大学 工学部 材料プロセス工学科

講師 金武直幸

(平成元年度研究開発助成 AF - 89002)

1. 研究の背景と目的

金属基複合材料の分野において最近では、自動車産業や機械産業などへの実用化を目指して、不連続繊維や粒子砲弾分散強化型複合材料の開発研究が活発化している。そして多くの分野で可能性のある部品の試作がなされ、将来材料の一つとして実用化に向け徐々に評価を受けつつある。しかしながら構造用産品への実用化は期待されたほど進まないのが現状であろう。その理由としてはコスト面での課題と同時に次のことが挙げられる。すなわち、軽くて従来材料に匹敵する機械的特性を持つ材料を安価に製造するための、複合素材の種類やその複合技術の検討が活発に行われている一方で、これらの材料を複雑形状の最終製品に成形する技術や、諸特性を評価・保証する技術の検討がかなり遅れていることである。

金属基複合材料を従来材料に代替して積極的に利用できるだけのコスト低減を果たすためには、粉末や短繊維など素材のコストのみならず、最終製品までの全製造コストを低減することが重要である。その可能性として、鉄鋼材料に代表される従来材料に対して確立されている生産システムを、そのまま利用して金属基複合材料部品を製造できるプロセスの確立に期待が寄せられる。すなわち溶湯法や粉末法により棒状あるいは板状の“複合材料素形材”を供給し、それをさらに二次加工して最終製品にするプロセスである。一般に複合材料は変形抵抗が高く延性が低いことから、塑性加工には適さないとされている。しかし分散強化型複合材料の場合には熱・温間加工や大変形を

伴わない冷間加工はある程度可能である。従って金属基複合材料素形材の二次塑性加工性の検討や、それに適した塑性加工プロセスの開発は、金属基複合材料の実用化を大きく前進させる可能性を持ち、急務の課題と考える。

本研究はこのような観点から、粒子分散型アルミニウム基複合材料の鍛造加工プロセスに関連する2つの問題を検討することを目的として、次のような研究が実施された。

(1) SiC粒子分散6061アルミニウム合金複合材料を用いて、その据込み限界や据込み加工及び熱処理後の室温及び高温強度の変化について詳細に調べられた。

(2) 粒子分散型複合材料の塑性変形抵抗を計算予測する方法を提案し、実測結果との比較検討がなされた。

2. 研究成果の概要

(1) SiC/6061合金複合材料の据込み加工

使用した材料は、TYK(株)が工業化して市販しているSiC粒子分散強化アルミニウム合金「METACS」である。SiC粒子の体積分率は20%で粉末押出し法により作製されたφ35mmの丸棒である。また比較のためにマトリックス粉末のみを同様に押出した丸棒も使用した。塑性加工学会の推奨する据込み性試験(同心円溝付き圧板を用いた端面拘束圧縮試験)を高温域にも適用して、各種温度での限界据込み率を調べた。

二次加工プロセスとして、①300℃で50%据込

み、②300℃で25%据込み後、室温で25%据込み、およびその両者をさらにT6処理する各プロセスを対象として、マトリックス材および複合材料の各プロセス後の強度及び延性の変化を調べた。加工前の試験片はφ35mm×60mmの円柱試験片で、各プロセスによって圧縮された試験片から、板状の小さい引張り試験片を採取して高温引張り試験を行った。

各温度における限界据込み率の結果(図1)より、据込み方向による限界据込み率の差はほとんど無く、200℃以下では限界据込み率が低くて加工性が悪いものの、300℃以上では限界据込み率が急激に向上して、鍛造加工が可能であることがわかる。

据込み加工後の室温強度の結果(図2)より、マトリックス材、複合材料ともに二次加工の有無に関係なく、軸方向(L)、半径方向(T)方向での強度の差はほとんどないことがわかる。このことより、押出し加工で作られた粒子分散複合材料でも異方性の少ない均質な材料であり、加工後もそれは変わらないと言える。加工後の強度については、マトリックス材では300℃で加工した後も加工前とほぼ同程度の強度がでており、300℃加工後室温加工を加えたものは、加工硬化により強度が向上している。一方、複合材料ではマトリックス材

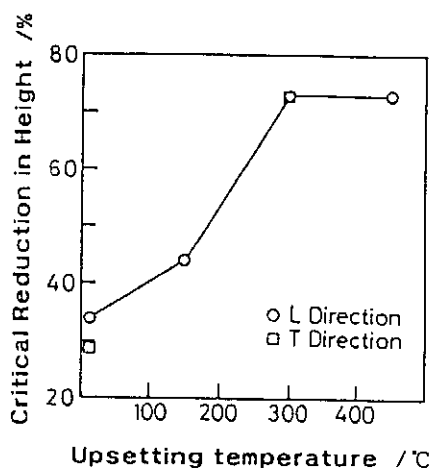
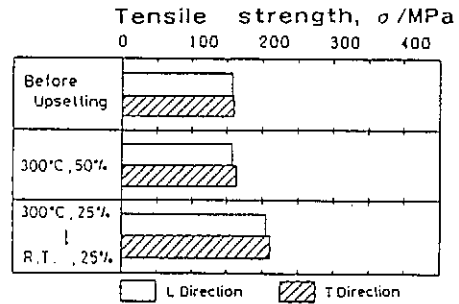
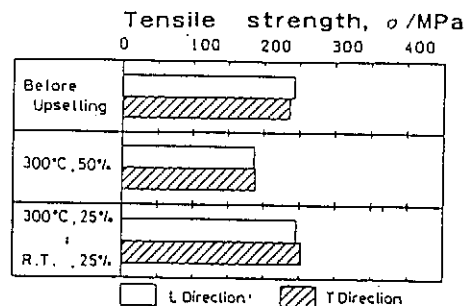


図1 据込み温度と限界据込み率



マトリックス材



複合材料

図2 加工後の室温強度

と異なり、300℃の加工により強度が低くなっている。しかし、室温加工を加えることによりマトリックス材と同様に加工硬化して加工前の強度以上に回復している。つまり加工によってSiC粒子の複合化による強化の割合が減少していることがわかる。

加工による強度の低下は高温強度でも見られ(図3)、さらにその後T6処理してもそのまま残っていることがわかる(図4)。一方加工による延性の変化の傾向は強度のそれと逆の傾向にある。すなわち素形材や室温加工を加えたもののように強度の高いものは延性が低くなり、加工によって強度の低下したものは逆に延性が高くなることがわかった。

以上のことから加工性の良いアルミニウム合金をマトリックスとして複合材料を製造すれば、その複合材料も高温加工でかなり良好な加工性を示し実用化が可能であると考えられる。しかし二次

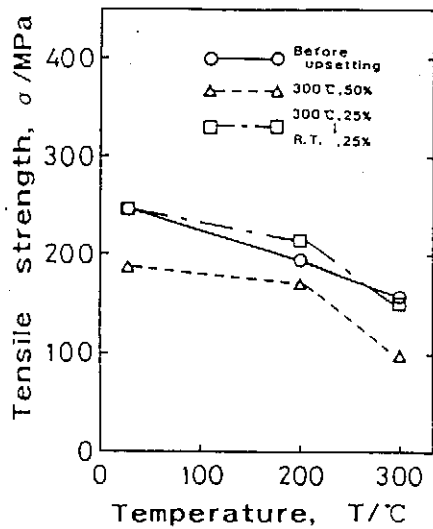


図3 加工後の高温強度

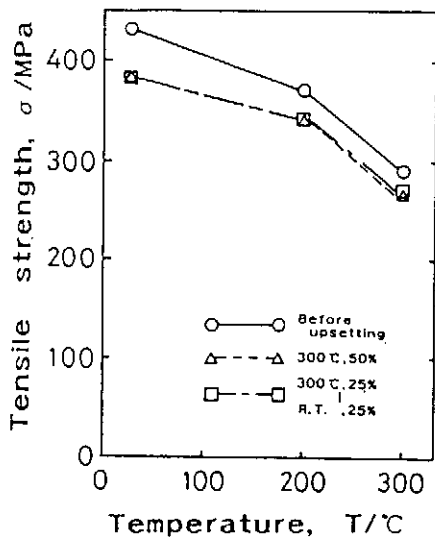


図4 T6処理後の高温強度

加工によってその後の強度が素形材の強度より低下することが確認され、その低下の現象は熱処理後にもそのまま残るため、製品の使用において注意が必要である。この加工による強度の低下を少なくすることが、複合材料の二次加工を実用化するための今後の課題となる。そのためには、加工のまま製品とする場合には高温加工の後に室温加工をするプロセスが考えられる。またマトリックスとセラミックス粒子との界面の結合状態を改善

するなどの素形材製造法からの検討や、二次加工における加工熱処理の適切な利用など加工プロセスからの検討が考えられる。

(2) 塑性変形抵抗の計算予測

分散型複合材料の強化機構としては、高強度材料の複合による応力負担能力の向上（強化機構1）と、粒子の分散効果による母相の加工硬化能力の向上（強化機構2）とが挙げられる。そこでこの2つの強化機構を考慮した計算方法として、次のような計算モデルが検討された。強化機構1に対しては、無限弾性体中にある楕円体介在物近くの内部応力場を解いたEshelbyの解を基礎とし、強化機構2に対しては、Ashbyが硬い析出粒子を含む合金の強化機構として提案した、転位の二次すべりの効果による加工硬化理論を基礎とした。この両者を組み合わせた新しい計算モデルによって、マトリックス金属の種類、強化粒子の種類、形、大きさ、量（体積分率）の因子の変化を考慮して、塑性変形抵抗曲線を計算することができる。

実際の計算に際しては、粒子は大きさが均一な球体であると仮定し、計算の入力データとして母相材料の縦弾性係数 E_0 、ポアソン比 ν_0 、塑性応力-ひずみ曲線、バーガースペクトル b 、および強化粒子の縦弾性係数 E_1 、ポアソン比 ν_1 、粒子径 d 、体積分率 f が必要である。ここでは E_0 、 E_1 、 ν_0 、 ν_1 、 b は相当する文献値を使用した。母相材料の応力-ひずみ曲線については、実測した母相試料の応力-ひずみ曲線を数式近似して用いた。

実測結果と比較検討するため、マトリックスとして純アルミニウムおよび6061合金、強化粒子にはSiC、 Al_2O_3 、TiC粒子を用いて、前述の諸因子の異なる複合材料が粉末押し法によって作成された。これらの材料について、室温および高温での引張り試験および圧縮試験を必要に応じて行い、応力-ひずみ曲線を測定してその計算結果と比較した。

純アルミニウム複合材料について、強化粒子の体積分率、平均粒径、その種類をそれぞれ変えて測

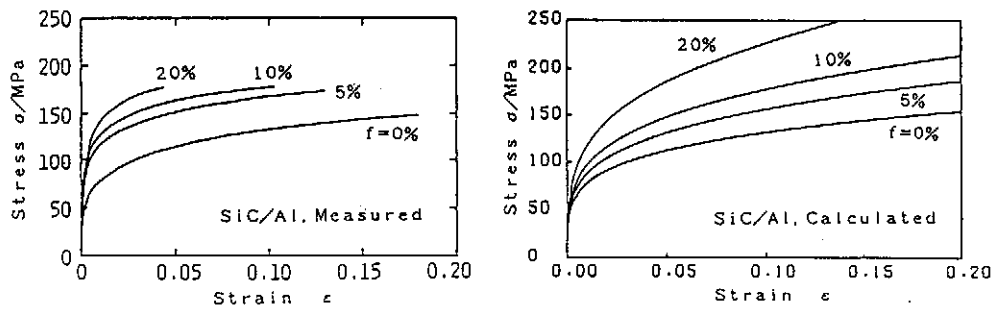


図5 変形抵抗に及ぼす強化粒子の体積率の影響

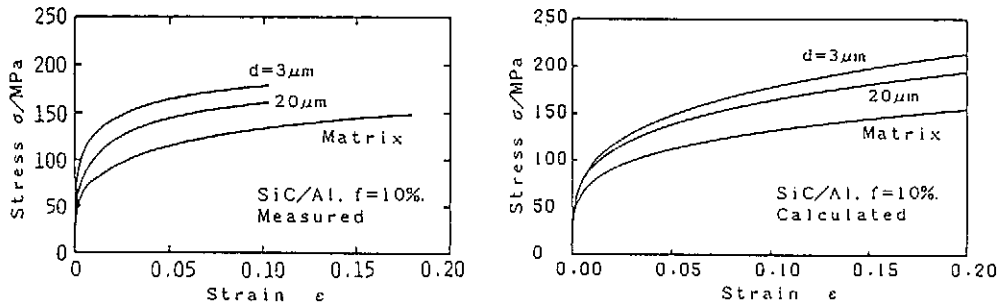


図6 変形抵抗に及ぼす強化粒子の平均粒径の影響

定および計算した引張り変形抵抗曲線を比較した。図5はSiC (3 μm) の体積率 (f) を変えた結果である。計算結果は低ひずみ域での様子が多少差が見られるものの、複合材料の変形抵抗の向上の様子をおおむねよく現すことができる。図6はSiCの平均粒径が異なる場合の結果である。粒径の小さい粒子で強化された方が変形抵抗が高く、計算結果でもそのことがよく現されている。強化粒子の種類が異なる場合については、計算結果は実測結果を定性的にも説明できず、さらに計算モデルの改良が課題となる。

SiC/6061合金複合材料の室温、150℃、300℃における変形抵抗については、母相材料の変形特性と比較すると、複合材料の場合150℃での変形抵抗の低下が少ない。計算結果はその150℃で実測値との差が見られるが、室温および300℃では純アルミニウムマトリックスの場合と同様に実測値とよく一致している。この計算モデルには温度

の影響は考慮されておらず、やはり今後の課題となる。

分散強化型複合材料の強化機構として高強度材料の複合による応力負担能力の向上と、粒子の分散効果による母相の加工硬化能力の向上とを考慮して、塑性変形抵抗曲線を計算するモデルが検討された。この計算モデルによって、マトリックス金属の種類、強化粒子の種類、大きさ、量(体積分率)の異なる複合材料について塑性変形抵抗曲線を計算し、実測結果と比較検討した。その結果、マトリックス金属の種類、強化粒子の体積分率や大きさの影響については十分な計算予測が可能であることを確認した。一方強化粒子の種類や測定温度の影響については計算予測が不十分であり、今後の課題として残された。

3. まとめ

粒子分散型アルミニウム基複合材料の鍛造加工

プロセスを実用化するための基礎研究として、その掘込み加工性と塑性変形抵抗の計算予測に関して検討した。その結果、従来のアルミニウム合金と同様に高温加工によってかなり良好な加工性を有することがわかった。しかしながら複合材料素形材の持つ強度特性は、二次加工によって変化する可能性があり、場合によっては素形材の持つ強度が製品にまで維持できないこともある。これはかなり重要なことであり、素形材の製造プロセスとも密接に関連した二次加工プロセスの検討が必要となる。一方複合材料の変形抵抗は強化粒子の諸因子に複雑に影響されるため、その計算予測を可能にすることは二次加工を行う上でどうしても必要となる。今回行った計算予測では強化粒子の種類の影響など不十分な点もあるが、体積分率や粒子径の影響などの予測は十分に可能であり、今後の一層の改良により一つの計算手法として利用できることが確認できた。

最後に財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究助成金を得て、有意義な研究を進めることができたことに感謝の意を表します。

4. 発表論文

(1) N.Kanetake and H.Ohira : Analytical Study on deformation Behaviour of Metal Matrix Composites, J.Mater. Proc. Tech., 24 (1990), 281.

(2) 金武、尾崎、長 : 粒子分散アルミニウム基複合材料の変形抵抗と加工硬化特性、第41回塑加連講論文集、(1990), 535.

(3) 尾崎、金武、長 : SiC/6061 合金複合材料の強度特性に及ぼす二次加工プロセスの影響、第79回軽金属秋期大会概要集、(1990), 101.

(4) 金武、尾崎、長 : SiC/6061 合金複合材料の掘込み加工とその後の特性変化、平3年塑加春講論文集、(1990), 289.