

微細塑性加工における被加工材の組織学的要因の 影響に関する基礎的研究

工学院大学 工学部 機械システム工学科

教授 丹羽直毅

(平成5年度研究開発助成 AF-93010)

1. 研究の背景

微細塑性加工は、通常の加工に比較し、より微細かつ高い精度の加工を目的とする。材料の微細構造が塑性加工に大きな影響を持つ場合が多いが微細塑性加工においてはさらに被加工材のその影響が大きくなる。特に、微小部品の製作に際しては、加工品が材料組織のユニット（例えば、結晶粒）のディメンジョンに対し相対的に小さくなるに連れ、加工後の特性に、材料組織学的要因や加工履歴の影響が大きくなると考えられる。

本研究では、塑性加工と第二相との関係に関して、主として走査型電子顕微鏡内において塑性加工のシミュレーションを行ない、塑性加工に及ぼす材料の組織学的要因の影響に関する基礎的解明を行なうことを目的としている。

2. 実験方法

走査型電子顕微鏡用変形ステージ（図1）にステップモーターを利用した変形制御装置を取り付け、走査型電子顕微鏡内で一定速度での変形、変形速度を変化させること、検出荷重による変形の停止、反転を可能とした。

記録は、CRT画面の写真撮影によるもの他に、テレビ信号をビデオテープに録画した。ビデオプリンターに出力することにより、シャッター速度最小1/30秒で現象をとらえることを可能とした。

図2に、プレス打ち抜き用の治具の写真を示す。治具、ポンチは、焼き入れしたSKD-11である。ポンチは、すくい角0度、12度、26度のものを製作し用いている。

材料の組織学的因子が独立因子であることはまれであり、因子の影響を評価することは容易ではない。本研究の主たる観察手段が、走査型電子顕微鏡内の試料表面の変形・破壊過程のその場観察であり、この手段からだけでは3次元に分布した第二相の影響を正しく評価することはできない。このため、図3に基本的な概念図を示したように、擬平面歪変形をさせるため

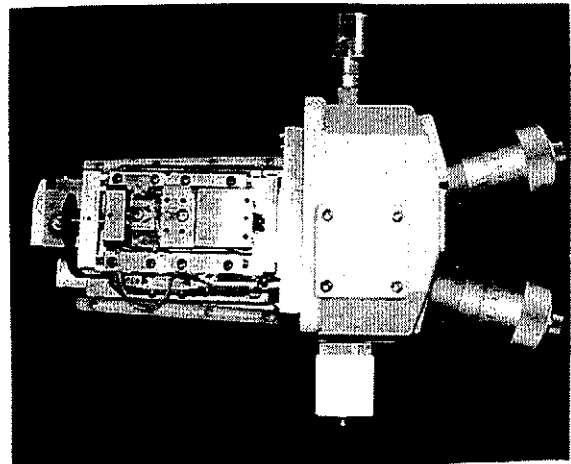


図1 走査型電子顕微鏡用変形ステージ

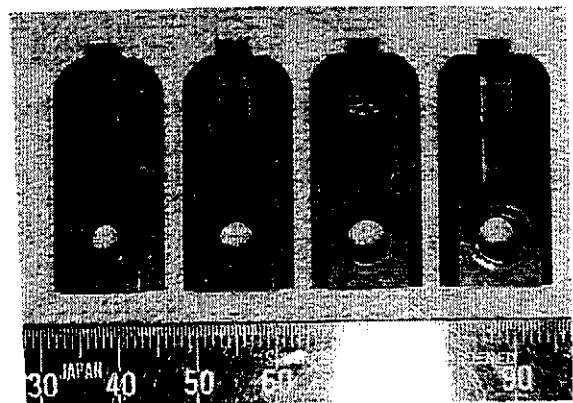
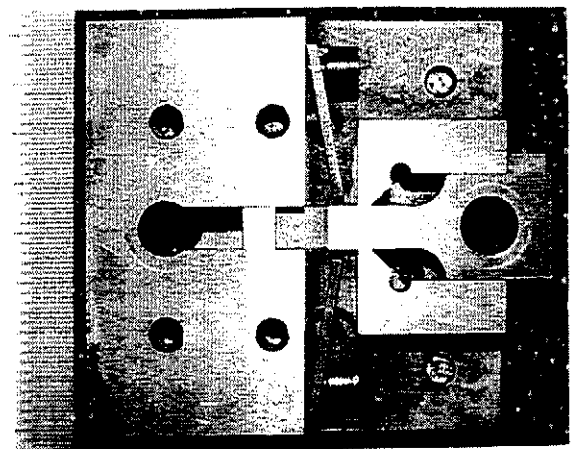


図2 プレス打ち抜き用治具とポンチ

のモデル材料の製作にかなりのエネルギーを注ぐこととなった。

図4に、図3に示した試料作成のための装置を示す。この装置により、芯となる板に線材を一定のピッチで巻いていくことが可能である。ピッチは、歯車の組み替えにより変えることができる。線材を巻いたものにはんだやメッキを施し、加圧・加熱保持し、切り出すことにより観察用試料を作製した。また、拡散接合による積層材の試料やエッチングにより一定ピッチの線状の溝を掘った板材にニッケルメッキを施した後積層・拡散接合しメッキされたニッケルを図3に示した線状の第2相とする試料の作製も試みた。

歪の可視化のために必要に応じて試料表面に格子を描いた。

3. 成果の概要

3.1 力学的性質とプレス打ち抜き

微細構造の変化を含んでいる巨視的な材料の特性値とプレス打ち抜きの関係を検討した。用いた材料は、アルミニウムで、A1100、A3004、A5052、A5182のO材とH24材およびA6061のO材とT4処理材である。

ここでは、金属材料の強化法である加工硬化と析出硬化に関して比較を行っている。すなわち、同一材料のO材とH材およびT4処理前・処理後の試料に関して比較した。図5は、A1100のO材とH材およびA6061のT4処理打ち抜きの際のポンチストロークと荷重の変化を示している。A1100の場合、最大荷重は、H材の方が大きく、打ち抜きが完了するまでのポンチストロークは、O材の方が大きい。A6061の場合、T4処理材は、最大荷重が大きくまたポンチストロークもわずかに小さい。

図6は、A1100O材、H材およびA6061T4処理前後の試料の打ち抜き過程の走査型電子顕微鏡写真である。この写真からA1100のO材とA6061のT4溶体化材では、H材、T4処理材に比較し、打ち抜きに際し塑性変形がせん断部以外にも広がっていることがわかる。

図7は、打ち抜きに要する仕事量（図5における荷重-ストローク曲線の下の面積を積分し求めた量）をO材、H材、溶体化材およびT4処理材に関して比較したものである。この図から、O材とH材においては、打ち抜きに要する仕事量はほぼ等しい。しかし、時効材に関しては、時効硬化させた試料は、時効前の試料に関して約2倍の仕事量を要している。

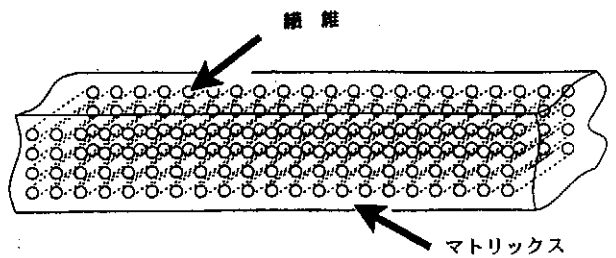


図3 モデル材料概念図

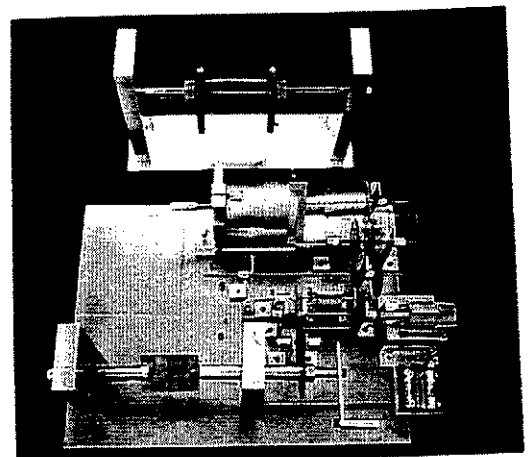


図4 線巻き装置

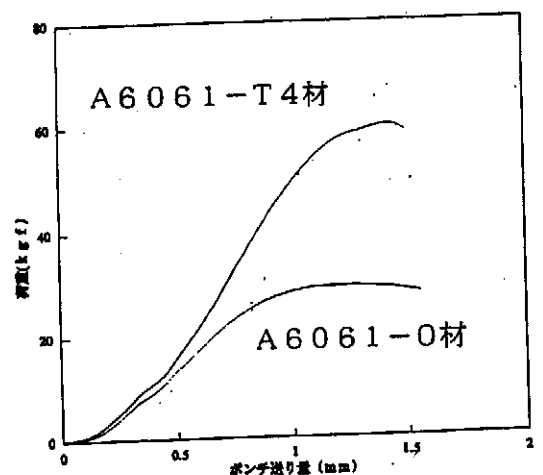
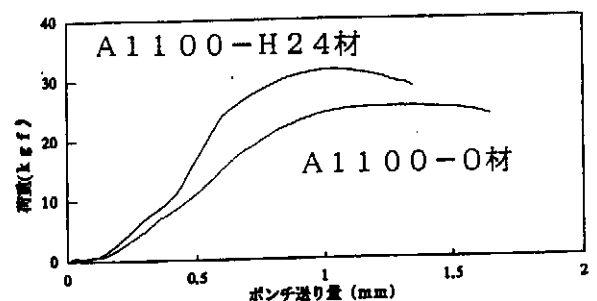
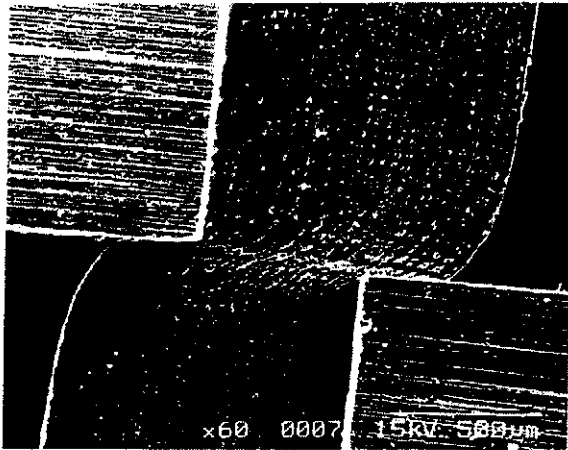
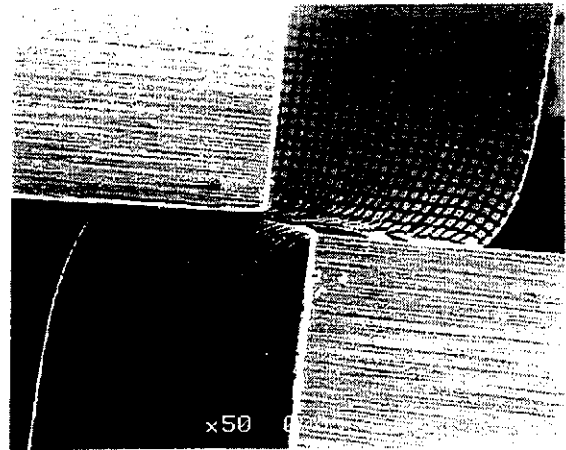


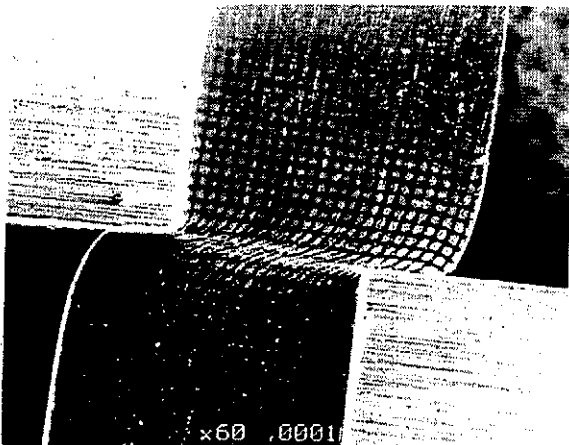
図5 打ち抜き荷重-ストローク曲線



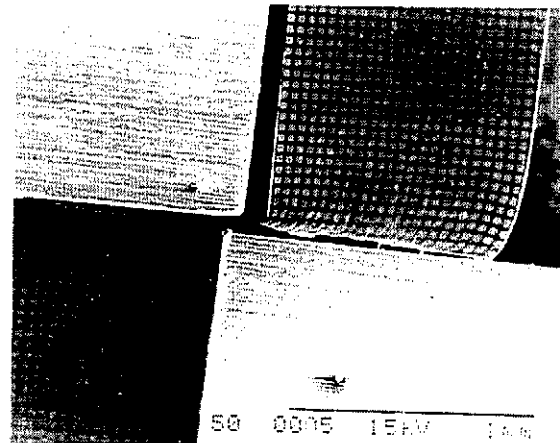
1100-O材の打ち抜き変形過程



6061-O材の打ち抜き変形過程



1100-H24材の打ち抜き変形過程



6061-T4材の打ち抜き変形過程

図6 打ち抜き過程の走査型電子顕微鏡写真

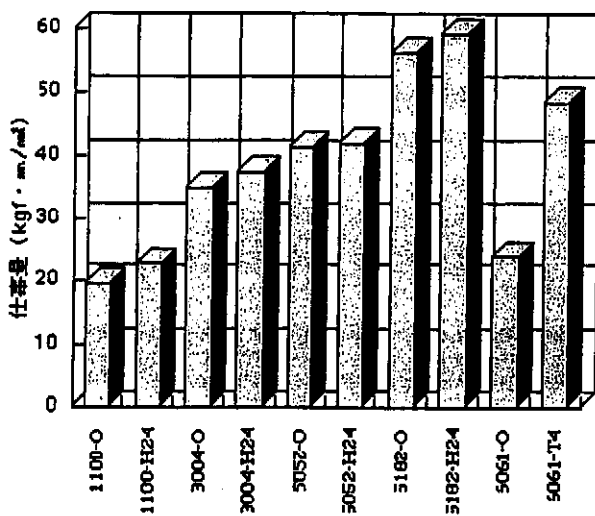


図7 打ち抜きに要する仕事量の比較

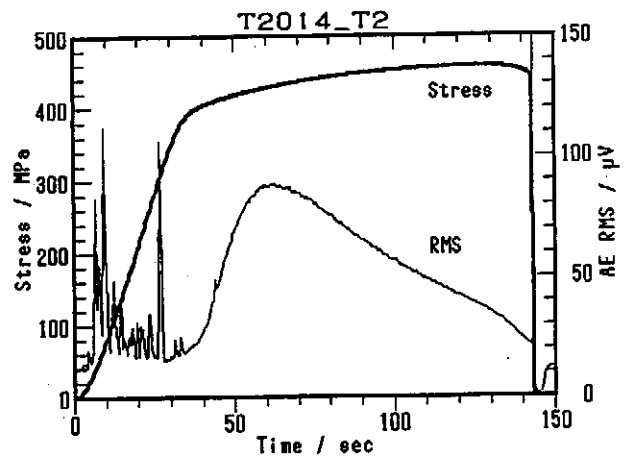


図8 打ち抜き過程におけるAE

図7に示されているように、O材では、H材に比較し打ち抜きにともない塑性変形する領域が多い、すなわちいわゆる製品の「だれ」となって表れる。要する仕事量には、このせん断領域以外の塑性変形に要する仕事量が含まれる。H材では、試料のせん断応力が高く結果としてほぼ同様の仕事を要することになっていると考えられる。

図8には、打ち抜き過程におけるアコースティックエミッション(AE)の計測例をしめす。塑性変形にともなうAEが観測され、引張りの試験でのAE計測で加工硬化にともないAEが減少することに類似して荷重の増加にともないAEが減少している。打ち抜きの最終段階のせん断に際しては、大きなAEが観測されている。最終せん断に至るき裂発生過程すなわちき裂発生位置(ロケーション)や時間経過の詳細な解析にはさらに測定系の改善が必要であることが分かった。

3.2 モデル材料における打ち抜き

図9には、銅線-はんだおよびSUS304線-ニッケルメッキの組み合わせで製作したモデル材料の横断面を示す。銅線は、はんだメッキ済みのものを使用した。

図10には、打ち抜きにおけるせん断領域における変形をしめす。炭素繊維強化アルミニウムや炭化珪素繊維強化アルミニウムのFRMで硬い相が孤立して存在する場合の例では、変形が主として軟らかいマトリックスで生じ、また、繊維とマトリックスの界面での微視き裂の生成がみられるが、銅-はんだの組み合わせの試料では、変形は、はんだの領域だけではなく銅にも生じている。破断は、銅-はんだ界面の剥離ではなく、はんだ内で生じている。SUS304-ニッケルメッキの組み合わせの試料では、せん断領域におい

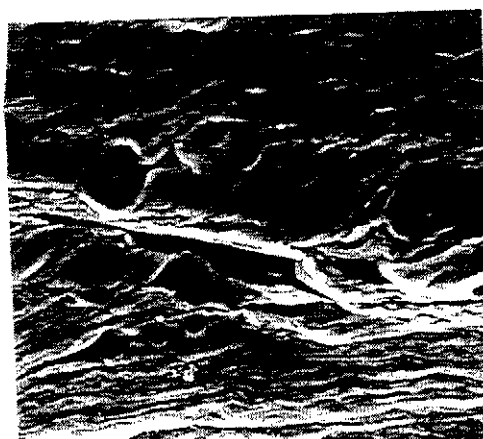


図11 鉄-銅のポンチ近傍の変形

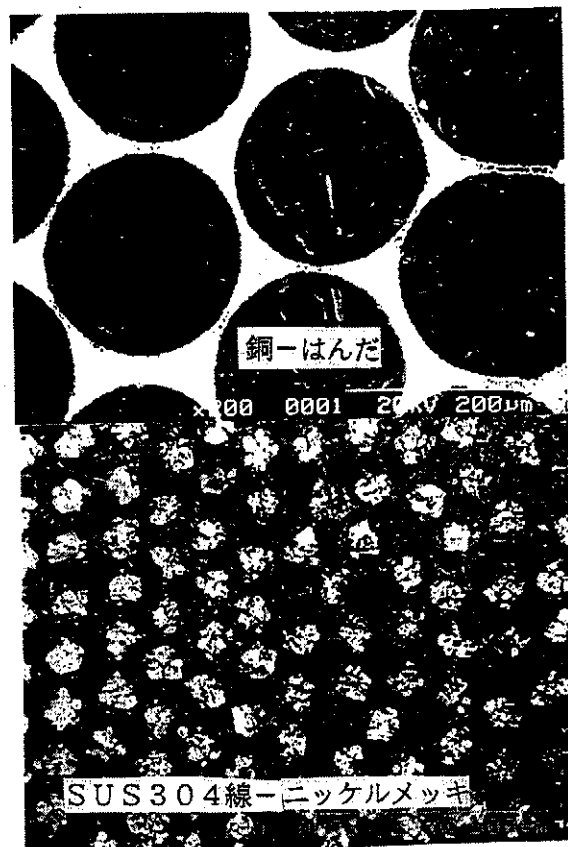


図9 銅線-はんだおよびSUS304線-ニッケルメッキによるモデル材料

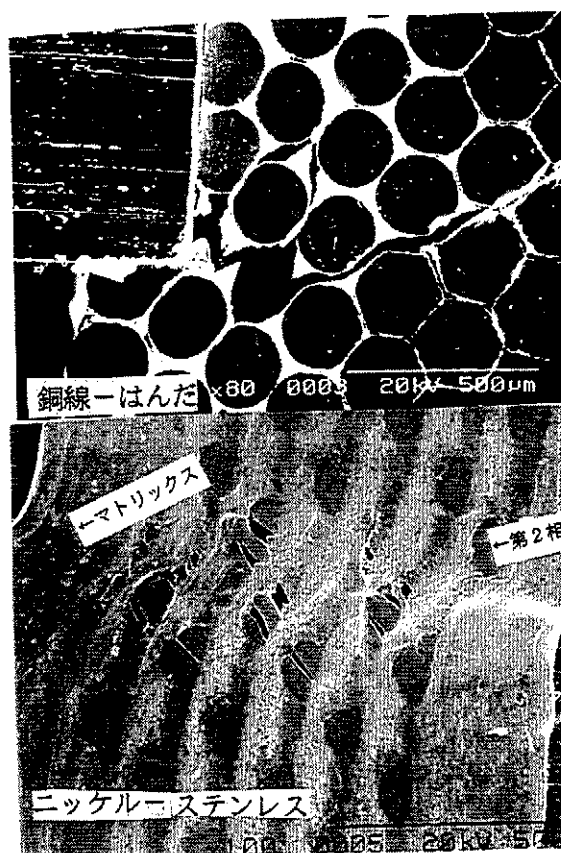


図10 銅-はんだおよびニッケル-ステンレスのポンチ近傍の変形

てニッケル相に微視割れが生じている。ニッケルメッキを施した後銅-ステンレス、ステンレス-ステンレスを拡散接合させた場合に、その接合界面は、バルクよりも強度が高く、破壊はバルクで生じることからこの場合も界面強度は高く、脆いニッケル相で破壊が生じたものと考えられる。また、第2相の拘束条件にも依存するものと考えられ、図11の第2相が鉄でマトリックスが銅の例にみられるように、硬い相の鉄が完全に孤立した状態で存在する場合には、マトリックスで破壊が進行している。

4. まとめ

塑性を持つマトリックスと塑性を持つ第2相からなるモデル材料を用いて、塑性加工における組織学的な要因の影響を検討することを試みた。

今後さらに組織学的要因の解明を進めていくにあたって非常に有効な知見を得た。

5. 謝 辞

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5年度研究助成によっておこなわれたものであり、今後の研究進展のための基盤を整備する事ができたことに対し財団に心より御礼申し上げます。

6. 発表論文

1. 鈴木、丹羽:Effect of aging on the Mechanical Properties of Beta Titanium Alloys of Ti-13V-11Cr-3Al,Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al and Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr,Titanium'95 Science & Technology,1294-1301,1996

2. 丹羽直毅: In-situ SEM Observations on the Fracture of a Beta Titanium Alloy:Les Alliages de Titane Beta,Societe Francaise de Metallurgie et de Materiaux,1994,165-172

上記の発表は、本研究助成により整備された装置を用いて行なったものである。