

塑性加工における工具ならびに板材表面の 微細表面形状加工技術の開発

理化学研究所 素形材工学研究室

前任研究員 池 浩

(平成4年度研究開発助成 AF-92020)

1. 研究の目的と背景

材料の表面はバルクの性質とはまた独立した性質を有するものであり、その開発と利用は材料開発の今日的テーマの一つである。特に摩擦・潤滑などのトライボロジ的性質に関しては表面の果す役割は決定的である。

表面の性質にもいろいろの側面があるが、ここでは3次元微細表面形状に注目する。工具の微細表面形状を制御することによる摩擦の局所的な変化を利用する技術、また板材に工具の微細表面形状を転写して各種の新しい、または優れた特性を有する材料を開発することが大いに期待される。塑性加工は基本的に高能率加工であり必要なレベルでの高精度の加工を実現する技術的可能性を有すると考えられる。本研究は金型やロールの表面に微細表面形状を創製しその有効利用による加工法の開発、ならびにその工具を用いた塑性加工による材料の開発・改質を目的とする。

マスクの有効厚さがかせげず、その結果浅いエッチングしか期待できない²⁾。そこで、金属メッシュマスクで厚さ40~100 μm の箔に所定の2次元パターンで穴をあけたもの(例えば材質あSUS304で厚さ40~50 μm 、穴径は100 μm 、穴のピッチあ130 μm 。(図2参照)これはフォトファブ리케이션によって作成される。)を表面に固定する方法でおこなった。

この方法では超硬合金に創製するのは微細くぼみであり、それを用いて塑性加工すれば被加工材表面には微細突起が生成する。しかしトライボロジ的な用途では板材表面の微細くぼみがより有効な表面凹凸であることが知られている。これを創製可能とするために、いったん2次的な工具に反転した微細表面突起を生成し、それによる最終塑性加工を行うという方法をとることにした。(図3参照)

2. 研究方法

塑性加工を利用して微細表面形状を材料表面に創製するには①微細表面形状を有する金型の作成方法、②それを塑性加工により高精度に材料表面に転写する技術が必要になる。①については著者は一つの方法として半導体工学等で用いられているイオンビームエッチングを応用することを試みた¹⁾(図1参照)。超硬合金を対象にしたが、通常の蒸着などにより金属薄膜マスクを表面に固定する方法では、

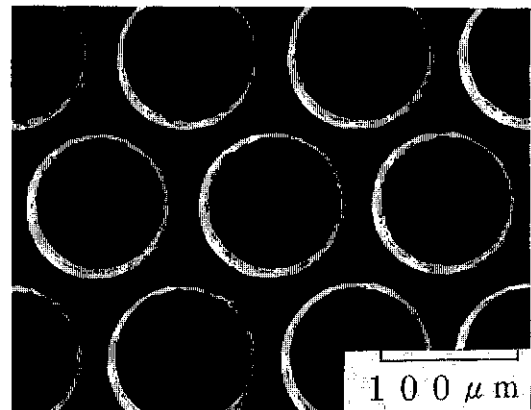


図2 金属メッシュマスクの例.走査型電子顕微鏡写真

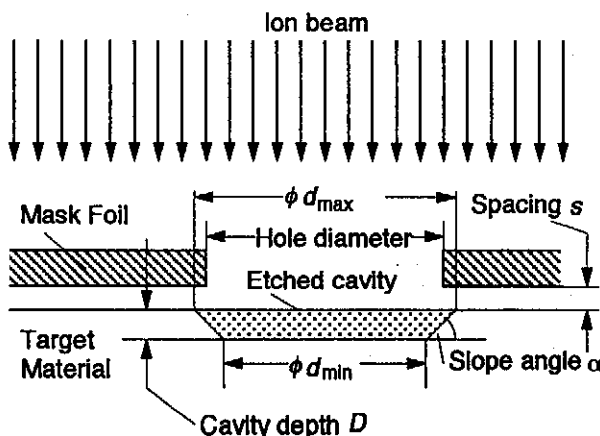


図1 イオンビームエッチングによる超硬合金金型の微細表面加工の原理

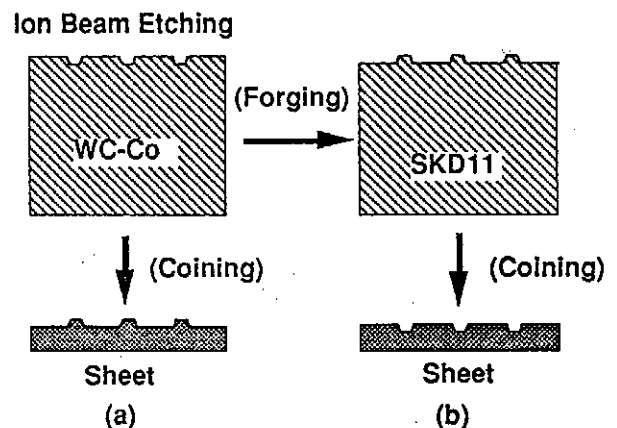


図3 微細表面形状の転写方法の説明

適用可能な塑性加工法は大きく分けて鍛造（圧印）と転造（あるいは圧延）が考えられる。本研究では両方試みてそれぞれの微細表面形状の加工における特徴あるいは問題点を検討することにした。

3. 実験結果／研究成果

3.1 圧印加工^{3),4)}

平面ブロック状の超硬合金（30mm×30mm×10mm）に対してECR小型イオンシャワー装置（エリオニクスEIS200R）によってイオンビームエッチングをほどこした。ビームの強度分布に起因する差はあるが良好な形状のくぼみが形成された。（図4参照）これを直接工具として使用して圧印加工によりφ10mm板厚0.8mmのアルミニウム板あるいは銅板に微細表面突起（図5参照）を形成した。1軸圧縮降伏応力の2倍以上のみかけ接触面圧（荷重負荷面積当たりで考えると4倍程度以上）の接触面圧を作用させることにより直径200μm、高さ55μmという工具のくぼみの形状をほぼ反転した形状が得られた。ただし、頂点付近に材料は完全には充満はしていない。これは工具の微細くぼみの底の中央に材料が接触を開始するといわば盛り上がりを抑止する作用を生じるためと考えられる。圧印加工においては微細形状の転写とバルクの塑性変形が競合する状態にあり、後者を抑制して前者を進行させる必要がある。微細

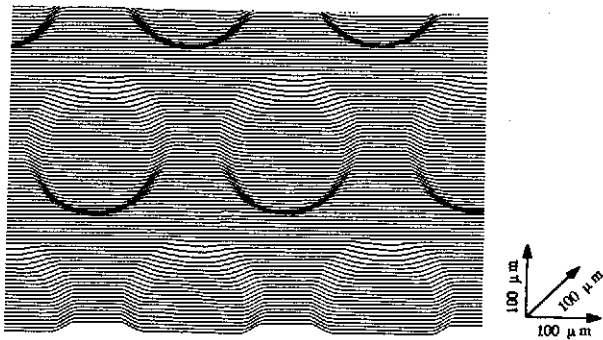


図4 超硬合金工具面に形成した微細表面くぼみの3次元表面粗さ曲線

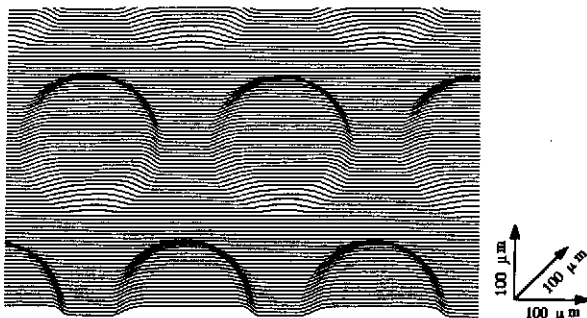


図5 アルミニウム板材に形成した微細表面突起の3次元表面粗さ曲線（図4の工具を使用）

表面形状や摩擦状態に依存する問題であるが充満が生じる前にバルクの塑性変形が生じることを有効に抑制する方法を確立することは今後の課題である。

次に2次的工具を介して微細表面くぼみを形成した。まず2次的工具を作成する方法としては文献⁵⁾を参考に円錐角を与えた試験片への転写を試みた。（図6参照）これは平面同士の接触では中央部分の転写が不十分になる傾向を考慮したものである。円錐角を与えると中央から周辺に向かって同心円状に、接触面圧が高く塑性流動が活発な部分が広がっていく連続的加工となる。なお図6に示したように2次工具の側面は、工具接触部での接触面圧を高めて塑性変形を促進するために、拘束する必要がある。結果的に円錐頂角120°～140°で良好な転写が得られた。

次にこの2次工具を用いた圧印により板材に微細表面くぼみを創製した。この場合も板材周辺での微細表面加工が先行した。ここでも過剰な接触面圧を作用させると周辺部で試験片の横方向の膨らみによる材料流動が生じて、中央部の形成とバルクの塑性変形の抑止とのバランスをとることが必要なことが示されている。

しかし圧印加工では全体としてはバルクの塑性変形を適当な方法で拘束することによりほぼ良好な転写形状を取得することができると言える。

3.2 圧延加工⁶⁾

圧延は広い面積に対して高能率で加工する特徴がある。したがって板状の素材の加工においては第1の重要性を有する。微細表面形状を加工するためには、まず圧延ロールに微細表面形状をどのようにして与えるかが課題となる。すでにレーザービーム加工によりリング状あるいは三日月状のくぼみを板材に与える技術が実用化している⁷⁾が本研究ではより高度に制御された3次元形状を形成することを目的とする。

まずロールに直接イオンビームエッチングを試みた。マスク用の金属メッシュをロール表面に巻き付けて固定し、イオンビームエッチング装置の試料室でビームに対して垂

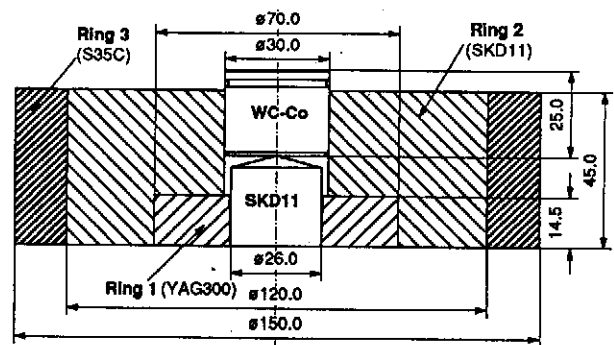


図6 2次的圧印工具への微細表面形状の転写装置

直にロール軸を配置して、低速でロール軸まわりに回転しながらイオンビームエッチングをおこない、くぼみを得た。マスクの継ぎ目付近での不整、部分的に浮き上がった部分でのエッチングの回り込み、エッチング速度の遅さなどの問題が残ったが、数ミクロンの深さのくぼみが形成できた(図7参照)。これを用いて平板引抜き装置を改造した従動圧延加工をおこないアルミニウム板材上に微細表面突起を形成した。この場合の問題は圧延は基本的に平面ひずみ変

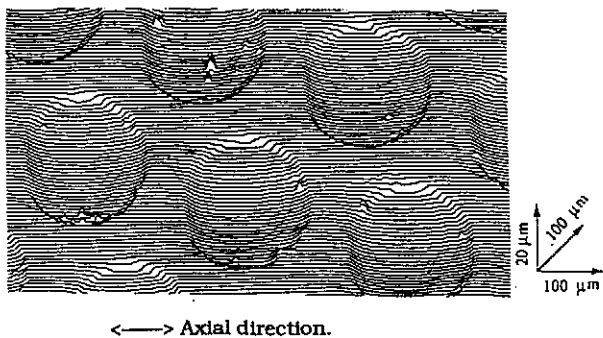


図7 超硬合金ロールにイオンビームエッチングで形成した微細表面くぼみ

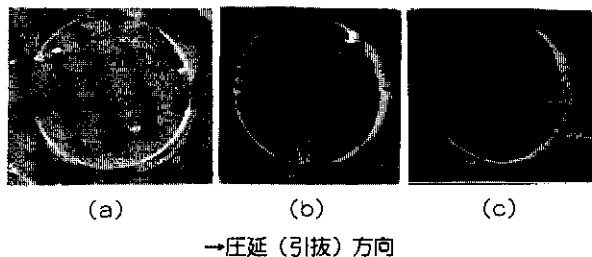


図8 図7のロールで形成した板材上の微細表面突起の走査型電子顕微鏡写真
板厚減少率: (a) 3.5%, (b) 6.3%, (c) 11.1%

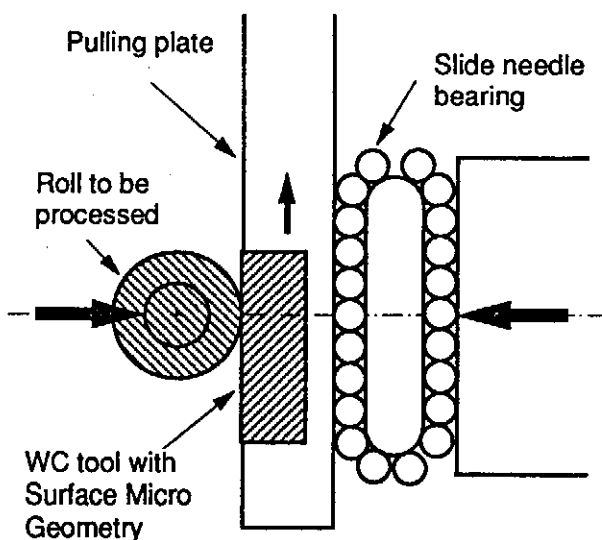


図9 回転圧印による微細表面形状のロールへの転写方法

形であり、バルクとしては板厚ひずみに対応した圧延方向伸びを生じるが、微細表面を有するロールでは突起のスパイク効果により圧延方向の伸びが板表面で抑制されること、したがってバルクと表面の変形の矛盾が生じてくることである。具体的には2~3%以上では板材に形成される微細の圧延方向へのつぶれが観察された。(図8参照)

次に板材にくぼみを創製させるため、いったん超硬合金平面ブロック上に形成した微細くぼみを回転圧印のような方法でロールに突起を転写した。(図9参照) これにより継ぎ目での微細表面形状の重複の問題はあるが、径100 μm、突起高さ22 μmの微細表面形状をロールに形成できた。このロールを用いて従動圧延を行った結果、板厚減少2~3%程度までは良好な形状のくぼみを板材表面に形成できた。しかし圧下率を高めるに従い、くぼみからロールとの接触が終了する時点でくぼみ側壁を掘り起こすような変形が生じ、くぼみの圧延方向後方に盛り上がりが生じること、また突起形成と同様バルクの塑性変形と表面変形の矛盾による不整形変形が生じることが観察された。(図10参照)

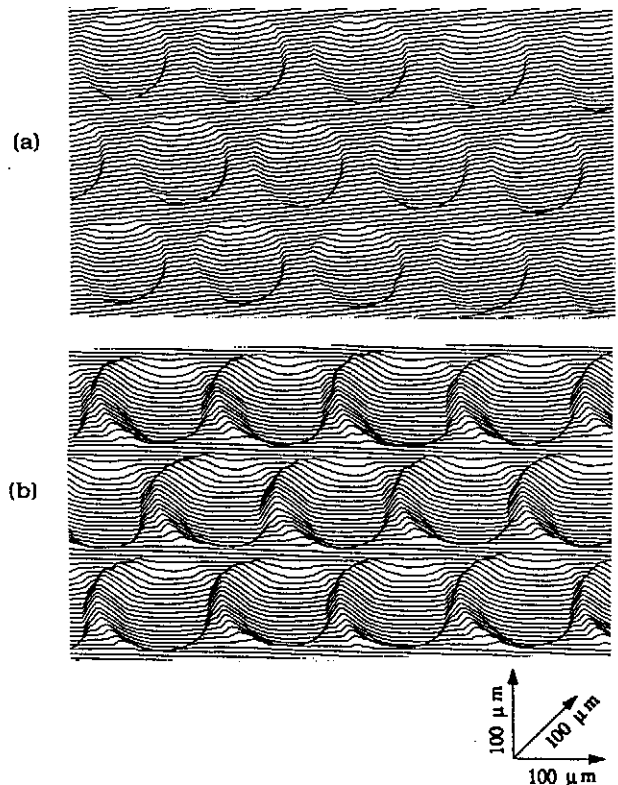


図10 板材に形成した微細表面くぼみの3次元表面粗さ曲線
板厚減少率: (a) 2.2%, (b) 7.4%

4. 結 び

圧印および圧延により金型あるいはロール上に形成した微細表面形状を被加工材に転写する加工をこころみた。イオンビームエッチングで超硬合金工具上に形成した形状は円形のくぼみなので、これをいったん2次的な工具に転写する方法も導入して、板材に微細表面突起およびくぼみの両方を創製することができた。そのパターン寸法の例えばピッチ130 μm 、くぼみあるいは突起の径100 μm 、高さあるいは深さは数 μm ~22 μm である。なお圧延においても形状を3次元的に制御する能力は従来実用化しているレーザービームによるものより、形状・寸法の自由度は高いと言える。

一般に微細表面形状を塑性加工によって金型(工具面)から被加工材に転写する場合、バルクの塑性変形を抑制しながら必要な精度や均一性で微細表面形状を形成する必要がある。というのはバルクの塑性変形は往々にして工具表面での被加工材の巨視的すべりを誘発するためである。(微細表面形状の形成が局部的で、バルクの塑性変形がそこに及ばない場合は問題はない。)微細表面形状そのものが機械的かみ合い効果により板材の塑性変形を表面から抑制するのであるが、加工度が大きくなるとその限度を越して、表面でも巨視的すべりを生じる。これは微細表面形状の加工に関しては不良となる。

バルクの塑性変形を抑制する意味では、圧印加工の方が材料面を一度広く拘束しながら加工する。したがって微細表面形状によるバルク変形拘束が大きい加工であり、微細表面形状の転写性はよい。一方圧延は基本的に線接触の加工であるから接触弧の前後あるいは境界付近で拘束されない被加工材の変形が生じ、微細表面形状の不整形変形が生じやすい。圧延による微細表面形状の転写技術は今後の大きな技術的課題であると考えられる。

謝 辞

本研究を実施するにあたり財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究助成を得たことに深謝致します。なおイオンビームエッチングは(株)エリオニクスのご協力によって実施したこと、研究の初期段階には文部省科研費一般(c)の助成を得、また同和鋳業(株)の助成を受けたことを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) Ike, H. : Advanced Technology of Plasticity 1993, 55, (1993), International Academic Publishers.
- 2) 宮本岩男 : 塑性と加工, 36 - 411 (1995), 307.
- 3) 池 浩 : 塑性と加工、同上、369.
- 4) Ike, H. : Proc. First Conference on Processing Materials for Properties, Edited by Henein, H. and Oki, T., 975, (1993), TMS.
- 5) 山 義則・森 謙一郎・福田正成 : 38回塑加連講論(1987), 567.
- 6) 池 浩 : 塑性と加工, 36 - 411 (1995), 377.
- 7) 古川九州男・角山浩三・今中 誠・岸田 朗・山田恭裕 : 川崎製鉄技報, 20 (1988), 203.