

# 第8回塑性加工国際会議 (Metal Forming 2000)

豊橋技術科学大学 生産システム工学系

助手 原田 泰典

(平成11年度国際会議等参加助成 AF-99031)

キーワード：ショットピーニング，部分ライニング

開催日時：2000年9月3日(日)～7日(木)

開催地：ポーランド、クラコフ市

## 国際会議報告

本会議は、塑性加工に関する国際会議であり、今回で第8回目である。第1回(1974年)、第2回(1982年)、第3回(1987年)、第4回(1992年)は、AGH大学(Academia Gorniczko-Hutnicza, 冶金鉱山大学, クラコフ市)で開催されたが、第5回(1994年)会議よりバーミンガム大学(イギリス, バーミンガム市)とAGHの2大学で2年毎に交互に開催されている。申請者は第7回(1998年)に続いて2回目の参加である。本会議の主な目的は、塑性加工における理論的および実験的手法による研究成果の公表であるとともに、異なる手法をもつ多くの研究者が活発に意見交換を行えることである。

今回、会議の参加者は23ヶ国、143名であり、日本からの参加者は15名であった。開催国であるポーランドの43名に次いで2番目に多かった。5名以上参加した国はイギリス13名、ドイツ11名、チェコ7名、ブラジル7名、ロシア7名、オーストラリア6名、フランス5名である。開催初日の3日(日)は、午後から会議参加登録手続きが開始され、アウシュビッツ強制収容所などへのツアー行事が行われた。夕方、大学内のカフェテリアで歓迎パーティーが行われた。本会議は4日(月)～6日(水)の3日間、大学内の2会場で開催され、塑性加工に関する最新の研究発表が行われ、活発な意見交換が行われた。5日(火)は会議終了後、クラコフ市郊外の古城にあるレストラン(The Royal Castle in Niepolomice)において、夜遅くまでバンケットが行われ、研究者間で親睦が深められた。6日(水)は会議終了後、クラコフ市内の市役所でレセプションが行われ、クラコフ市長の歓迎の挨拶が行われた。最終日の7日(木)は、大学内研究施設の見学会が行われ、約35名の研究者が参加した。

申請者は本会議初日の4日(月)午後、特殊加工のセッションで、「ショットピーニングに

よる材料への金属薄板の部分ライニング加工」のテーマで研究発表を行った。試験条件、ライニング状態および適用製品などについて、5件ほどの質問があった。

発表した研究の内容を以下に示す。

## 発表研究テーマ

ショットピーニングによる材料への金属薄板の部分ライニング加工

### 1. 研究目的

最近、機械部品における多種多様な用途の拡がりに伴い、材料表面の全面ではなく限られた部分にライニング加工することが要求されるようになってきている。圧延や押し出し加工などによって金属が接合されてクラッド材が製造されている[1]が、材料全体を塑性変形するため、変形抵抗の大きく異なる材料どうしの接合は容易ではなく、とくに限られた部分だけを塑性変形させて圧接するのは非常に困難である。また、熱間加工においては接合部に脆い金属間化合物を生成するケースが多い[2]。爆発圧接で部分接合する試みも行われている[3]が、装置が大規模になり製造費も高くなる。一方、厚い硬化層を部分的にライニングする方法として溶射がある。金属粉末だけでなくセラミックス粉末材料の溶射に対して優れた皮膜特性が得られる高速ガスフレーム溶射法[4]が開発されているが、低い接合性および溶射材歩留まりなどが問題である。

申請者ら[5, 6]は、金属材料の表面に適切な層を付けるために、ショットピーニングを用いた金属薄板ライニング加工法を提案している。この方法では、薄板を載せた母材をショットピーニング加工することによって、接触面で新生面を発生させてライニング加工を行っている。これまでに炭素鋼や純銅にアルミニウム薄板を、また接合が非常に困難とされるアルミニウム合金にニッケルやチタンなどの硬質金属薄板をそれぞれ接合させた。ショットピーニングを行う領域を限れば、部分ライニング加工に応用できるものと考えられる。

本研究では、ショットピーニングを用いたライニング加工において、母材表面に金属薄板を部分的に接合するため、マスキングによる部分ライニング加工を試みる。また、より簡便なライニング加工を行うため、熱風による接合部近傍への加熱も試みる。おもに部分ライニングにおけるマスキングの形状精度や寸法精度について調べる。

## 2. 実験方法

ショットピーニング加工ではショットは限られた領域に衝突させるため、一種の部分加工であり、部分ライニング加工に応用できる。しかしながら、ショットピーニング加工はショットを所定の境界に沿って精度よく衝突させることは困難である。そこで、Fig. 1に示すようなマスキング板を用いて、衝突させる領域を限定して部分ライニング加工を行う。金属薄板を載せた金属母材表面に、接合したい形状に加工したマスキング板を置いてショットピーニング加工を行い、部分ライニング加工を達成する。金属薄板およびインサート材はマスキング板自体の自重によって固定されており、従来のリベットやネジによる固定よりも取扱いがはるかに簡単である。なお、インサート材は接合性を向上させるものであり、異種材との親和性が高い純アルミニウム箔を用いる。マスキングにおいて金属薄板およびインサート材の押え代は約5mmであり、押え代の未加工部はライニング加工後に除去する。

ショットピーニング加工は遠心吹付き式ショットピーニング装置（新東工業㈱社製、SZA1型）を用いて行った（Fig. 2）。母材および金属薄板は、接合性を高めるために熱容量の大きな台座とともに加熱し、所定の加工温度に保持後ただちにショットピーニング加工を行った。ショットは高炭素鋳鋼（HV700）であり、マスキング板は熱処理した工具鋼板SKD11である。加工条件をTable 1に示す。

母材は市販のアルミニウム合金A2017, A5052, A6061, A7075および市販のマグネシウム合金AZ31B, AZ91Dであり、金属薄板は市販の純ニッケル、純チタンおよびステンレス鋼SUS304である。ショットピーニング加工を行う前に、母材の接合面はエメリー紙による研磨とアセトンによる脱脂を行い、接合する表面粗さを約 $Ra=3.3\mu m$ に一定にした。実験で用いた材料および厚さをTable 1に併せて示す。

## 3. 実験結果

### 3. 1. 限界加熱温度

部分ライニング加工を行うためには、金属薄板が金属母材に完全に接合する加工温度を調べる必要があり、ライニング加工が可能な限界加熱温度を調べた。

アルミニウム合金A2017母材と純ニッケル、純チタンおよびステンレス鋼薄板において、限界加熱温度と板厚の関係をFig. 3に示す。限界加熱温度は接合できる限界の温度であり、耐酸化性の高い純ニッケル薄板が他の薄板に比べて低く、接合しやすい。全ての金属薄板において、板厚が大きくなると限界加熱温度は上昇する。

Table 1 Working conditions used for shot peening experiment

Equipment	Centrifugal type
Shot material	High carbon cast steel
Shot diameter $d / \text{mm}$	0.5, 1.0, 2.0
Impact speed $v / \text{m/s}$	40, 80
Coverage %	100
Heating temp. $T / ^\circ\text{C}$	20 ~ 400
Base metal ( $t=10 \text{ mm}$ )	A2017, A5052, A6061, A7075, AZ31, AZ91
Sheet metal ( $t=0.01 - 0.1 \text{ mm}$ )	Nickel, Titanium, Stainless steel 304
Insert metal ( $t=0.015 \text{ mm}$ )	A1050
Surface finishing (Emery paper)	#120( $Ra=3.3 \mu\text{m}$ )
Atmosphere	Air

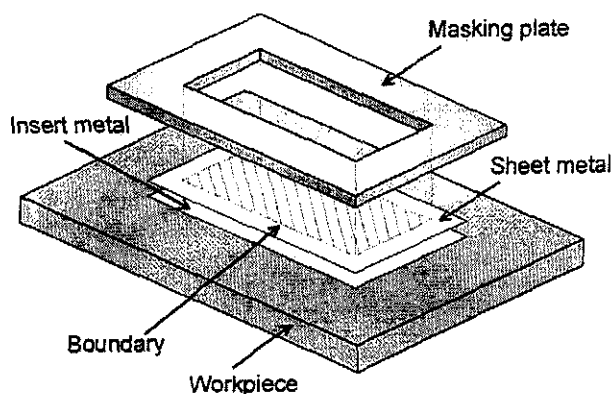


Fig. 1 Schematic illustration of partial shot-peening of workpiece with thin foil using masking plate

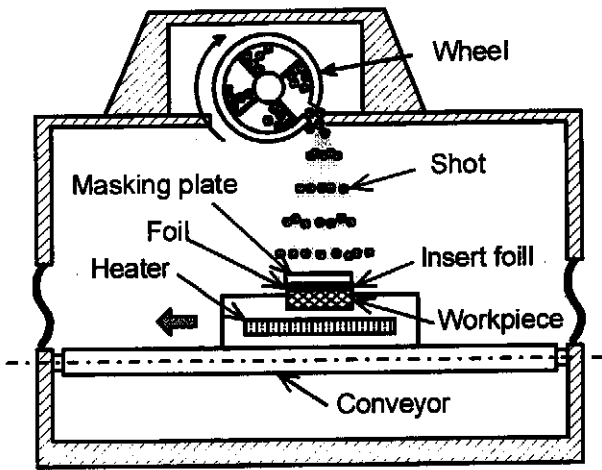


Fig. 2 Schematic illustration of centrifugal type shot peening machine

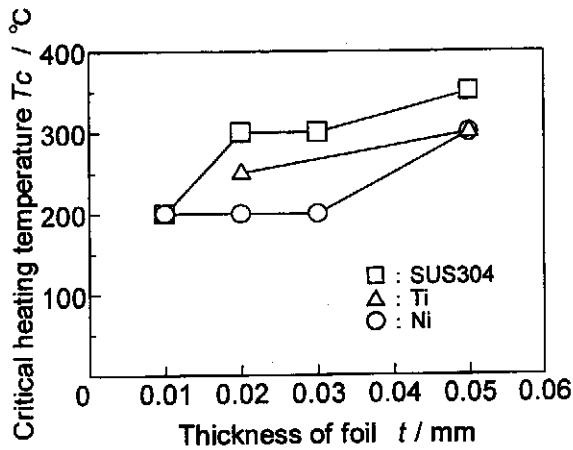


Fig. 3 Relationship between thickness of foil and critical heating temperature ( $d=1.0\text{mm}$ ,  $v=80\text{m/s}$ , A2017 base)

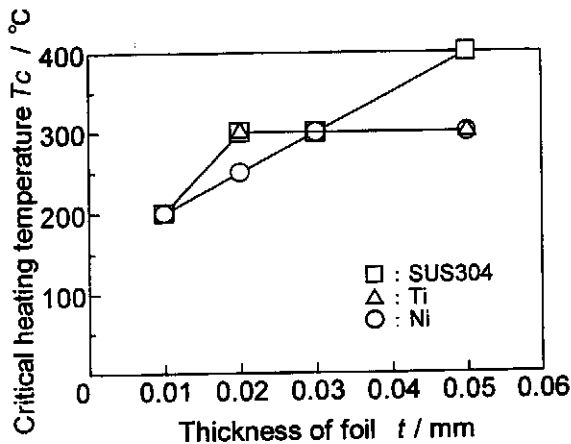


Fig. 4 Relationship between thickness of foil and critical heating temperature ( $d=1.0\text{mm}$ ,  $v=80\text{m/s}$ , A5052 base)

母材材質をA2017からA5052に変化させて接合性を調べた。アルミニウム合金A5052母材と純ニッケル、純チタンおよびステンレス鋼薄板において、限界加熱温度と板厚の関係をFig. 4に示す。Fig. 3の結果に比べて限界加熱温度が高くなっている。これはA5052合金が接合性の低いマグネシウムを多く含んでいるため、接合性を低下させたものと考えられる。また、母材をA6061およびA7075とし、接合を試みたが、A2017およびA5052における接合同様な結果が得られ、所定の限界加熱温度以上でライニング加工が可能であった。本研究では、部分ライニング加工を限界加熱温度以上で行った。

### 3. 2. 表面性状

長方形の形状をもつマスキング板を用い、 $T=200^\circ\text{C}$ でアルミニウム合金A2017母材に $t=0.02\text{mm}$ の純ニッケル薄板を部分ライニング加工を行った。未加工部分の薄板を引張りによって除去した試験片の表面をFig. 5に示す。薄板を除去したライニング加工部の形状は、ほぼマスキング形状と同じである。同様に、純チタン薄板やステンレス薄板においても、ほぼマスキング形状と同じライニング加工が可能であった。

母材材質をアルミニウム合金からマグネシウム合金AZ31およびAZ91に変化させて接合性を調べた (Fig. 6)。

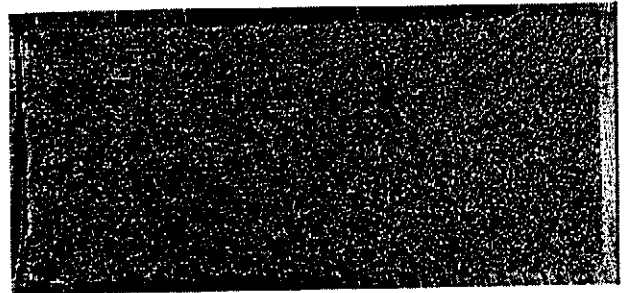


Fig. 5 Surface of partially bonded workpiece using masking plate (A2017 base, nickel foil,  $d=1.0\text{mm}$ ,  $v=80\text{m/s}$ )

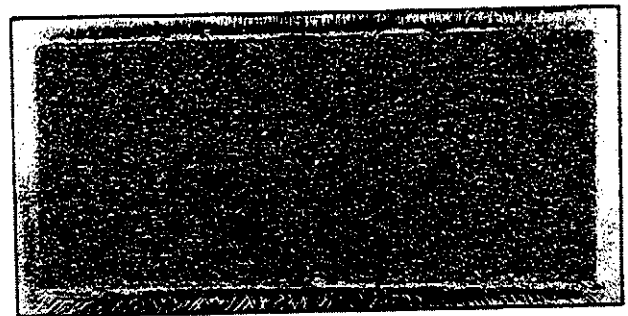
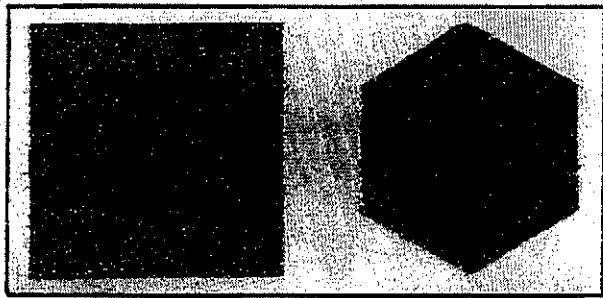
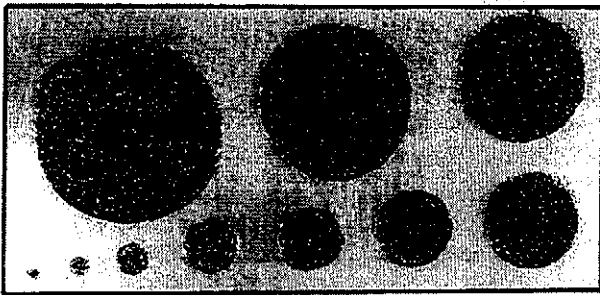


Fig. 6 Surface of partially bonded workpiece using masking plate (AZ91 base, nickel foil,  $d=1.0\text{mm}$ ,  $v=80\text{m/s}$ )

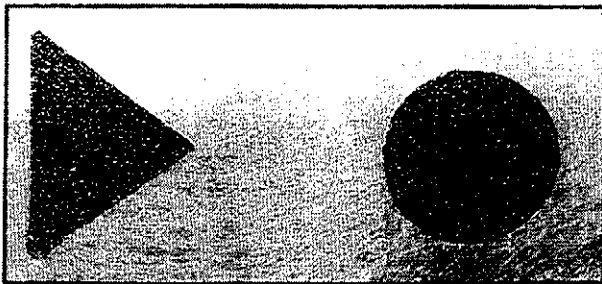
マグネシウム合金は異種材との接合性が非常に低い材料である [7] が、インサート材の使用と加熱により、ライニング加工が可能であった。マスクングにおける加工部境界では、ショットの衝突が不安定であるため、寸法精度が影響を受ける。そこで、マスクングに対する加工部の寸法精度の影響を調べるため、ショット径を変えてライニング加工を行った。アルミニウム合金A2017母材と $t=0.02\text{mm}$ の純ニッケル薄板において、 $T=300^\circ\text{C}$ で部分ライニング加工を行ったときの寸法誤差に対するショット径の関係をFig. 8 に示す。寸法誤差であるマスクング形状の幅とライニング加工部の幅は、ショット径とともに大きくなっており、ショット径の約6割程度加工部長さが小さくなる。



(a) Polygon (A5052 base, titanium foil)



(b) Circle (A6061 base, nickel foil)



(c) Triangle (A7075 base, SUS304 foil)

Fig. 7 Surface of partial bonded workpiece using masking plate( $d=1.0\text{mm}$ ,  $v=80\text{m/s}$ )

マスクングによる加工部境界の精度を調べるため、 $T=250^\circ\text{C}$ でアルミニウム合金A2017母材と $t=0.02\text{mm}$ のチタン薄板のライニング加工において、マスクング境界のSEM写真をFig. 9 に示す。

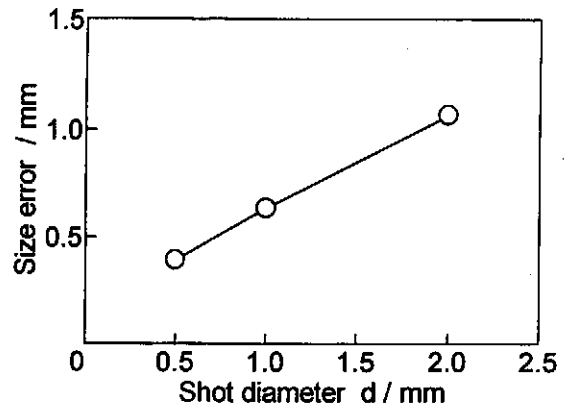


Fig. 8 Variation of size error with shot diameter for A2017 workpiece and nickel foil( $v=80\text{m/s}$ )

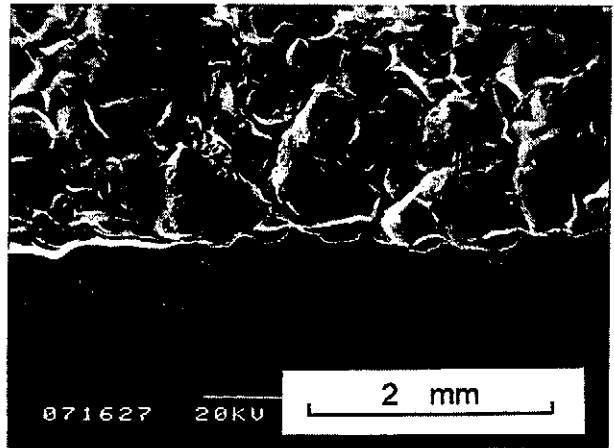


Fig. 9 SEM photograph of surface of bonded workpiece at boundary (A2017 base, titanium foil,  $d=1.0\text{mm}$ ,  $v=80\text{m/s}$ )

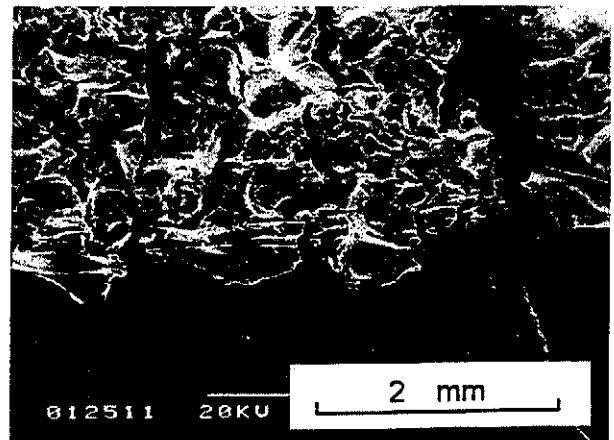


Fig. 10 SEM photograph of surface of bonded workpiece at boundary after bending (A2017 base, SUS304 foil,  $d=1.0\text{mm}$ ,  $v=80\text{m/s}$ )

未加工部の金属薄板を引張りによって引き剥がしたため、加工部境界は微視的には波打っているが、その振幅は小さく、境界の精度は高い。

### 3. 4. 接合強度

マスキング境界における金属薄板の接合性を調べるため、 $T=300^{\circ}\text{C}$ でアルミニウム合金A2017母材と $t=0.02\text{mm}$ のステンレス鋼薄板のライニング加工において、ライニング加工した表面を外側にして3点曲げ試験を行った。

母材が加工限界に達したときの加工部境界付近のSEM写真をFig. 10に示す。母材と薄板は曲げによる引張りによって割れを生じたが、薄板は母材から剥がれることはなく、マスキング境界における接合性は非常に良好であった。

## 4. 熱風による加熱方法の簡便化

### 4. 1. 熱風を用いた方法

接合を達成するために加熱が必要であるが、母材全体を加熱すると、加工時間が長くなり、加熱装置も大きくなる。また、長時間の加熱は接合面の酸化を伴い逆に接合性を低下させる。そこで、Fig. 11に示すように、熱風発生装置を試作して、母材と金属薄板の接合部近傍への熱風による部分的な加熱を試みた。局所的な投射が可能な空気圧縮式ショットピーニング装置（新東工業株式会社製、MB-24型）を用いた。金属薄板を載せた母材を熱風で加熱した状態で、圧縮空気によってショットを衝突させて部分ライニング加工を行った。熱風発生装置のノズル先端付近における熱風最高温度は約 $700^{\circ}\text{C}$ であり、試験片表面における到達最高温度は約 $400^{\circ}\text{C}$ である。ショット径は $d=1.0\text{mm}$ 、空気圧は $0.9\text{MPa}$ （投射速度約 $40\text{m/s}$ 相当）である。

### 4. 2. ライニング加工結果

加熱方法の簡便化のため、試作した熱風発生装置を用いて接合部への部分的な加熱を行った。アルミニウム合金A2017母材と $t=0.01\text{mm}$ のニッケル薄板において、熱風によって部分ライニング加工した試験片の表面をFig. 12に示す。ショット径は $d=1.0\text{mm}$ であり、投射速度は約 $40\text{m/s}$ である。マスキング形状通りにライニング加工が可能であり、形状精度も高いことが分かる。母材全体への加熱に比べて、加熱装置ははるかに簡便であり、加熱時間も短く、熱風による接合部近傍への加熱は有効である。

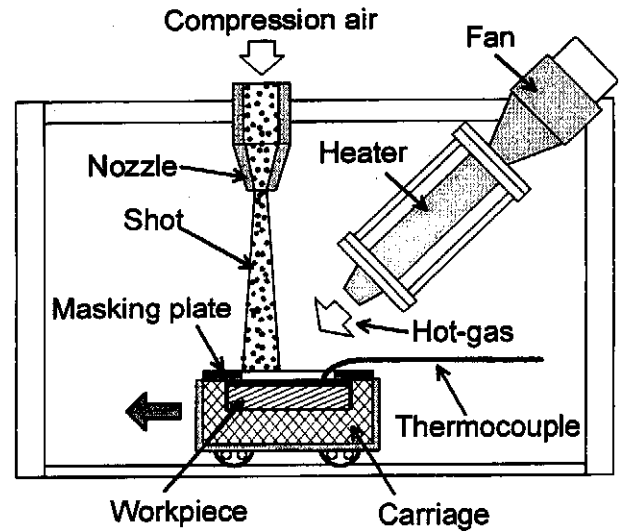
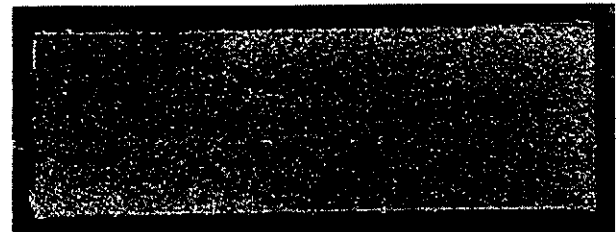
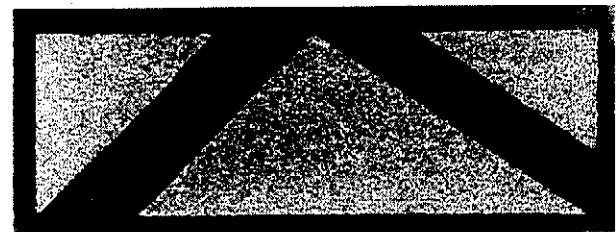


Fig. 11 Schematic illustration of air peening machine using hot-gas generation device



(a) Rectangle



(b) Triangle

Fig. 12 Surface of partial bonded workpiece using masking plate(A2017 base, nickel foil)

## 6. 結論

ショットピーニングを用いて材料表面に金属薄板を部分的にライニングするため、マスキング板を用いた部分ライニング加工を開発した。

任意の形状のマスキング板を用いることによって、直線や曲線を持つ複雑な形状の部分ライニング加工が可能になった。また、熱風による接合部近傍への局所加熱は、加熱装置を簡略化し、加工時間も短縮された。本方法はライニングしたい形状に対し、形状精度および寸法精度の高いライニング加工が可能であることから、

部分ライニング加工法として有効であることがわかった。

#### 謝 辞

最後に本研究成果を発表するにあたり、(財)天田金属加工機械技術振興財団より国際会議参加助成を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

また、ショットピーニング装置の使用などご尽力を頂いた新東工業(株)ならびに新東ブレーター(株)の関係者各位に対して深く感謝の意を表します。

#### 文 献

- [1] 牧広, 島村昭治: 複合材料技術集成, (1995), 521-527, 産業技術センター.
- [2] 日本塑性加工学会編: 接合, (1990), 33, コロナ社.
- [3] 日本機械学会編: 接合加工技術とその応用, (1993), 47, 日刊工業新聞社.
- [4] 佐々木光正: 溶射技術, 16-2(1996), 23-30.
- [5] 原田泰典, 森謙一郎, 牧清二郎: 塑性と加工, 40-464(1999), 895-899.
- [6] 原田泰典, 森謙一郎, 牧清二郎: 塑性と加工, 40-466(1999), 1106-1110.
- [7] 西川幸男: 日本金属学会シンポジウム予稿, (1999), 17-20.