

5052/2017アルミニウム合金摩擦肉盛に関する研究

時 末 光(機械工学科)

1. 緒 言

摩擦肉盛は、回転する肉盛金属と基材との界面で発生する摩擦熱を有効に利用して肉盛層を得る方法である。したがって、素材を熔融せず、希釈の少ない高速成膜が可能であり、肉盛層の組織は微細化し、基材への熱影響を最小限にできるという優れた特徴がある¹⁾。また、基材の表面に高強度材料を肉盛して表面を高機能化できる表面改質の一手法としても期待されている。この摩擦肉盛法を応用した表面改質技術開発のための基礎研究として、5052アルミニウム合金板に同種材丸棒を肉盛した肉盛材の外観、組織および機械的性質については前報で報告した²⁾。その結果、適切な肉盛条件によれば安定した肉盛層が容易に得られること、肉盛材の肉盛層境界部から約3mmの範囲に軟化域が認められること、実用上支障のない強度の肉盛材の製作が容易に可能なこと、などを明らかにした。

2001年度の研究では、基材に同系異種材を肉盛したアルミニウム合金肉盛材の組織と機械的性質に及ぼす肉盛条件の影響、および肉盛材に圧延加工を応用した積層板作製の可能性を検討した。

2. 供試材および実験方法

基材には、5052アルミニウム合金板(板厚:5mm)を幅50mm、長さ150mmに機械加工したものをを用いた。肉盛金属には、基材より高強度の2017アルミニウム合金丸棒(直径20mm)を長さ150mmに機械加工して用いた。供試材の化学組成および機械的性質を表1および表2に示す。

摩擦肉盛は、数値制御全自動摩擦圧接機を使用して肉盛金属を回転側に、基材を固定側に設備した横送りテーブルに固定し、ワーク同士の接触後、肉盛開始位置での5秒間予熱後、テーブルに送りを与えて肉盛を行った。肉盛工程は長さ制御とし、肉盛金属が30mm消耗するまでテーブルを移動して表3に示す条件を組合せて行った。

作製した肉盛材の外観および横断面の組織観察、硬さ試験および引張試験を室温で行った。引張試験は図1の寸法形状のJIS 14B試験片を肉盛層に平行に採取し、基材部の厚さを2.8mm、肉盛層の厚さを0.7mmに機械加工して実験に供した。また、積層板作製のための圧延には、肉盛材の肉盛開始部と終了部を切除し、肉盛層の厚さを0.7mmに切削加工して供した。

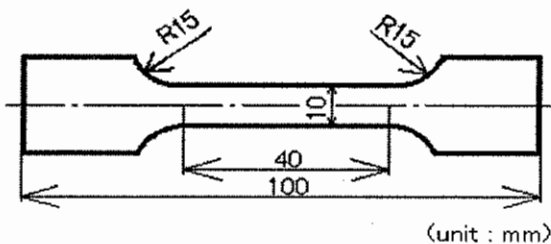


図1 引張試験片形状と寸法

表1 供試材の化学組成(質量%)

Materials	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
5052 plate	0.09	0.26	0.04	0.04	2.55	0.20	0.01	bal.
2017 rod	0.44	0.25	3.80	0.68	0.56	0.03	0.03	bal.

表2 供試材の機械的性質

Materials	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness HV0.1
5052 plate	256	12.6	79.7
2017 rod	414	26.3	125.5

表3 摩擦肉盛条件

Rotational speed	$N (s^{-1})$	13.3 ~ 23.3
Friction pressure	$P (MPa)$	25 ~ 40
Traverse speed	$f (mm \cdot s^{-1})$	9

3. 実験結果および考察

肉盛層外観の一例を図2に示す。肉盛後の外観は、肉盛金属に5052合金を用いた場合と類似の様相であり、肉盛層の表面には肉盛材の回転による円弧状の模様が観察された。この円弧状の模様は主軸回転数の上昇に伴い微細となり、肉盛層の幅が狭くなる傾向が認められた。低主軸回転数の条件では、送り方向に対して右側(写真上部)への肉盛層の偏りが大きくなった。この偏りは摩擦圧力および送り速度の増加に伴い大きくなる傾向を示したが、5052合金肉盛材の場合に比べてその割合は小さかった。また、主軸回転数 25.0s^{-1} 以上の高回転数の条件では、肉盛層は幅方向に不整箇所が生じ、良好な肉盛層は得られなかった。肉盛層の厚さは、摩擦圧力の大小に関係なく送りの増大および肉盛金属の高速化に伴い薄くなる傾向を示した。

図3に肉盛材横断面の巨視的および微視的組織を示す。同種材を組合せた5052合金では、基材と肉盛金属の組成が同一のために巨視的には境界部は明瞭に識別できなかった²⁾。しかし、肉盛金属に同系異種材の2017合金を使用した場合は、基材との組成の相違から接合界面は明瞭に識別できた。肉盛金属に5052合金を使用した場合と同様に、肉盛条件によっては肉盛層端部に十分接合されない部分も観察された。微視的組織の形態にも肉盛金属の相違による差異は認められず、肉盛層の内部は基材部に比較して微細な層状組織を呈した。

肉盛材横断面の硬さ分布の一例を図4に示す。図には比較のために5052合金肉盛材の測定結果も併記した。基材の5052合金は、非熱処理合金のために肉盛による加熱冷却の過程を経ても肉盛後の硬さ変化は示さなかった。しかし、2017合金は熱処理合金であり、肉盛後の時間経過に伴い硬さは変化した。このため、図には硬さ変化が認められなくなった14日後の測定結果を示した。肉盛材の硬さは、肉盛層の表面部で硬化し、最外周部では母材と同程度の硬さを示した。肉盛層内部の境界面近傍には約0.5mmの幅の軟化域が認められた。また、境界面近傍の基材部側には、肉盛金属に5052合金を用いた場合と同様の軟化域が観察されるが、最軟化部の硬さは5052合金を用いた場合と同程度であった。軟化域の幅は5052合金の場合に比較して若干狭くなる傾向を示した。肉盛金属内部に観察される軟化域は2017合金摩擦圧接継手³⁾に比較して、その幅は狭く、最軟化部の硬さは低く、回復の割合も小さかった。このことは、摩擦肉盛における最高到達温度が摩擦圧接に比較して低温度のためと考える。

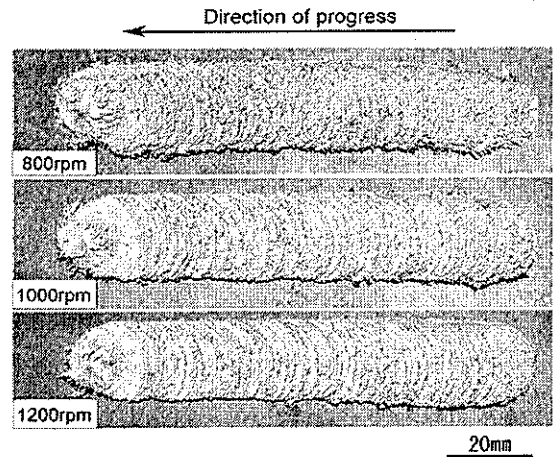


図2 肉盛層の外観
P=30MPa, f=9.0mm·s⁻¹

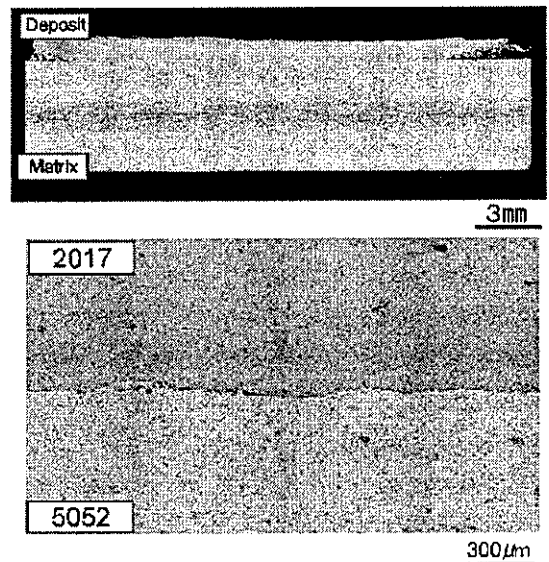


図3 肉盛材の巨視的、微視的組織
N=20.0s⁻¹, P=30MPa, f=9.0mm·s⁻¹

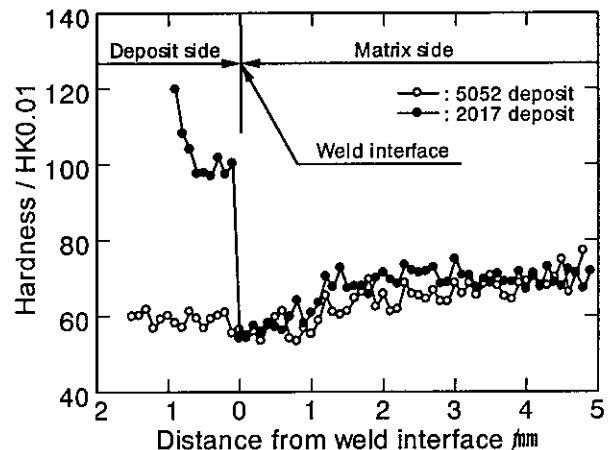


図4 肉盛材の横断面の硬さ分布
P=30MPa, f=9.0mm·s⁻¹
5052合金:N=41.7s⁻¹
2017合金:N=20.0s⁻¹

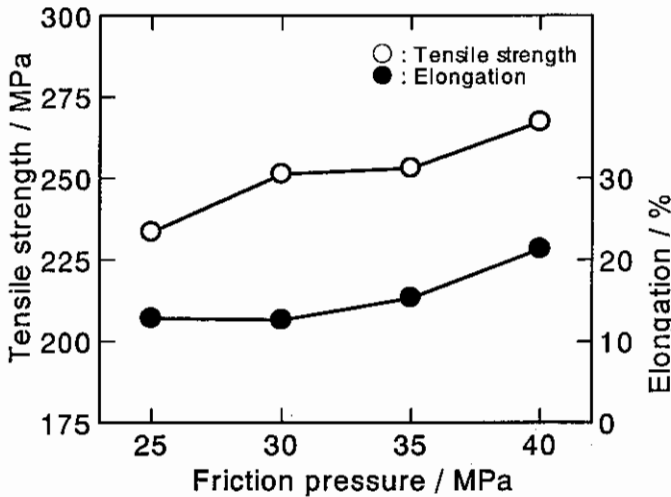


図5 肉盛材の引張強さおよび伸びに及ぼす摩擦圧力の影響
 $N=20.0s^{-1}$, $f=9.0mm \cdot s^{-1}$

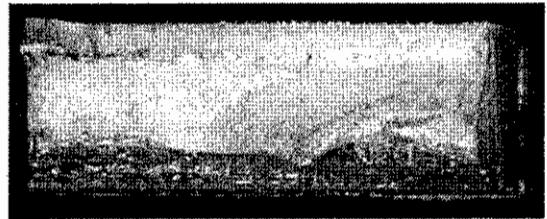
肉盛材の引張試験結果を図5に示す。引張強さは摩擦圧力の増加に伴い向上し、摩擦圧力40MPaで最大値267MPaを示し、基材である5052合金の母材値より高い値を示した。肉盛材の強度が単純に複合則に従うとすれば、試験片の引張強さは287.6MPaとなり、これに対して肉盛材は92.9%であった。肉盛金属に2017合金を用いた肉盛材の強度が5052合金を用いたものに比べて向上したことは、肉盛金属の5052合金と2017合金の特性の相違によるものである。すなわち2017合金は前述したように、一旦、摩擦熱によって軟化するが、その後の時間経過とともに硬さが回復するためと推定する。肉盛材の伸びは、引張強さと同様に摩擦圧力の増加に伴い向上するが、摩擦圧力35MPa以上では基材に用いた5052合金に比較して高い値を示した。このことは、基材部に軟化域が認められるためと考える。5052合金を肉盛金属に用いた場合に比較して引張強さは高くなり、延性も向上することより、2017合金を肉盛金属として用いれば、5052合金表面に高い表面改質効果が得られるものとする。これらのことは、基材に比べて高強度の肉盛金属を用いれば、より高機能の肉盛材の製作が可能であることを示唆するものである。

引張試験後の巨視的破面を図6に示す。肉盛金属に5052合金を用いた場合と同様に、摩擦圧力25MPaでは界面にわずかな剥離が認められるが、他の肉盛条件では基材と肉盛層の界面における剥離は認められなかった。また、延性の高い基材として用いた5052合金部分が肉盛層である2017合金部分に比較して引き延ばされた破面を呈している。

図7に引張試験後の微視的破面を示す。肉盛金属に5052合金を用いた試験片の肉盛金属内部には、肉盛方向に対して左側のディンプルはやや大きいものが多く観察されたが、肉盛金属に2017合金を用いた肉

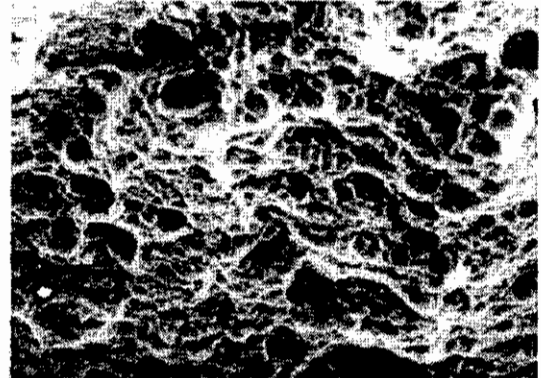


(a) P = 25 MPa

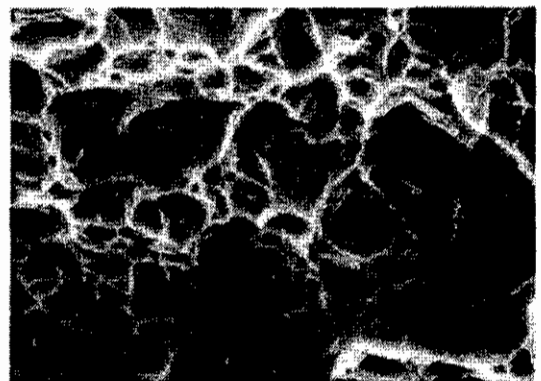


(b) P = 40 MPa 2mm

図6 引張試験後の巨視的破面
 $N=20.0s^{-1}$, $f=9.0mm \cdot s^{-1}$



(a) center of deposit



(b) center of matrix 20 μm

図7 引張試験後の巨視的破面
 $P=40MPa$, $N=20.0s^{-1}$
 $f=9.0mm \cdot s^{-1}$

盛材では、肉盛層の破面の様相に明瞭な差異は認められなかった。また、基材部のディンプルと比較して肉盛層内に生成したディンプルは微細、かつ深いものが多く観察された。

肉盛材を圧延速度 $96.7\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 623K の温度条件で圧延した板厚 1mm の積層板の外観写真を図8に示す。肉盛材は2017合金肉盛層側、5052合金機材側ともに一様に圧延されており、圧延中および圧延後における肉盛層と基材部の界面剥離、表裏面に割れや裂け傷などの欠陥は認められなかった。しかし、圧延後に2017合金側へ若干の板反り現象が観察された。これは、肉盛層である2017合金と基材の5052合金の圧延過程における変形抵抗の差によるものと考えられる。

圧延のままの積層板横断面の微視的組織を図9に示す。肉盛層は基材部に比較して微細であり、両者の接合界面は明瞭に識別できた。また、圧延後の積層板断面における2017肉盛層と5052基材部の厚さの比率に圧延前後の明瞭な差異は認められなかった。本実験で作製した積層板は、その断面のいずれの場所においても接合面における剥離は一切観察されなかった。

4. まとめ

基材に5052アルミニウム合金板を、肉盛金属に2017アルミニウム合金丸棒を用いて摩擦肉盛を行い、得られた肉盛材の組織および機械的性質に及ぼす肉盛条件の影響を検討と肉盛材の圧延による積層板の作製を試みた結果、以下の結論を得た。

- 1) 基材と同系異種の肉盛金属を用いた摩擦肉盛は、適正な肉盛条件を選定すれば接合界面に剥離などの欠陥のない良好な肉盛材の作製が可能である。
- 2) 肉盛層の厚さは、肉盛金属の回転の高速化に伴い薄くなり、肉盛層の幅は、肉盛金属の回転数および送り速度の増加に伴い狭くなる。
- 3) 肉盛層直下の基材部に軟化域が認められ、接合界面から離れるのに伴い軟化域の幅は狭くなる。
- 4) 肉盛金属に基材より高機能の材料を用いることにより、高機能肉盛材が得られる。
- 5) 肉盛材は圧延などの二次加工を施しても接合界面の剥離などの欠陥は発生しない。よって、表裏の異なる材料からなる積層板の製作が可能である。

5. 今後の研究課題

2002年度は、5052アルミニウム合金板を基材に、SiC粒子分散アルミニウム合金基複合材料を肉盛材に用いて2001年度と同様の実験を行う。加えて5052/2017合金摩擦肉盛材の圧延によって積層板を作製し、その成形性の検討を行う。また、マグネシウム合金同種材および同系異種材の組合せについても実験を行う。

参考文献

- 1) たとえば, E.D.Nicholas and W.N.Thomas: Welding Journal, 65(1986), 17.
- 2) 時末 光, 加藤数良: 日本大学生産工学部ハイテク・リサーチ・センター平成12年度研究報告書, (2001), 1-39.
- 3) 時末 光, 加藤数良: 軽金属, 28-9(1978), 450.

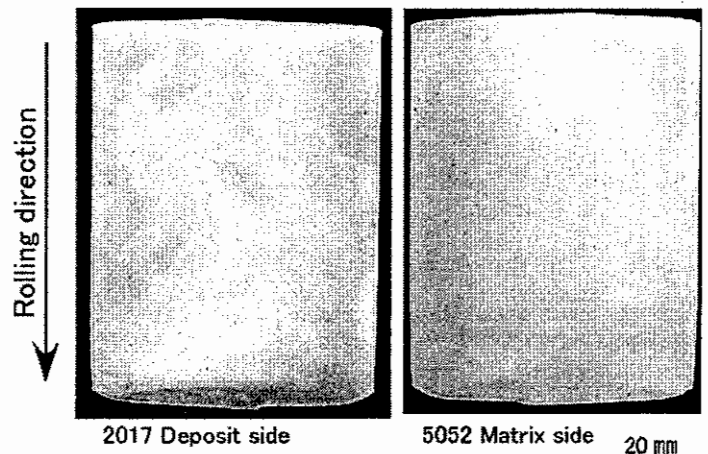


図8 圧延を併用して作製した積層板の外観
 $P=30\text{MPa}$, $N=20.0\text{s}^{-1}$, $f=9.0\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$

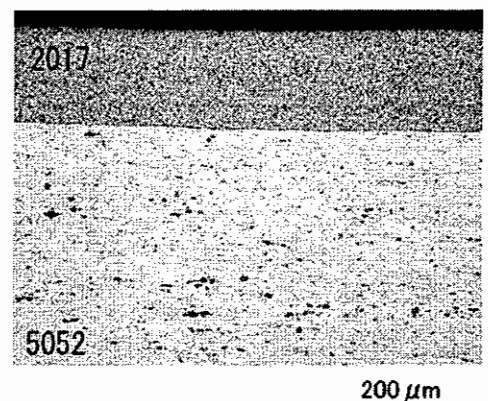


図9 積層板横断面の微視的組織
 $P=30\text{MPa}$, $N=20.0\text{s}^{-1}$