

1. 緒言

摩擦熱を有効に利用する摩擦肉盛は、表面改質技術として期待されている。著者は、これまでにA5052合金を基材に用い、A5052合金、A2017合金を肉盛金属とした摩擦肉盛材の組織および機械的性質を検討し、摩擦肉盛が表面改質技術として適することを示した^{1), 2)}。また、幅広の肉盛層を得る手法として多層肉盛法³⁾を、肉盛効率向上にパイプ状肉盛金属⁴⁾を提案し、その有用性を明らかにした。

平成16年度は、A5052合金を基材とし、これに金属基複合材料を摩擦肉盛した肉盛材の組織、硬さ、耐摩耗性、およびA5052/A2017合金摩擦肉盛材²⁾を圧延して積層板を作製し、その特性および成形性を検討した。

2. 金属基複合材料による摩擦肉盛

2.1 供試材および実験方法

基材には前報⁴⁾と同一寸法形状のA5052合金板を、肉盛金属にはA6061/Al₂O₃複合材料(φ19mm, 以下MMC)を長さ100mmに機械加工して用いた。また、比較のためにMMCのマトリックス合金であるA6061合金(φ19mm)を肉盛金属に使用した。MMCの化学組成および機械的性質をTable 1に示す。

摩擦肉盛は数値制御全自動摩擦圧接機を使

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of MMC. (mass%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Al ₂ O ₃	Al
0.58	0.10	0.26	0.05	1.08	20.5	Bal.
Tensile strength (MPa)		Elongation (%)		Hardness (HV0.01)		
213		10.8		111.9		

Table 2 Friction surfacing conditions.

Rotational speed	N (s ⁻¹)	33.3
Friction pressure	P (MPa)	25
Traverse speed	f (mm·s ⁻¹)	14
Preheating time	t (s)	2

用し、Table 2に示す条件により肉盛金属の消耗長さ(30mm)規制によって行った。

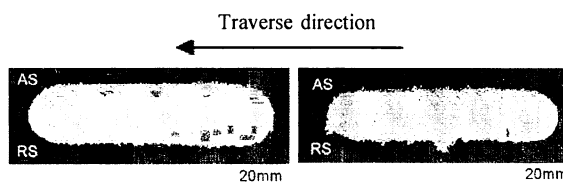
作製した肉盛材の外観観察、組織観察、硬さ試験、摩耗試験を室温で行った。また、肉盛前後の肉盛金属の重量比から肉盛効率を求めた。摩耗試験は相手材に球状黒鉛鋳鉄円板(φ30mm, t: 3mm)を用い、Table 3の条件を組合せて大越式摩耗試験機によって行った。

2.2 実験結果および考察

肉盛材の外観をFig. 1に示す。A5052合金肉盛材¹⁾と同様に、肉盛層は肉盛金属の回転中心より送り方向に対して右側に片寄る傾向を示した。このことは、肉盛金属の回転方向と送り方向の力学的関係によるものであり、肉盛金属の回転方向と送り方向が一致するAdvancing side (AS, 逆側: Retreating side: RS), すなわち、本研究では、送り方向に対して右側では肉盛金属を前方へ移動させる力が発生し、これに対して左側では肉盛金属を後方へ移動させる力が発生する。このために肉盛金属が送り方向に対して右側に片寄ったものと推定する。また、MMC肉盛材はA6061合金肉盛材に比較して肉盛層の幅は若干狭く、長さもやや短くなった。しかし、肉盛金属の回転による円弧状模様は、A6061合金肉盛材と同様に明瞭に観察された。

Table 3 Abrasion test conditions.

Final load	P ₀ (N)	31.4
Friction speed	V (m·s ⁻¹)	0.51, 0.94, 1.97, 3.62
Friction distance	L ₀ (m)	200



(a) A5052/A6061 deposit (b) A5052/MMC deposit

Fig. 1 Surface appearances of deposit.

Fig. 2に肉盛材横断面の巨視的組織を示す。MMC肉盛材は、A6061合金肉盛材に比較して厚さは若干薄く、肉盛金属の両端に観察される未接合部もやや大きくなった。また、肉盛層と基材の接合界面は明瞭に観察できた。このことは、MMC内部に高硬度のアルミナ粒子が分散していることから、A6061合金に比較して変形し難くなるためと推定する。

肉盛層中央部断面の微視的組織をFig. 3に示す。MMC肉盛材は、肉盛金属中に分散しているアルミナ粒子の一部が基材部に入り込んだ状態が観察される以外は、A6061合金肉盛材と明瞭な差異は認められなかった。類似の現象が同一素材を組合せた摩擦圧接継手にも観察されている⁵⁾。

Fig. 4に肉盛効率を示す。参考にA5052合金肉盛材の値を併記した。A6061合金肉盛材が最も高い45.6%を示した。これはMMC肉盛材の1.4倍、A5052合金肉盛材の1.8倍の値である。このことは、A6061合金の硬さはMMCとほぼ同程度であるが、高強度のために同一長さの肉盛を行っても、肉盛金属の消耗が他の合金に比べて少ないことによるものと考えられる。

肉盛層の垂直断面の硬さ分布をFig. 5に示す。MMC肉盛材、A6061合金肉盛材はともに基材の硬さ分布と類似した様相が観察された。また、肉盛層の硬さは、MMC肉盛材がA6061合金肉盛材に比較して高い値を示した。しかし、肉盛層と基材の界面近傍では、ほぼ同程度の値となった。

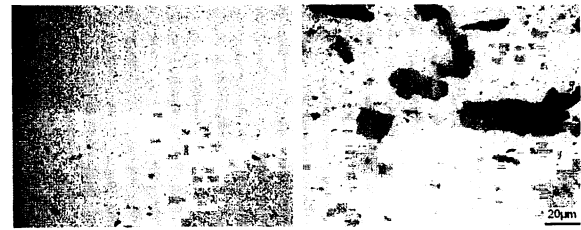
Fig. 6に摩擦試験結果を示す。摩擦速度が0.94m/s以下の低速度域では、両肉盛材の比摩擦量に顕著な差は認められず、基材と同程度の値を示した。しかし、摩擦速度1.97m/s以上の高速度域では、A6061合金肉盛材、A5052合金はいずれも摩擦速度の上昇に伴い急速に摩擦が進行した。また、MMC肉盛材は摩擦速度の大小に関係なく、比摩擦量はほぼ一定の低い値であった。このことより、MMCを摩擦肉盛することにより、基材の耐摩擦性向上に顕著な効果があることが明らかとなった。

2.3 まとめ

A5052合金基材にMMCを摩擦肉盛した肉盛材の組織、硬さ、耐摩擦性を検討し、以下の結論を得た。



(a) A5052/A6061 deposit (b) A5052/MMC deposit
Fig. 2 Macrostructures of deposit.



(a) A5052/A6061 deposit (b) A5052/MMC deposit
Fig. 3 Microstructures of deposit.

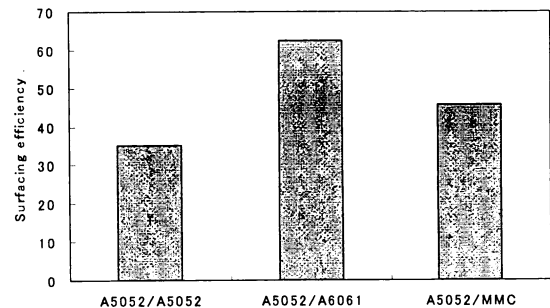


Fig. 4 Measuring results of surfacing efficiency.

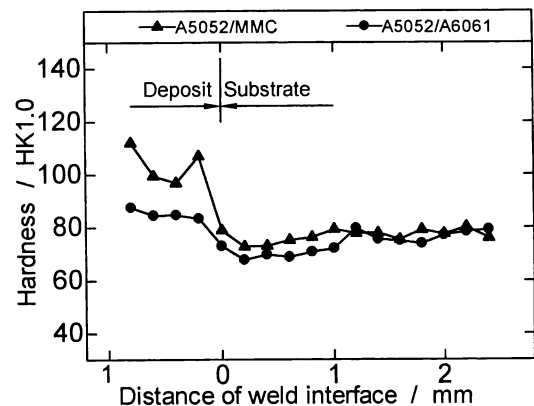


Fig. 5 Hardness distributions of deposit.

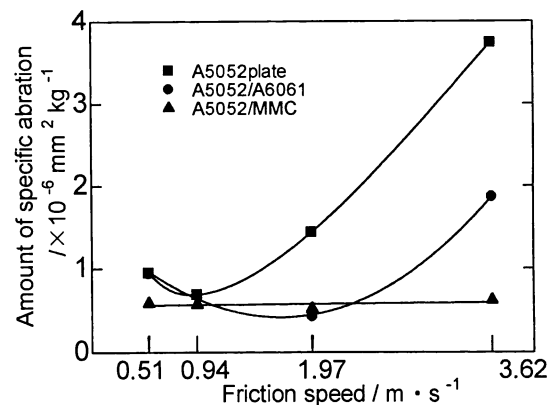


Fig. 6 Results of abrasion test.

- 1) 肉盛金属にMMCを用いても、同種あるいは同系異種材の組合せと同様に摩擦肉盛は可能である。
- 2) MMC肉盛材の硬さは、同種あるいは同系異種肉盛材に比較して高い値を示す。
- 3) MMC肉盛材の耐摩耗性は摩耗速度の大小に関係なく良好である。

3. A5052/A2017合金摩擦肉盛材によった積層板

3.1 供試材および実験方法

積層板の作製にはA5052/A2017合金多層摩擦肉盛材³⁾を用い、肉盛層の表面加工を一切行わずに熱間圧延(温度: 623K, ロール速度: 86.7mm/s)によって板厚1mmまで圧延した。

作製した積層板の外観観察、組織観察、硬さ試験、圧延方向に平行に採取したJIS 13B試験片による引張試験を室温で行った。また、比較のためにA5052合金肉盛材についても同一の試験を行った。

3.2 実験結果および考察

作製した積層板の表面をFig. 7に示す。積層板の表面は肉盛金属の種類に関係なく、肉眼では肉盛層と基材の差異の識別は困難であった。また、圧延に伴う肉盛層と基材の剥離、割れ、裂けきずなどの欠陥は観察されなかった。

積層板中央部の巨視的組織をFig. 8に示す。単層肉盛、多層肉盛および位相の大きさに関係なく、肉盛層と基材の界面は比較的平坦で、剥離などの欠陥は観察されなかった。積層板中央部では、圧延前の肉盛層と基材の厚さの違いにより、全板厚に占める肉盛層の厚さに差が認められた。しかし、圧延前後の肉盛層と基材の厚さの比率はほぼ同一となった。

積層板中央部の微視的組織をFig. 9に示す。単層肉盛材、多層肉盛材はともに微視的にも剥離は観察されず、肉盛層の組織は基材に比べて著しく微細化した。これらの組織形態は全ての積層板に共通して観察された。また、全ての積層板の肉盛層と基材の界面に金属間化合物などの生成は認められなかった。

圧延のままの状態および圧延後A2017合金のT4処理に相当する熱処理を施した積層板断面の硬さ分布をFig. 10に示す。圧延のままの

積層板の肉盛層の硬さは、A2017合金母材の硬さ(120.7HK0.01)に比べて著しく低下した。このことは、圧延時の繰り返し加熱により焼なまし状態となったことによるものと考えられる。全ての積層板において位相差による硬さの変化は認められず、肉盛層と基材の硬さはほぼ同等の値となった。

圧延のままの積層板および圧延後に熱処理を施した積層板の引張試験結果をFig. 11に示す。圧延のままの積層板の引張強さに及ぼ

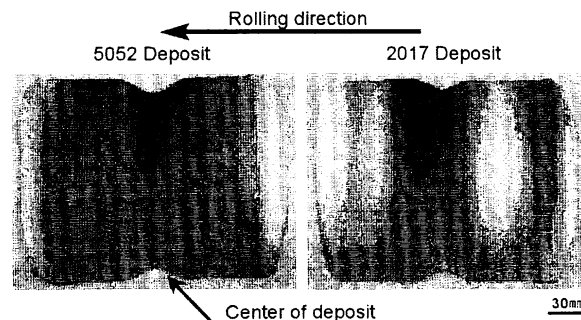


Fig.7 Surface appearances of multilayer laminate sheet.



Fig.8 Macrostructures of laminate sheet.

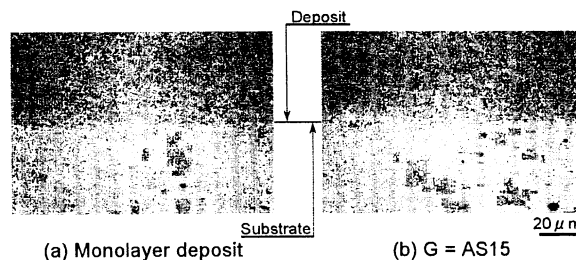


Fig.9 Microstructures of laminate sheet.

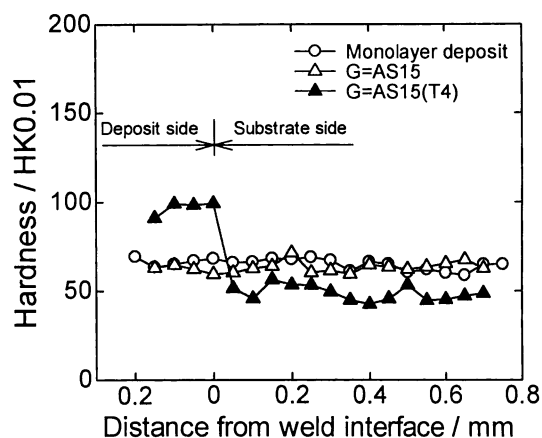


Fig.10 Hardness distributions of laminated sheet.

す単層肉盛，多層肉盛および位相の影響はほとんど認められなかった。このことは，前述の硬さ試験結果より，圧延時の繰り返し加熱により肉盛部が焼なまし状態となり，積層板に占める肉盛層の厚さが薄くなることによるものと推定する。伸びも同様の理由により，単層肉盛，多層肉盛および位相による明瞭な差異は認められなかった。基材としたA5052合金のO材⁶⁾と比較すると，積層板の引張強さは全条件で向上したが伸びは低下した。

引張試験後の破断面は，圧延のままの積層板，熱処理した積層板はともに肉盛部と基材部の剥離は観察されず，比較的平坦な破断面であった。

深絞り試験後のカップの表裏面をFig. 12に示す。カップの外側としたA2017合金肉盛層にき裂や剥がれなどは観察されず，単層肉盛材，多層肉盛材ともに良好な表面となった。また，深絞り試験でカップに割れが発生した条件でも表面の肉盛層に剥離は観察されず。基材と完全に接合された状態であると推定できる。

Fig. 13にFig. 12(a)に示したカップ断面の巨視的組織を示す。横断面の積層板内部に割れ，剥離などの欠陥は観察されなかった。また，絞り加工後の積層板に占める肉盛部の厚さは，加工前とほぼ同一であり，肉盛部の厚さに局所的な変化は観察されなかった。

3.3 まとめ

A5052/A2017合金多層摩擦肉盛材を熱間圧延した積層板の組織，機械的性質，成形性の検討した結果，以下の結論を得た。

- 1) 積層板に異方性は認められない。
- 2) 深絞り試験後の断面組織観察より，積層板内部に割れや剥がれなどの欠陥は認めらず，良好な成形性を示した。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 時末 光：日本大学生産工学部ハイテク・リサーチ・センター平成13年度研究報告書，(2002)，1-39.
- 3) 時末 光：日本大学生産工学部ハイテクリサーチセンター平成14年度研究報告書，(2003)，1-39.
- 4) 時末 光：日本大学生産工学部ハイテクリサーチセンター平成15年度研究報告書，(2004)，1-37.
- 5) 加藤数良，時末 光：軽金属，41(1991)，809.
- 6) 軽金属学会創立40周年記念事業委員会編：アルミニウムの組織と性質，軽金属学会，(1951)，454.

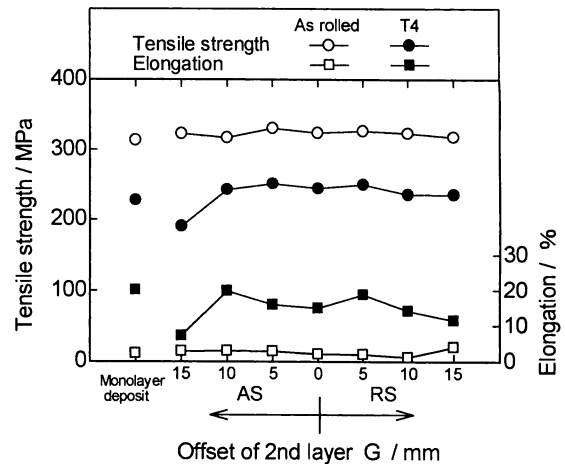


Fig.11 Results of tensile test.

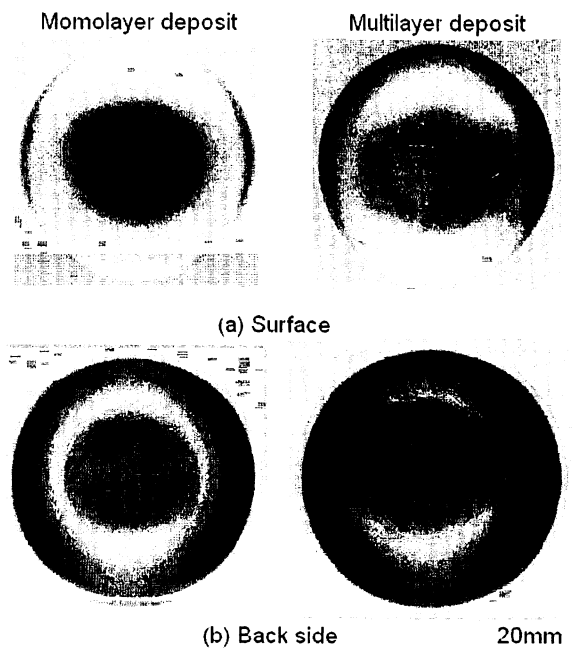


Fig.12 Appearances of deep drawing cup.
(a) Surface:A2017 alloy
(b) Back side:A5052 alloy

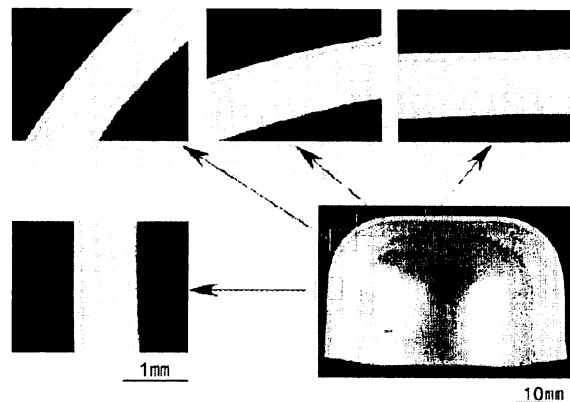


Fig.13 Macrostructures of cross section of deep drawing cup shown in Fig.12(a).