

摩擦肉盛による金属材料の面状付加工 Metal additive manufacturing by friction surfacing

東京農工大学 ○高田青空, 藤田直也, ◎笹原弘之

要旨

摩擦肉盛法は回転した肉盛材をサブストレートに接触させ、摩擦熱と塑性変形の熱で融点以下の温度で軟化させた後、塑性流動した両者を攪拌し固相接合させる技術である。本研究ではマシニングセンタを用いて摩擦肉盛を行い、主軸回転速度や主軸送り速度、押し付け荷重と肉盛状態との関係を明らかにした。

1. 緒言

高温強度の高いNi-Co基合金は産業用ガスタービンに多用される。しかしNi-Co基合金を多用しても容易に損傷してしまい、損傷時の多くは溶接により補修される¹⁾。手溶接に限られるため品質にばらつきが発生しやすく、溶加材がInconel625に限られるため、材料強度や耐酸化性が不足するため再び容易に損傷してしてしまう問題がある²⁾。そこで、これらの問題を解決する付加造形技術が必要である。

本研究は、回転する肉盛材をサブストレートに接触させ、摩擦熱と塑性変形の熱で両者を軟化させた後にサブストレート上に圧着させる摩擦肉盛を対象とする。摩擦肉盛の利点として、異種材料が選択できること、溶接やサーマルスプレーのように融点まで温度が上昇せず入熱量が小さいこと、サブストレートの希釈がほぼないということが挙げられる。しかし、高融点金属では金属を軟化させるまでの十分な予熱をすることが難しい。本研究では耐熱合金Ni-Co基合金に対し、余熱をアシストして温度を上昇させ摩擦肉盛を可能とすることを目的とする。その第一段階として、まずは融点の低いアルミニウム合金を対象とし、マシニングセンタを使用して良好な肉盛層を得るための摩擦肉盛に必要な主軸回転速度や圧下条件、温度を明らかにする。

2. 実験方法

図1に摩擦肉盛の実験装置を示す。肉盛材は直径14mmのA5052B丸棒であり、これをマシニングセンタの主軸に取り付けた。高速回転する肉盛材をZ軸方向に送り、サブストレートとの摩擦熱により温度上昇させ塑性流動を生じさせる。次に肉盛材をZ軸とX軸を使って斜め下方に移動させ、サブストレート上に肉盛材を圧着させる。荷重はサブストレートの下に設置した3成分動力計(Kistler 9257B)で測定し、肉盛層側面の最高温度をサーモグラフィ(FLIR T630SC)を用いて測定した。肉盛条件を表1に示す。主軸回転速度を変化させて肉盛を行い、肉盛材とサブストレートが接合する条件を調査した。なおサブストレートには厚さ10mmのA5052Pを使用した。

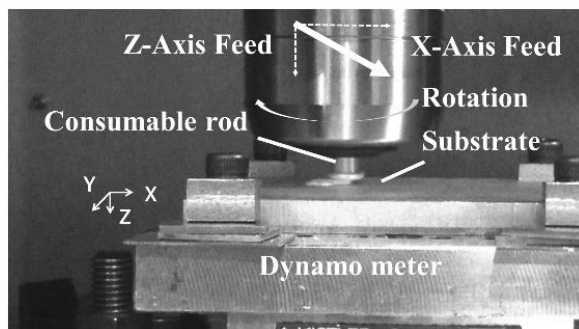


Fig.1 Schematic of friction surfacing process

Table 1 Processing conditions of friction surfacing

Rotational speed	r/min	1700, 2400, 3400, 4400, 5400
Z-axis feed speed	mm/min	384
X-axis feed speed	mm/min	426.6

3. 実験結果

図2に得られた肉盛層の中間点を放電加工機を用いて切断した断面を示す。全ての肉盛条件においてサブストレート上に肉盛層を得ることができた。しかし、2400r/min以下の主軸回転速度では全域で未接合部が確認できる。これは摩擦熱と塑性変形の熱により肉盛材は十分に塑性流動したが、サブストレート十分に軟化するほど温度上昇しなかったためと考えられる。一方で3400r/min以上の主軸回転速度では未接合部がほぼなくサブストレートも十分な予熱ができたと考えられる。また、3400r/min以上の主軸回転速度で得られた肉盛層を比較すると、主軸回転速度の高い肉盛条件ほど肉盛層の高さが低くなっていることが分かる。摩擦により発生する熱量が過大となり、流動した肉盛材の多くがばりとして肉盛材側面に排出されたためと考えられる。

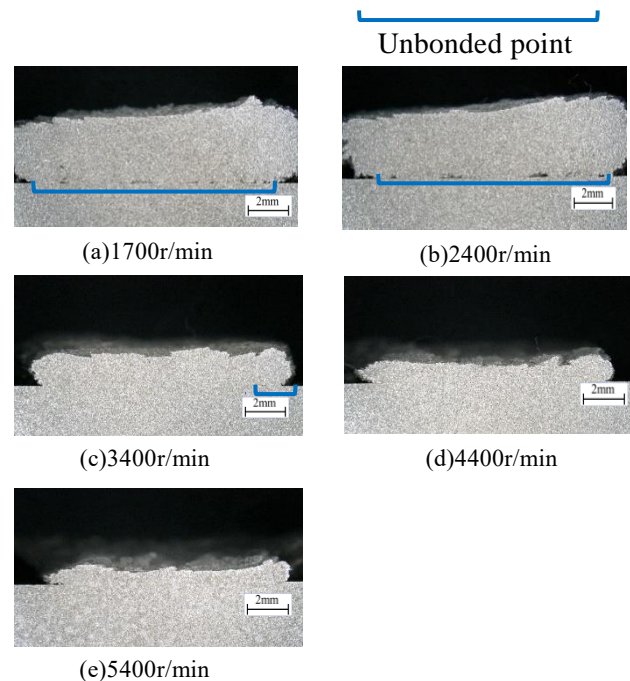


Fig. 2 A cross-sectional view of test pieces

3400r/min以上の肉盛条件において、実験中の荷重と側面の最高温度の測定結果を図3に示す。すべての条件において先行研究³⁾で摩擦肉盛に必要な最低荷重である4000N以上のZ軸荷重となり、約5000N程度で安定した。そのため肉盛材とサブストレートが軟化後に十分に攪拌されたと考えられる。また、肉盛工程中の側面の最高温度は塑性流動が発生する条件である摂氏で融点の80%程度⁴⁾まで予熱されたことがわかる。これらの3条件は摩擦肉盛に必要なZ軸荷重や肉盛層温度の条件を満たし、良好な肉盛層が得られたと考えられる。さらに、肉盛工程中のZ軸荷重や側面の最高温度はほぼ一定となっている。そのため肉盛工程の始点や終点においても中間点と同じような肉盛層とサブストレートの接合具合になっていることが考えられる。

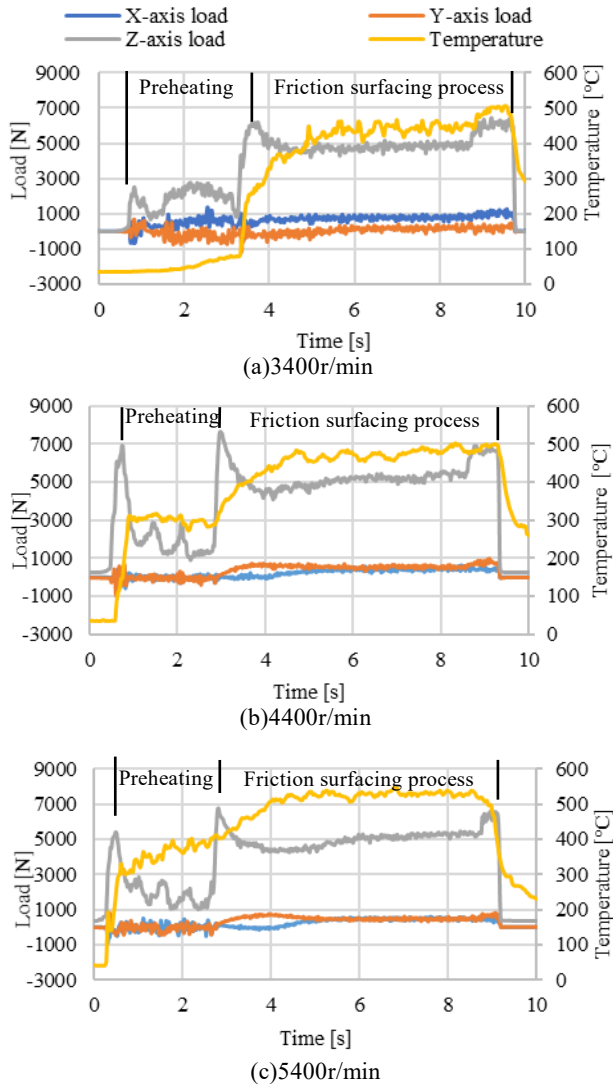


Fig. 3 Axial force and maximum temperature

次に、3400r/min以上の肉盛条件において得られた肉盛層の断面を研磨し、エッチングして金属組織を観察した。研磨面とエッチング面の写真を図4に載せる。研磨面の写真から肉盛層とサブストレートの間に欠陥が無く、境界面も不明瞭となっていることから肉盛材とサブストレートは接合したことが分かる。また、エッチング後の写真では、肉盛層とサブストレートの境界部では欠陥が発生し黒い線のようなものが入っている。このように見えるのは、塑性流動した肉盛層とサブストレートが攪拌され混ざり合ったため二つの境界部が不明瞭になり、一部の境界部はエッチングの影響により溶解したためである。そのため、実際は接合しており境界部で肉盛材とサブストレ

ートは十分に攪拌されて接合したことが分かる。またエッチング後の写真において、サブストレートと肉盛材の組織を比較すると、肉盛材の組織は塑性流動したため結晶粒径が微細になっているが、サブストレートの接合部以外の場所では肉盛材より結晶粒径が大きくなっている。これは肉盛時の予熱は肉盛材とサブストレートの界面近くでのみ行われ、サブストレートへの入熱量は小さく、熱影響を与えるほどの入熱がなかったためと考えられる。これらの結果からA5052を用いた時の肉盛条件は、送り速度を $f_z=384\text{mm/min}$ $f_x=426.6\text{mm/min}$ として3400r/min以上の主軸回転速度にすると良好な肉盛層が得られることが分かった。

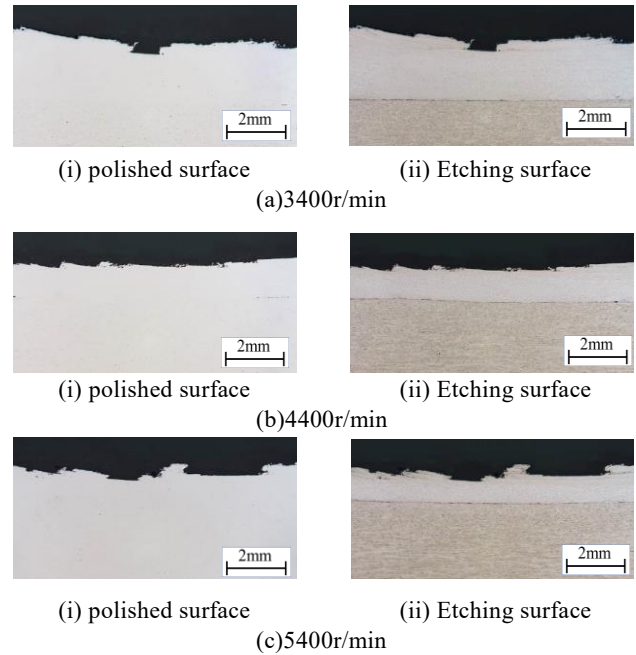


Fig. 4 Polished and etching surface of test pieces

4. 結 言

サブストレートと肉盛材にA5052を使用してマシニングセンターで肉盛条件を調査し、以下のことを明らかにした。

- 1) 送り速度を $f_z=384\text{mm/min}$ $f_x=426.6\text{mm/min}$ として3400r/min以上の主軸で肉盛を行うとサブストレートと肉盛材が接合した肉盛層が得られた
- 2) 実験時の側面温度や垂直荷重は先行研究で明らかにされた肉盛条件を満たした
- 3) 肉盛層とサブストレートの境界面は欠陥なく接合しており、塑性流動した両者が十分に攪拌されたため、境界部は不明瞭になった

5. 参考文献

- 1) 酒井義明 澤徹 岡本浩明, ガスタービンメンテナンス技術, 東芝レビューVol.60 No.12, (2005), pp.24-27.
- 2) 酒井義明 佐藤岩太郎 斎藤大蔵, ガスタービン高温部品の寿命延伸技術, 東芝レビューVol.63 No.9, (2008), pp.23-26.
- 3) 篠田剛, 李錦旗, 摩擦肉盛法による表面改質研究の現状, 溶接学会誌 第66巻 第6号, (1997), pp.441-446.
- 4) J. Gandra, et.al, Friction Surfacing-A review, Journal of Materials Processing Technology 214, (2014), pp.1062-1093.