

切断工具用硬質厚膜創製技術の開発

名古屋大学工学研究科材料プロセス工学専攻

助教授 篠田 剛

(平成10年度研究開発助成AF - 98002)

キーワード：表面改質、硬質膜形成、摩擦肉盛り、金属材料切断用工具、

1. 研究の目的・背景

材料の高機能化にとまない、材料の表面改質法の開発がさかんに行われている。たとえば、CVDあるいはPVDに代表されるサブミクロン皮膜による高機能性材料の開発、あるいは従来から実施されている溶射などが行われている。しかしながら、いずれの形成膜厚も過大あるいは過小であり、剥離などの欠陥も多いことが指摘されている。工業的に最も利用範囲の大きい1mm程度の硬質膜厚形成ができない欠点が指摘されている¹⁾。

本研究は上記の1mm程度のシアー刃などの切断工具用の硬質硬膜形成を界面移動現象を利用した摩擦肉盛り法により得ようとするものである。この方法の原理は円柱状の硬質膜形成材を回転させ被表面処理材に接触加圧することにより両部材表面を発熱させ、清浄化および活性化させつつ溶融点温度直下に保持する。そして被表面処理材をスライドさせることにより特定の機能を付与した皮膜を形成する一種の強塑性加工現象を利用した新機能複合材料創製法である²⁾。

本研究では、この方法の工具刃への適用を進めるため、プロセスの適正条件の確定と応用的開発として多層の摩擦肉盛りを開発した。

2. 実験方法

摩擦圧接機は最大推力6トンのプレーキ式縦型摩擦圧接機（日東制機製）である。

縦型摩擦圧接機は、インバータ電源によって主軸の回転数を制御でき、回転数を0から4000rpmまでに無段階に設定できる。基材移動装置は、本研究室が開発したインバータ制御付きスライドテーブルを用い、摩擦圧接機のテーブル上に載せて肉盛り実験を行った。

基材移動装置は摩擦肉盛中の荷重に十分耐えられ、400Wの出力のモーターにより、横方向に移動するようになっている。摩擦肉盛中の圧力、肉盛材の回転数、送給速度および基材移動速度などのパラメータは、コンピュータを介して記録される。この方法の原理を図1に示す。

肉盛材(丸棒)として直径20mm、長さ130mmのマルテンサイト系ステンレス鋼SUS440Cを用い、摩擦圧接機のチャックからの突き出し長さ55mmとした。基材として幅50mm×長さ150mm×板厚12mmの一般溶接構造用鋼SM50Cを用いた。

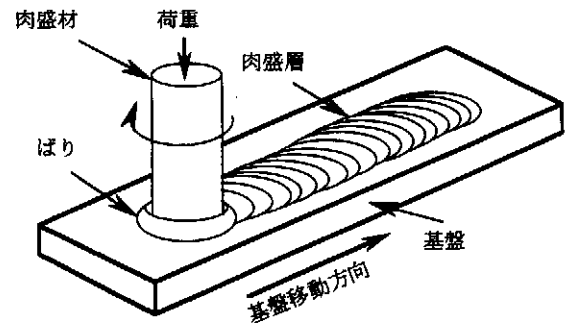


図1 摩擦肉盛り法の原理

3. 回転面移動現象

回転面移動現象とは、摩擦肉盛の原理を説明するための一つの重要なものである^{3,4)}。図2に回転面移動現象の概略図を示す。

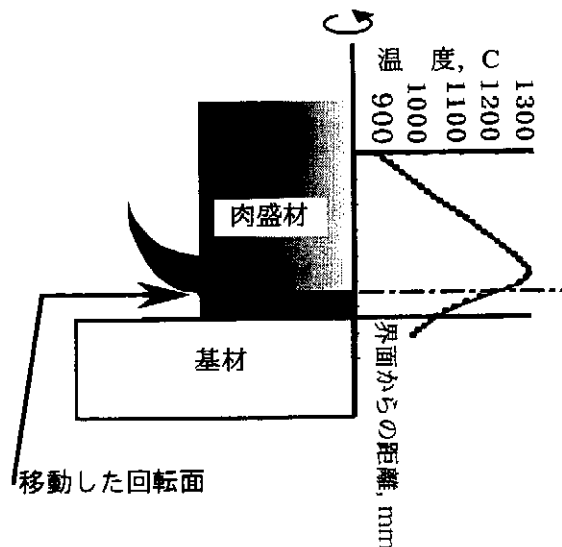


図2 回転面移動現象の模式図

摩擦肉盛の際、一定の速度で回転する肉盛材(丸棒)を基材に接触させ、圧力をかけると、回転接触面の両方の金属が摩擦熱により温度が上昇する。接触開始直後は、両者の界面における最高温度は等しいが、材料の熱的性質や熱容量差により、次第に肉盛材の温度が高くなり、回転面に対して非対称な温度分布が生ずる。従って時間が経過するとともに、最高到達温度域は摩擦界面より、肉盛材側に移動し、回転面が次第に肉盛材側に移動する。この時点で、基材を横に移動させれば、溶接ビードのような摩擦肉盛層が形成する。肉盛材と基材の境界面における温度分布の非対称性により、回転面が肉盛材側に移動し、このことを“回転面移動現象”と称する。図は、定常状態の温度分布の数値計算結果と併せて原理を示したものである^{5,6)}。

換言すれば、回転面移動現象は摩擦肉盛の基本条件となり、この基本条件を満たさないと摩擦肉盛ができなくなる。従って、摩擦肉盛において基材と肉盛材間の熱容量差、あるいは熱伝導度差が必要であり、さらに摩擦熱を生じさせるために必要な摩擦圧力に耐えうる基材の高温強度が要求される。

4. 実験結果

4.1 適正パラメータと熱量の関係

本研究では、この方法の工具刃への適用を進めるため、プロセスの適正条件の確定を行った。種々の条件で肉盛した結果から、SUS440C肉盛材の定着効率に及ぼす回転数、摩擦圧力の影響を調べた。その結果を図3に示す。同図によると、回転数が低いほど定着率が高くなる傾向が認められ、最大で60%程度の効率を得ている。回転数が速くなると、肉盛材と基材との接触面積が減少するため、摩擦発熱量が減少し、肉盛材の軟化の度合いが小さくなり、肉盛材の定着速度が減少するというこれまでの実験結果と一致とする⁷⁾。

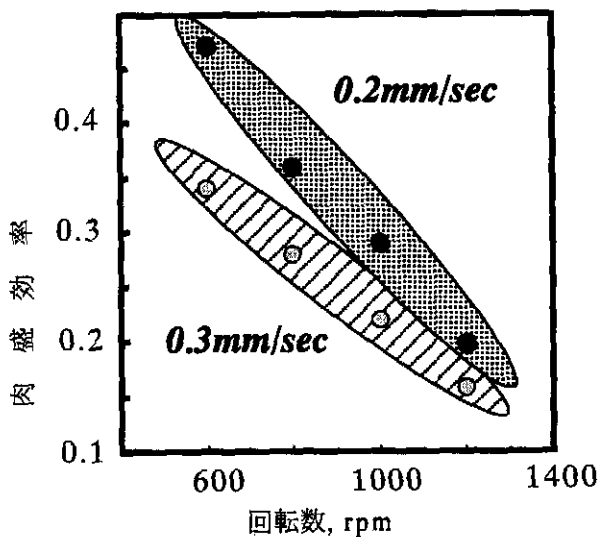


図3 肉盛の効率に及ぼす操作パラメータの影響

摩擦肉盛過程中的熱伝導の挙動は摩擦肉盛プロセスを把握するために、最も重要なものである。肉盛材にSUS440C、基材に低合金高張力鋼を用い、カロリメータで摩擦肉盛中の熱量を測定した。肉盛材及び基材への熱量配分を実験的に明らかにした。その測定結果を図4に示す。行った実験条件範囲では、回転数によらず、全熱量はほとんど一定である。しかし、回転数が増加するに従い基材側への入熱速度は次第に減少していく傾向が認められる。ここで、入熱速度は単位時間、単位肉盛材断面積当たりの熱量と定義したもので、本研究で初めて定義されたものである。一方、回転数の増加とともに、肉盛材側への入熱速度は増加していることが明らかとなった。その結果、摩擦肉盛は、肉盛材の回転数を変化させることにより、基材側と肉盛材側への熱量配分を制御できることになる。このことは、肉盛層の形状が回転数に依存していることの別の表現でもある。

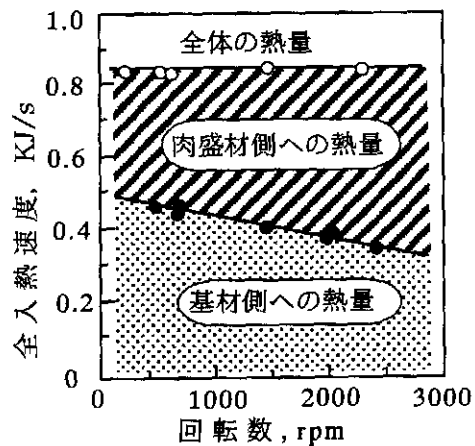


図4 肉盛プロセスにおける基材、肉盛材料への熱量配分

4.2 硬さ分布におよぼすパラメータの影響

肉盛したSUS 440C マルテンサイト系ステンレス鋼の金属の硬さ分布の一例を図5に示す。この結果、肉盛金属は最高800Hv 程度となり、工具刃としての十分な値を示すことが明らかとなった。また、硬さ分布におよぼすパラメータの影響は図より肉盛材回転数が大きく、定回転数ほど硬化が著しい。一つの理由は、回転数の増加につれて、肉盛層の厚さが薄くなったため、硬度分布の曲線で、肉盛層の厚さの軸方向は短くなっていることによる。他の理由は、図2の結果に示すように低速回転では基材側へ配分される入熱速度が増大する結果であると思われる。入熱速度は、単位時間当たりの熱量と定義されているので、入熱速度が増大することは肉盛速度が増大していることを意味しており、この結果肉盛層の冷却速度が増加し、焼き入れ状態になったものである。事実、肉盛層の組織は著しく微細化かつ均一分布した炭化物と高炭素マルテンサイト組織となっている。

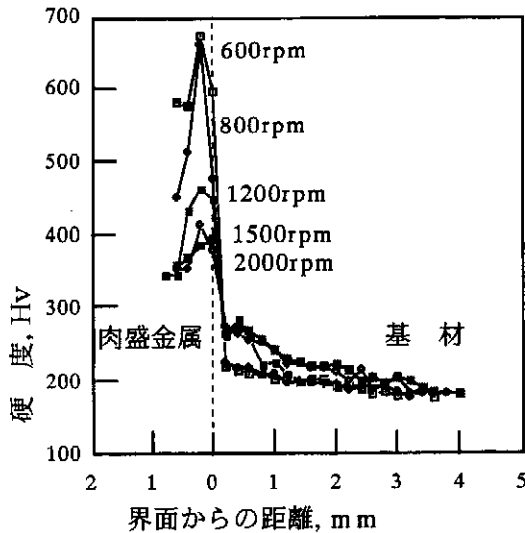


図5 肉盛り金属の硬度におよぼすパラメータの影響

さらに、一定の回転数の場合で比較すると、摩擦圧力の増加につれて、肉盛層の硬度が低くなる傾向が認められる。摩擦圧力の増加とともに、熱影響部の面積が顕著に増加することにより、基材への入熱量が大きくなった。その結果、肉盛層の冷却速度が遅くなり、焼き入れが生じなくなり硬度上昇がなくなったものと考えられる。

しかしながら、工具刃としては硬さのみでなく靱性を確保しなければ、使用中の刃欠けなどの欠損を生じるので、靱性確保の為に焼き戻し熱処理条件の確立をすべきであるが、今回の実験ではSUS 440C マルテンサイト系ステンレス鋼金属については検討できなかった。

4.3 肉盛層の耐磨耗性

肉盛層の機械的性質の評価法の一つとして磨耗試験を用いた。磨耗試験として、すべり磨耗試験に属する大越式磨耗試験法を採用した。半径 r 及びその厚さ B の基準回転円板を試験片に押しつけ、試験材を磨耗させた。基準回転円板はSKD11の材質で硬度HRC58に熱処理したものである。表面より h の深さまで磨耗した時の磨耗痕の幅を b_0 、最終荷重を P_f とする。この時の、比磨耗材の相手材に対する磨耗特性を示す比例定数、これを比磨耗量 Ws と呼び、以下の式によって表される。

$$Ws = B^3 \cdot b_0 / 8 \cdot r \cdot P_f \cdot L \quad (L: \text{摩擦距離})$$

摩擦圧力と基材移動速度は一定とし、回転数を800、1600rpmとして肉盛法試験材を用いた。

磨耗試験の結果をまとめて、図6に示す。肉盛材としては、SUS 440C マルテンサイト系ステンレス鋼、DEX 40 粉末ハイス、および溶製ハイス MH85である。この結果、磨耗リングの相対速度の低い場合は試験材の温度上昇も少なく、3者とも同程度の磨耗特性を示す。しかし、磨耗リングの相対速度が増大するにつれて粉末ハイス DEX 40、溶製ハイス MH85の順に磨耗性の劣化が少ない。

また、SUS 440C マルテンサイト系ステンレス鋼肉盛層の磨耗性試験結果によると、肉盛材回転数の低い方が耐磨耗性が良好であることが分かった。この結果と前述した回転数が低いほど、硬度が高くなる傾向と一致する。磨耗試験の結果中に、耐磨耗性が最も良好な

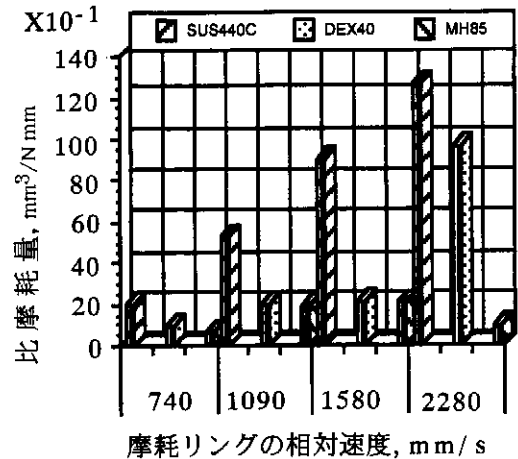


図6 各種肉盛り金属の大越式磨耗試験結果

75MPa/ 800rpmで肉盛した試験片と最も耐磨耗性の劣る50 MPa/ 1600 rpm肉盛条件の磨耗試験片の磨耗痕の箇所断面組織を調べた結果、75 MPa/ 800 rpmの場合、磨耗痕周辺部で結晶粒や炭化物がマトリクスのもとと比べると、ほとんど変化しなく肉盛したまま微細化な状態になっている。そのため、磨耗試験の際に、磨耗材が接触箇所の結晶粒や炭化物はマトリクスから剥離しにくくなっていると思われる。一方、50MPa/ 1600rpmで肉盛した場合、磨耗痕周辺部に磨耗試験中に生じた大きな熱影響部が観察された。この熱影響部で結晶粒が粗大化した現象が認められ、磨耗試験の際に、粗大化した結晶粒がマトリクスから剥離しやすくなり、耐磨耗性は悪くなったと考えられる。

5 肉盛金属の切削特性評価

肉盛層の評価法の一つとして本多式切削試験を用いた。本試験法は、試作した工具刃を固定し、400枚の西洋紙束を750gfの加重で刃先に接触させ横方向に一往復させて切断した紙の枚数を数えるもので50回の繰り返しを実行する。

この試験に先立って、図7に示す要領で試験用の工具刃を作製した。すなわち、(A)に示す段差付きの軟鋼板にSUS 440C マルテンサイト系ステンレス鋼を摩擦肉盛した。その後、(B)に示す形状に切り出し、最終的に本多式切削試験用刃に仕上げた。工具刃は、摩擦肉盛したままと、焼き入れ焼き戻しの熱処理をしたものの2種類を準備した。熱処理は表面脱炭を防止するため真空中での処理とした。焼き入れ温度は、600℃から850℃まで段階的に上げ、焼き割れ防止をした。焼き戻しは、温度を180℃の熱処理1と520℃の熱処理2の2種類とし、保持時間はそれぞれ1時間である。

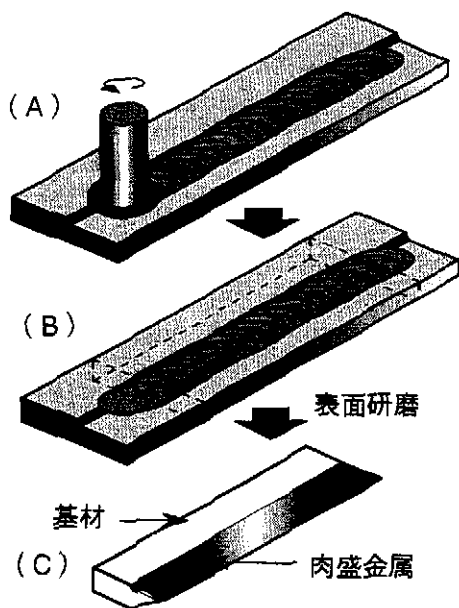


図7 本多式切削試験用工具刃の作製手順

本多式切削試験を用いて肉盛層の評価した結果を図8に示す。図の縦軸は、400枚の西洋紙束のうち切断した枚数を、横軸は試験回数を示したものである。

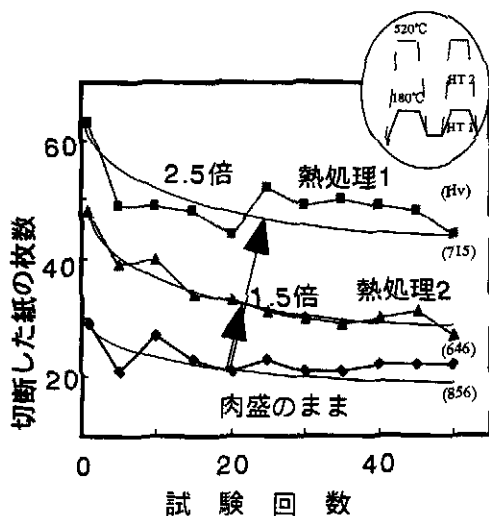


図8 本多式切削試験による摩擦肉盛層の特性評価結果

この結果、肉盛のままでも切断枚数はある程度保証されるが、焼き入れ焼き戻しした場合は、その能力は1.5ないし2.5倍程度にまで向上する。とくに、低温焼き戻しした場合はその傾向が顕著である。刃先の硬度は、摩擦肉盛のまま、856Hvであるのに対して、熱処理した場合は646Hvないし715Hvとやや低下しているが、逆にいえばそれだけ靱性が向上していることを示唆している。なお、50回程度の切断試験後、刃先にはごく小さい刃欠けが認められた。刃欠けの程度は、熱処理した場合には減少する傾向があるが、定量的な取り扱いが困難であった。

5. 結論

本研究は、摩擦肉盛により作製した工具刃の切削試験を実施すると同時に、摩擦肉盛の実験条件と肉盛層の性質の関係を系統的に調べ、明らかにした。以下の結論が得られた。

(1) 摩擦肉盛により作製した工具刃の切削試験から、肉盛したままより、焼き入れ焼き戻しの熱処理を施した方が切断能力の大幅な改善ができた。

(2) 摩擦肉盛において、肉盛材の定着率は肉盛材の回転数に依存する。回転数が低いほど定着率が高くなる傾向が認められた。この原因として、肉盛の際に、回転数の上昇とともに肉盛材と基材との接触面積が減少する結果、基材への金属提供量が減少したため、肉盛の定着速度が低下したものと思われる。

(3) 肉盛層の厚さ及び幅は肉盛材の回転数に依存する。すなわち、一定の摩擦圧力の場合、回転数が増加するにつれて、肉盛層の厚さが減少し、幅も狭くなる。また、一定の回転数の場合、摩擦圧力の増加にともない、肉盛層の厚さが薄くなり、幅も広くなる。その結果、摩擦圧力50MPaの場合、肉盛層の断面積は最大に達した。

(4) 肉盛層の硬さも回転数に依存することが認められた。すなわち、回転数が低いほど、肉盛層の硬化する。特に界面付近の肉盛材側に著しい硬化現象があった。

(5) 肉盛層の耐摩耗性の測定を行った結果、肉盛材の回転数が低いほど、耐摩耗性が良好であることがわかった。この傾向は、肉盛層の硬さの増加または、肉盛層の結晶粒径と相関がある。

6 参考文献

- 1) W. M. Thomas: Surface Engineering Conf. '85., Vol.3, Paper 49, (1985), 261.
- 2) S. B. Dunkerton et al: 2nd Int. Conf. on Surface Engineering, Paper 45, June (1987), Stratford upon Avon, 375.
- 3) 深草、佐藤: 溶接学会誌, 50 (1981), 953.
- 4) E. D. Nicholas et al: Welding Journal, 65 (1986), Aug. 17.
- 5) 篠田ら: 溶接学会論文集, 13 (1995), No.3, 432.
- 6) 深草: 溶接学会論文集, 14 (1996), No.3, 483.
- 7) T. Shinoda et al: Surface Engineering, 14 (1998), 211.

本研究を支えていただいた、天田金属加工技術振興財団に深甚なる謝意を表します。また、名古屋大学工学研究科技術員室には、治具製作等で協力を得た。記して謝意を表します。