

NiCr-WCレーザクラディング層のトライボ特性

埴淵 輝夫*, 米谷 英治*, 佐藤 悌介**, 小林 稔典**

Teruo Hanibuchi, Eiji Maitani, Teisuke Sato, Toshinori Kobayashi

抄 録

新しく考案された、円柱交差型摩耗試験機（トライボメーター）を用い、NiCr自溶合金粉末とWC粉末の混合粉末をクラディング材としてレーザクラディングにより作成した改質層の耐摩耗性について検討した。WC粉末の混合量を増加させると表面改質層の硬度が上昇し摩耗量も減少した。

1 緒 言

近年、工具材料の使用環境がますます厳しくなる中で、工具材料の高機能化の要求が高まっている。そのため、工具表面に、耐摩耗・耐食・耐熱性等の機能を持った材料を付加する表面処理技術が検討され、いくつかの技術は実用化されている。

また、その表面改質層を評価する技術も多く研究され実用化されている。

本研究では、新しく考案された、円柱交差型摩耗試験機（トライボメーター）を用い、TiN等の表面処理材において非常に摩耗が多いといわれている銅を相手材にし、レーザクラディングにより作成した改質層の耐摩耗性について検討した。

2 実験方法

2・1 クラディング層の作成

2・1・1 基 材

基材は、長さ100mm、幅90mm、厚さ25mmの一般用構造鋼板（SS400）を使用した。その機械的性質を表1に、化学組成を表2に示す。

表1 基材の機械的性質

Yield point Mpa	Tensile strength Mpa	Elongation %	Hardness HV
296.5	433.1	35.4	250

表2 基材の化学組成（wt%）

C	Si	Mn	P	S
0.15	0.21	0.59	0.025	0.037

2・1・2 クラディング材

クラディング材は、NiCr自溶合金粉末(NiCr)にWC粉末を10%wt（WC-10）、30%wt（WC-30）および50%wt(WC-50)を混合した粉末を使用した。

使用したNiCr粉末およびWC粉末の化学組成を表3に示す。

表3 クラディング材の性状および化学組成

Powder	Particle size (μm)	Chemical composition (wt%)
NiCr	45~125	Cr : 10.0 B : 2.5 Fe : 2.5 Si : 2.5 C : 0.15 Ni : bal
WC	0.81	WC : >99.8 T.C : 0.13 F.C : 0.12 N.V.R : <0.02 Fe : <0.03 Mo : <0.02

2・1・3 供試材の塗布方法

混合したクラディング材をバインダー溶剤（酢酸セルロース：10g、エタノール：10cc、塩化メチレン：90cc）でペースト状にして、基材表面に、幅5mm、約3mmの厚さに塗布した。

2・1・4 クラディング加工

クラディング加工は炭酸ガスレーザ加工機を用い、レーザ出力：1 kW (CW)、基材移動速度：0.2 m/min、焦点外し距離：20mm、アシストガスにArを用いた。表4に本実験で使用したレーザ照射条件を示す。

表4 レーザ照射条件

Laser power	1 kW (CW)
Traveling Speed	0.2m/min
Defocused Distance	20mm
Assist gas	Ar

2・2 クラッド層の硬さ試験

2・2・1 ビッカース硬さ試験

クラッド層の表面硬さおよび層表面－基材間の硬さは、図1に示す位置をマイクロビッカース硬さ試験機で試験加重0.49Nとし、50 μ m間隔でビッカース硬さを求めた。

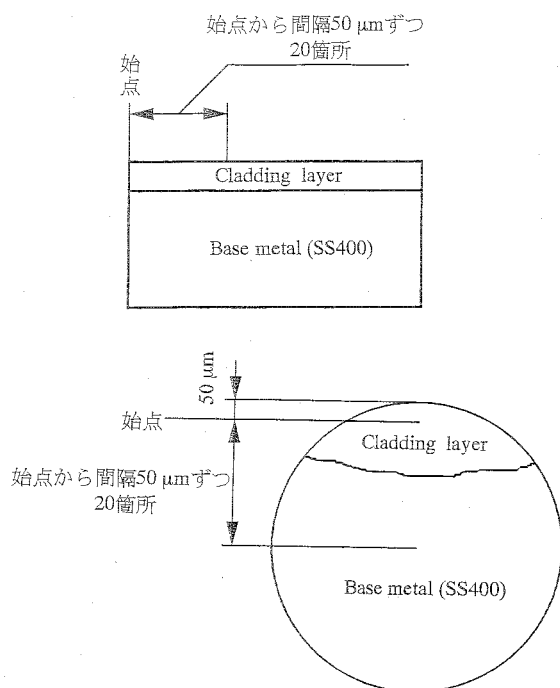


図1 クラッド層の硬さ測定

2・3 円柱交差型摩耗試験機を用いたクラディング層の摩耗試験

2・3・1 円柱交差型摩耗試験機 (トライボメーター)

図2、3に本実験で、摩耗試験に使用した円柱交

差型摩耗試験機 (トライボメーター) の概略図および写真を示す。トライボメーターは、盤上に取りつけた相手材に対し円柱状の試験片を押し込み滑らせる、クロスシリンダー摩耗試験法を行う装置であり、試験片に送りをかけ、常に相手材の新しい面を滑るFeed typeと送りをかけず相手材の同じ面を滑るFixed typeの摩耗試験が行える。円柱状相手材に対し直交する形で円柱状試験片を押し込むこの方式では、摩耗が正常に行われる限り、最大摩耗は摩耗痕中央部で起こり薄い処理膜の場合非常に有効である。平行加重は、ばねの力で一定にかかるようになっている。試験機のフォルダー部にセンサーを取り付け摩耗試験時の水平加重と垂直方向への加重を測定できる。

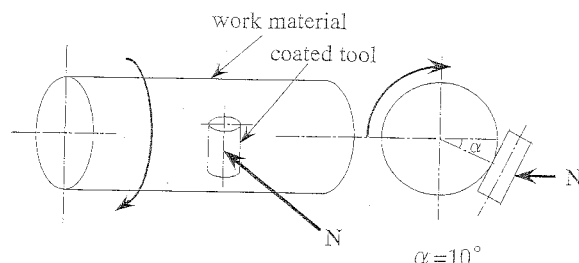


図2 実験装置概略図

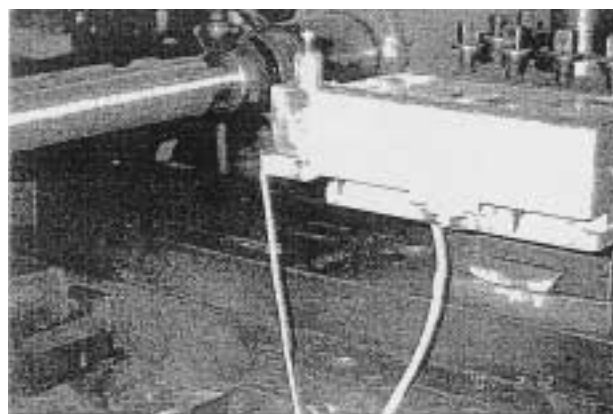


図3 装置写真

2・3・2 トライボメーターによる摩耗試験方法

トライボメーターによる試験片の耐摩耗性の評価は次のように行った。

あるすべり距離間隔で摩耗試験を実施し、摩耗深さを表面粗さ計等で測定し、一定すべり距離を上限に処理膜が全て摩耗するか凝着が現れるまで繰り返す。表面処理皮膜の摩耗特性を扱うときは摩耗深さが膜厚に達するまでが表面処理層としての有効性をもつという意味から摩耗が膜厚に達するまでの滑り

距離を有効滑り距離と呼ぶことにする。しかし、膜厚は試験片によって様々であるため次式に示す評価関数を導入する。

$$\lambda = \delta / (PN \times L) \quad 0 \leq \delta \leq t \quad (1)$$

δ ：最大摩耗深さ

t ：膜厚

PN ：押し付け力

L ：滑り距離

そこで、最大摩耗距離が膜厚に達したとき式(1)は、

$$\lambda_m = t / (PN \times L_0) \quad (2)$$

L_0 ：有効滑り距離

となり、 λ_m を表面処理膜が効果的に働く間の平均摩耗速度を表すと言う意味で有効平均摩耗速度と呼ぶことにした。有効平均摩耗速度は単位加重、単位長さあたりの摩耗量を示すことができるので、この値が小さいほど耐摩耗性が優れていると言える。また、焼結体等の評価を行う場合は、滑り距離を決め（たとえば滑り距離1000m）その時点で（1）式より λ を計算し λ_m の代わりに用いている。

2・3・3 トライボメーターによる 摩擦係数の測定方法

トライボメーターによる試験時の見かけの摩擦係数は次のように行った。

びり振動を防止するために試験の際に相手材と試験片は、図4に示すように角度をつけ接している。測定された水平加重 N と垂直加重 T より次式から簡単に押し付け力 PN および接線力 PT を計算でき

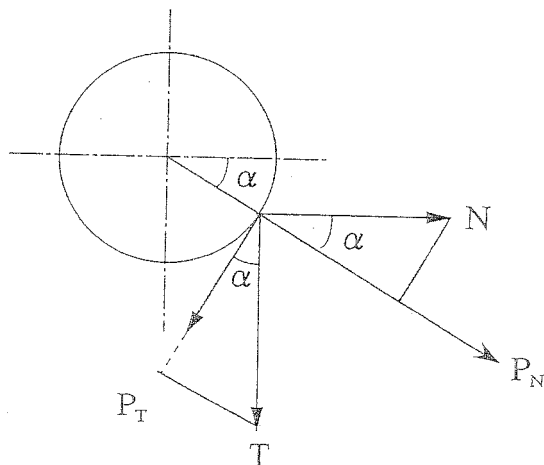


図4 試験片傾き角度 α の時の力の関係

これから摩耗試験時の見かけの摩擦係数が測定できる。

$$PN = T \sin \alpha + N \cos \alpha$$

$$PT = T \cos \alpha - N \sin \alpha \quad (3)$$

2・3・4 摩耗試験条件

トライボメーターを用いた摩耗試験には円柱形状の試験片が必要となるため、作成した皮膜を図5のように切り出し使用した。

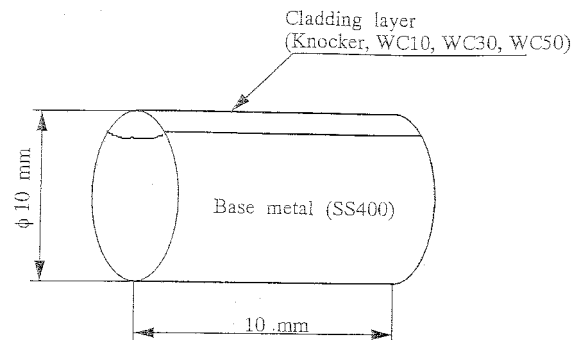


図5 摩耗試験片

摩耗試験条件は、無潤滑、相手材：Cu、送り速度：1.0m/s、加重：3Nの条件で滑り距離：3000mまで150m刻みで摩耗試験を行い摩耗試験中の見かけの摩擦係数を測定し、滑り距離300m刻みで摩耗深さを測定した。

試験条件を表5に示す。

表5 摩耗試験条件

相手材	Cu
試験片	NiCr, WC10, WC30, WC50
滑り速度	1.0m/s

3 実験結果及び考察

3・1 硬さ試験

クラッド層表面の硬さ分布を図6に示す。SS400及びNiCrの測定結果は、ばらつきも少なくSS400で約HV200、NiCrで約HV約400程度であった。WC-10で、平均硬さ約HV700、WC-30で平均約HV800、WC-50で平均約HV900であった。しかし、WC粉末の混合量が増加すると測定結果にばらつきが見られ、WC-50では、HV598～HV1362とばらつきがかなり大きいものとなった。

WCのビッカース硬度はHV2600～HV2760¹⁾程度

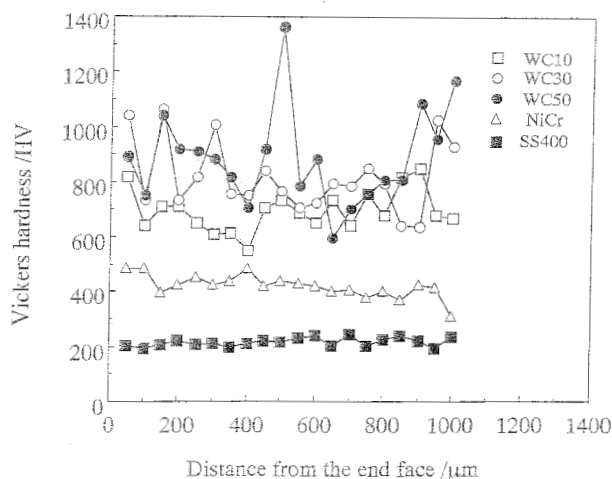


図6 クラッド層の硬さ分布

であるといわれている。したがって、WC粉末を50%以上混合したクラッド材を使用すればさらに硬いクラッド層を得ることが可能である。さらに炭化物の分散がより均一になると考えられ、硬度のばらつきが少ないクラッド層が得られると考えられるが、本実験で使用したレーザ加工装置の能力ではWCの混合量が50%を超えると良好なビードが得られず、また、切削加工時微細な割れが多数発生するなど、多くの問題が生じる。

クラッド層断面の硬さ分布を図7に示す。

クラッド層の硬さは、表面近傍が最も硬く、層表面からの距離が大きくなるほど徐々に低下している。

WC粉末の混合量が増加すると硬度が上昇し、WC30とWC50のクラッド層の硬さはHV865, HV946と高い値を示した。一般にWC粉末の混合量が多いほど表面の硬度は上昇するといわれている²⁾

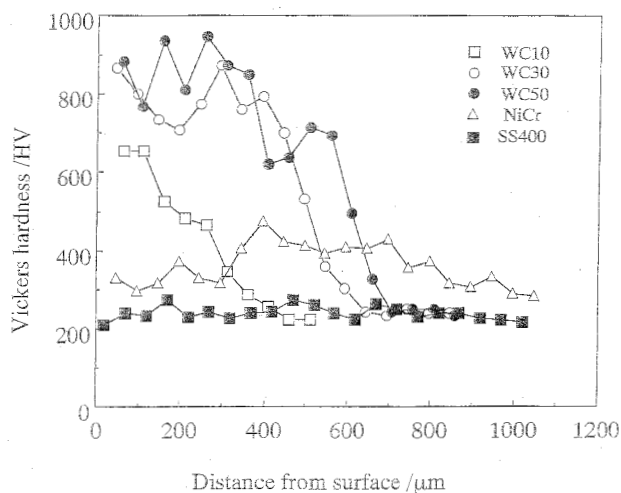


図7 クラッド層断面の硬さ分布

が、両者の硬度の値にあまり変化は見られなかった。これはレーザの出力が低いためWC粉末が十分溶融しなかったためと考えられる。

3・2 銅に対する表面改質材の摩耗特性

図8に、各表面改質皮膜の滑り距離に対する最大摩耗深さの関係を示す。

各試験片とも滑り距離の増加に伴い最大摩耗深さが増加している。増加の割合は、基材とNiCrでは、ほぼ同程度で、WCの混合量の増加に伴い減少している。最大摩耗深さは、WC混合量の増加に伴い減少し、WC50の場合、滑り距離3000mで基材の約1/5程度であった。

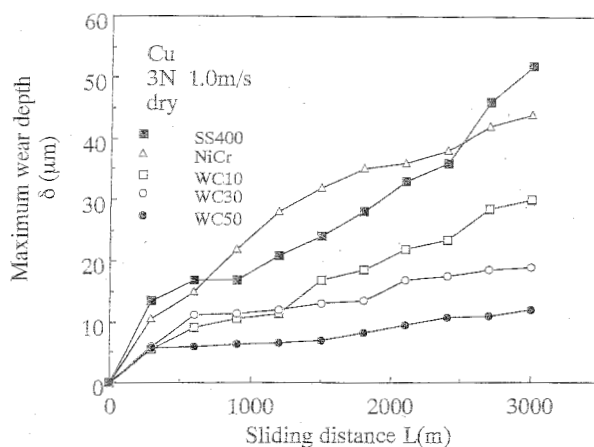


図8 銅—各試験片の最大摩耗深さと滑り距離の関係

図9に各試験片の有効摩耗速度を示す。

有効平均摩耗速度は、WCの混合量が多い試験片ほど遅く、WC50で基材の1/5～1/6程度であった。よって、WC混合量が多い試験片ほど耐摩耗性に優れていることを示している。

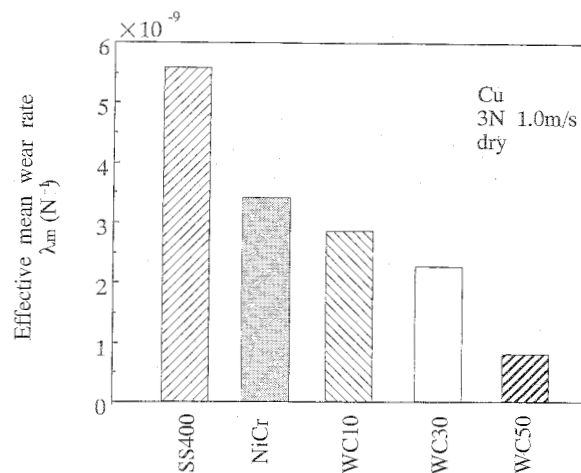


図9 銅—各試験片の平均有効摩耗速度

図10に各試験片の見かけの摩擦係数を示す。

WC10, WC30ではNiCrや基材よりも大きい値を示し、WC50では低い値を示した。耐摩耗性を向上させる手段として摩耗面を硬化させること、ならびに相手材との凝着が起こりにくい物性を持った表面改質層を形成させることが効果的である。WC等の炭化物層を持つ鋼の耐摩耗特性は、相手材との凝着を抑制する効果と炭化物の硬さに依存すると考えられ、特に後者の影響が大きいと考えられる。

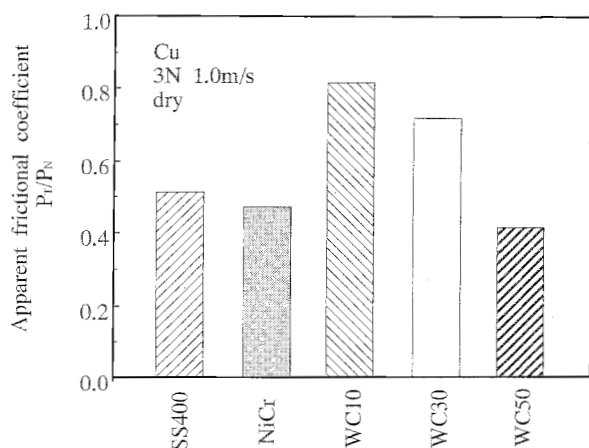


図10 銅—各試験片の見かけの摩擦係数

3・3 滑り速度の影響

WC30の滑り速度を0.25m/s, 0.5m/s, 0.75m/s, 1.0m/sにしたときのそれぞれの有効平均摩耗速度, 見かけの摩擦係数をそれぞれ図11, 図12に示す。

有効平均摩耗速度は、滑り距離が0.25m/sの時、最も高い値を示し、滑り速度を上げていくと有効平均摩耗速度が減少している。したがって、滑り速度が低速の場合摩耗量が多くなることを示している。

見かけの摩擦係数はあまり変化がなかった。

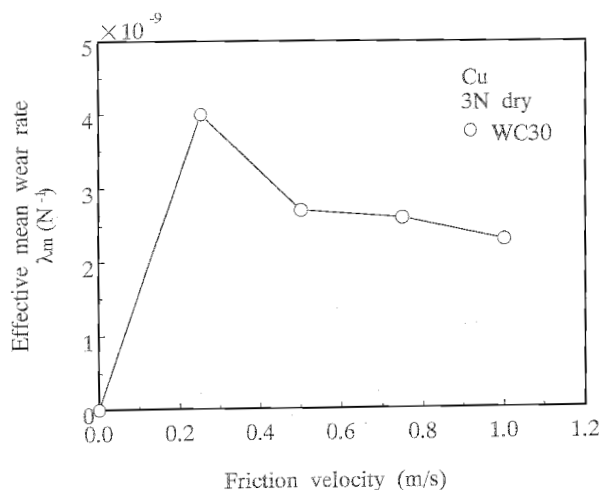


図11 銅—WC30の有効平均摩耗速度

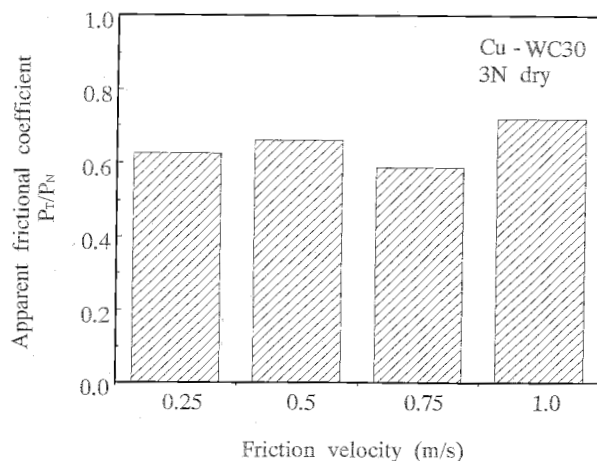


図12 銅—WC30の見かけの摩擦係数

4 まとめ

基材 (SS400) 表面にNiCr粉末とそれにWC粉末を混合してクラディング材を用いて作成した表面改質膜の硬さ試験・耐摩耗性について本実験によって得られた結果を以下に示す。

- 1) WC粉末は、クラッド層の硬さに大きな影響を及ぼし、混合量が増加するに伴い硬さは増大する。
- 2) クラッド層の平均有効摩耗速度は、WC粉末の混合量が増加するに伴い顕著に減少する。また、摩耗量も少なくなり耐摩耗性が向上する。特にWC50は、最も摩耗量が少なく、耐摩耗性に優れていた。
- 3) WC30試験片に対し、滑り速度を変化させ摩耗試験を行ったところ、有効平均摩耗速度は低速側で高い値を示し、耐摩耗性が悪くなっていた。

参考文献

- 1) 丸井 悦男；超精密加工学（コロナ社）
- 2) 埴淵 輝夫；炭酸ガスレーザによる表面改質技術 —レーザクラディングに関する研究—（徳島県立工業技術センター）