

レーザー粉体肉盛法を用いた超硬合金の層形成技術開発

山下順広* 舟田義則* 塚本雅裕** 阿部信行**

プレス金型や治工具の低コスト化のため、必要な領域に超硬合金を付加する技術が求められている。そこで本研究では、原料粉末を供給した箇所にレーザーにより熔融・固化させることで表面に金属層を部分的に形成することができるレーザー粉体肉盛法(Laser Metal Deposition)を用いて、鋼製基材上に超硬合金の層形成を試みた。実験の結果、層の成分が基材に希釈されることなく超硬合金の性能を保持した層の形成が可能となった。しかし、層内部には亀裂や空隙が多数含まれていた。そこで、空隙の低減方法を検討した結果、Ni基自溶性合金の添加が有効であると判明した。また、基材と超硬合金との間に超硬合金の主成分である炭化タングステンの含有率を低くした中間層を挿入することによって、亀裂の発生を抑制できることが明らかとなった。

キーワード：レーザー粉体肉盛法，超硬合金，Ni基自溶性合金，空隙，亀裂

Development of a Cemented Tungsten Carbide Layer Formation Technology Using Laser Metal Deposition

Yorihiro YAMASHITA, Yoshinori FUNADA, Masahiro TSUKAMOTO and Nobuyuki ABE

In order to reduce the cost of press dies and jigs, it is important to develop a layer formation technology for adding cemented tungsten carbide to a required area. In this study, a layer of cemented tungsten carbide was formed on a steel substrate using laser metal deposition (LMD), which is capable of forming layers on partial areas of a substrate surface by melting supplied powders using laser heating. As a result, it was shown that it was possible to form a layer that maintained the performance of the cemented tungsten carbide, without dilution. However, many pores and cracks tended to occur inside the layer. To reduce the number of pores, adding a Ni-based self-fluxing alloy to the cemented tungsten carbide powder was found to be effective. It was also shown that the occurrence of cracks inside a layer could be suppressed compared to a layer with uniform composition by inserting an intermediate layer with a low tungsten carbide content between the substrate and cemented tungsten carbide.

Keywords : laser metal deposition, cemented tungsten carbide, Ni-based self-fluxing alloy, pore, crack

1. 緒 言

プレス金型や治工具には、摩耗による寸法変化を防ぐために高硬度な超硬合金が使用されているが、高価な材料であるため金型や治工具の製作費用が高くなるという問題がある。低コスト化には、金型や治工具の大部分に材料費の低い工具鋼を用い、耐摩耗性が必要な部分にのみ超硬合金を付与することが望ましい。また、超硬合金製のプレス金型や治工具が摩耗や破損した場合、その部分に超硬合金を付加できれば破棄することなく再利用可能となり、製造コストの削減につながる。超硬合金を付与する従来技術としては、溶射があり、広範囲な層形成に有効な技術であるが、金型などの微小部位へは適さない。以上のことから、超硬合

金を微小かつ部分的に付加する技術が求められている。

一方、微小部位に金属層を形成する技術として、レーザー粉体肉盛法¹⁾(以下、LMDと示す)が最近注目されている。これは、金属層の形成が必要な箇所に原料粉末を供給しながら、同時にレーザーにより熔融・固化させることで基材表面に金属層を部分的に形成する方法である。この方法の原料に超硬合金粉末を用いることによって部分的な超硬合金層の形成が期待できる。

そこで本研究では、LMD装置を用いて、超硬合金の層形成の可能性について検討した。

2. 実験方法

2. 1 直噴型LMD装置

実験には、図1に示すように基材に対して垂直に原料粉末を供給し、斜め方向から複数のレーザー光を照射

*機械金属部 **大阪大学接合科学研究所

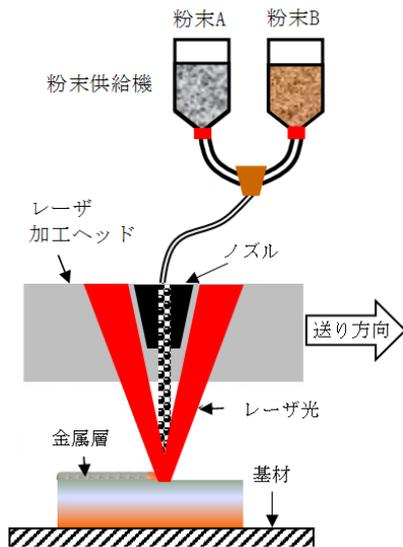


図1 直噴型LMD装置の概要

して層形成を行う直噴型LMD装置を用いた²⁾。以下に、装置の概要を示す。

同装置に搭載のレーザ加工ヘッド内には、その中心軸に口径 $\phi 0.3\text{mm}$ のノズルが設置され、そこから原料粉末がアルゴンガスによって基材表面に垂直に噴射供給される。また、斜め方向から照射するレーザ光には、波長 915nm の近赤外半導体レーザ光を6本使用し、原料粉末供給ノズルと同軸上の1点に集光されている。この位置での集光径は、 $\phi 0.28\text{mm}$ であり、集光部での最大出力は 300W である。

また、本装置は、2台の粉末供給機を使用することで2種類の原料粉末を同時に供給可能であり、各粉末の供給量を変えることにより混合割合の異なる層を連続的に積層できる。

2.2 ビード形成

直噴型LMD装置を用いて、炭化タングステン(以下、WCと示す)とコバルト(以下、Coと示す)の複合材料である超硬合金粉末を原料としたビード形成の実験を行った。実験には、平均粒径 $30\mu\text{m}$ のCo-64wt%WC(超硬合金粉末A)を用いて、鋼製基材上に直線形状のビードを形成した。このとき、粉末供給量が一定の下、レーザ光出力を $90\sim 150\text{W}$ に、送り速度を $5\sim 20\text{mm/s}$ に変えて実験した。ビード形成後には、デジタル金属顕微鏡(オリンパス(株)・GX71 DP73)を用いて、ビードの中央断面における基材表面からのビード高さ、幅および基材への溶け込み深さを測定した。

2.3 皮膜形成

長さ 10mm のビードを横方向に 0.2mm ずつずらしながら繰り返し形成し、 $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ の面状に層を形成する実験を行った。原料粉末には、2.2節に用いた超硬合金粉末Aと、平均粒径 $30\mu\text{m}$ のCo-88wt%WC(超硬合金粉末B)に平均粒径 $30\mu\text{m}$ のNi基自溶性合金粉末を混合しWC含有率を $64\text{wt}\%$ とした粉末(Ni添加超硬合金粉末)の2種類を用いた。レーザ条件は、レーザ光出力 120W 、送り速度 10mm/s とした。形成した層について、2.2節同様のデジタル金属顕微鏡を用いて断面観察を、マイクロビッカース硬さ試験機((株)ミツトヨ・HM-220D)を用いて硬度測定を行った。

2.4 多層超硬合金層の形成

超硬合金粉末Bと平均粒径 $30\mu\text{m}$ のNi基自溶性合金粉末を、2つの粉末供給機にそれぞれ投入し、層中のWC含有率が1層目 0% 、2層目 50% 、3層目 88% となるように各粉末の供給量を制御しながら積層する実験を行った。このとき層の形成は、2.3節同様に $10\text{mm}\times 10\text{mm}$ の面を形成し、その面を厚み方向に 0.1mm ずつ積層した。レーザ条件は、レーザ光出力 120W 、送り速度 10mm/s とした。

3. 結果および考察

3.1 ビードの形状

レーザ光照射条件に対する形成したビードの高さ、幅および溶け込み深さへの影響をそれぞれ図2から図4に示す。各プロットの値は、3回の実験の平均値である。レーザ光出力が大きく、送り速度が遅いほど、レーザの投入エネルギー量は大きくなり、それに対応してビードの高さや幅は増加した。また、溶け込み深さ

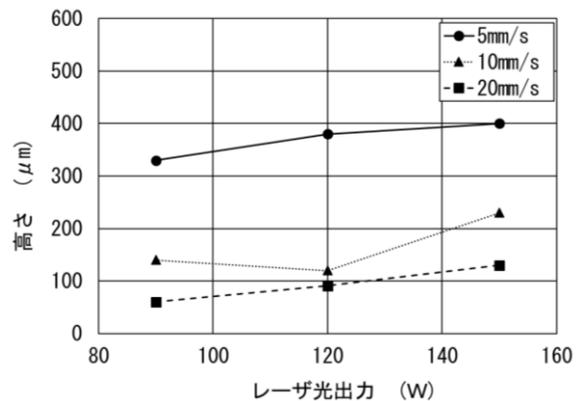


図2 レーザ条件とビード高さの関係

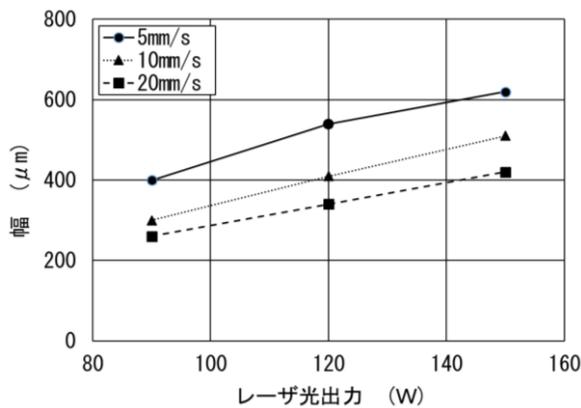


図3 レーザ条件とビード幅の関係

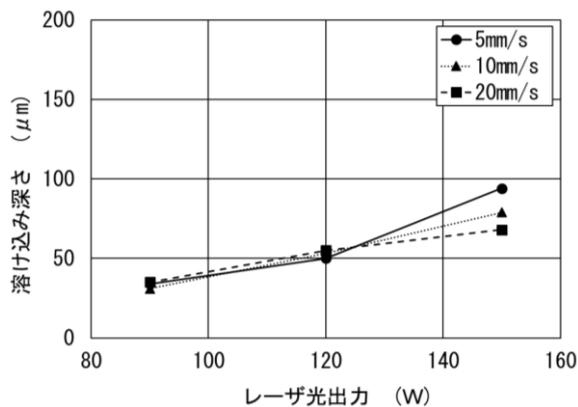


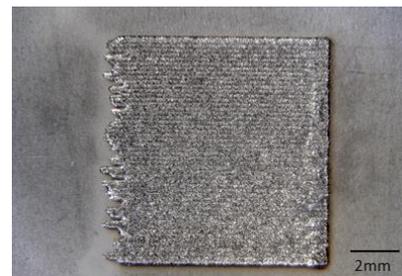
図4 レーザ条件と溶け込み深さの関係

は、レーザー光出力の増加とともに深くなった。一方、送り速度の違いによる変化は120Wまでは少なく、150Wになると遅いほど溶け込みが深くなる傾向を示した。

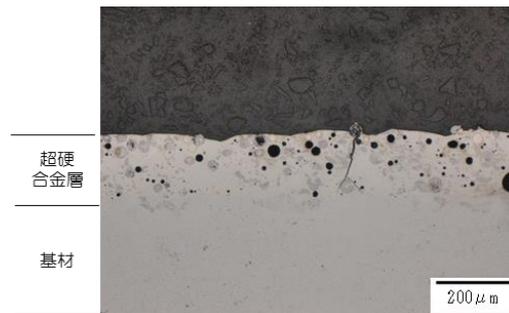
3. 2 皮膜の評価

超硬合金粉末Aを用いて面状に形成した層の外観写真およびデジタル金属顕微鏡を用いて撮影した断面画像を図5(a)および図5(b)に示す。また、図5(b)の断面において押し込み荷重0.98Nとし硬度測定を行った結果を図6に示す。図5(a)の外観写真から隙間なく面形成できていることが確認できる。また、図5(b)の断面観察から層の厚さが150μm程度であり、硬度は表面から基材との境界付近まではほぼ一定のHV1100程度であった。これは焼結により製作した超硬合金の硬度³⁾と同等であることから、薄層でも超硬合金の性能を保持した層の形成が可能といえる。

一方、図5(b)の断面画像から、超硬合金層中において数多くの空隙（黒色部分）が存在した。空隙が発生



(a) 外観写真



(b) 断面画像

図5 超硬合金層の観察結果

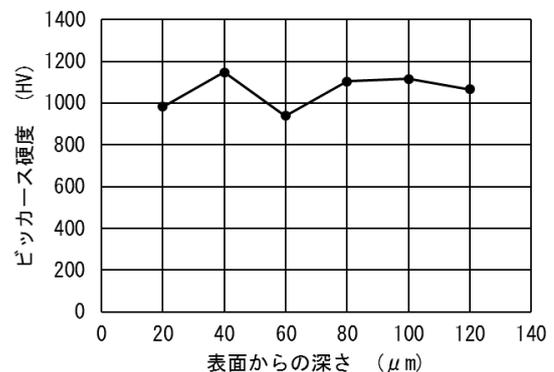


図6 ビッカース硬度測定結果

する一因としては、実験に用いた超硬合金粉末が内部に隙間を多く含む造粒粉であり、粒中に大気ガスを大量に含んでいたためと考えられる。また、超硬合金粉末に含まれるWCが高温になると炭素が分離し、周囲の酸素と結合した炭酸ガスが発生する^{4),5)}。したがって、空隙は、これらガス成分が層形成中に内部に残留したことが要因として考えられる。

さらに、層中には亀裂も発生している。亀裂の発生は、硬脆な超硬合金層と鋼製基材との熱膨張係数の差による熱応力の発生が一因と推察される⁶⁾。

これら空隙および亀裂は、強度低下の要因となるため、実用化の上ではこれらを低減するための検討が

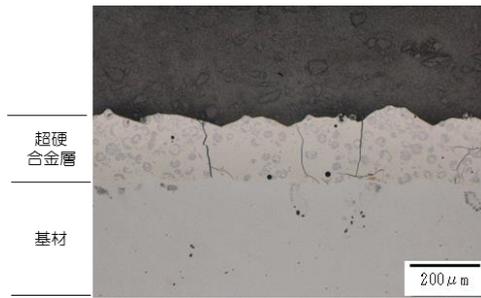


図7 Ni基自溶性合金添加の超硬合金層の断面画像

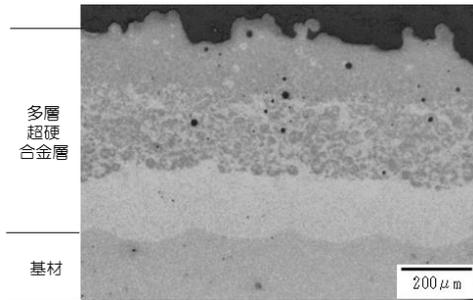


図8 多層超硬合金層の断面画像

必要である。

3. 3 Ni基合金添加による空隙の低減効果

Ni添加超硬合金粉末を用いて面状に形成した層のデジタル金属顕微鏡による断面の観察結果を図7に示す。図5(b)で示した超硬合金層に比べ、Ni基自溶性合金を添加して形成した超硬合金層では、層中の空隙が大幅に減少している。超硬合金粉末にNi基自溶性合金粉末を混合することで、熔融部の粘性が下がり発生するガスの放出が促進されたと推察される。よって、空隙の低減にはNi基自溶性合金を添加することが有効であると考えられる。

3. 4 中間層挿入による亀裂の抑制効果

超硬合金粉末BにNi基自溶性合金粉末を混合し、WC含有率を変化させた多層超硬合金層の断面観察の結果を図8に示す。基材に直接WC含有率の高い超硬合金層を形成したときに比べ、大きな亀裂は認められなかった。これは、基材と超硬合金層の間にWC量を減らした延性の高い中間層を挿入したことにより基材との応力が緩和され、亀裂の発生が防止できたためと考えられる。よって、亀裂の抑制には、WCの含有率を低くした中間層の挿入が有効であった。

4. 結 言

本研究では、直噴型レーザー粉体肉盛装置を用いて鋼製基材上に超硬合金の層を形成する実験を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1)形成した150μm程度の超硬合金層は、表面から基材との境界付近まで硬度がほぼ一定のHV1100程度であり、薄層でも超硬合金の性能を保持した層の形成が可能であった。しかし、層中において空隙や亀裂の発生が認められた。
- (2)空隙の低減には、超硬合金粉末にNi基自溶性合金を添加することが有効であった。また、基材と超硬合金層の間にWCの含有率を低くした中間層を挿入することにより、亀裂の発生が抑制された。

謝 辞

本研究の一部は、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「革新的設計生産技術」(管理法人：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO))の「高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発」により実施されたものである。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) D.Bartkowski A.Bartkowska,. Wear resistance in the soil of Stellite-6/WC coatings produced using laser cladding method. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2017, Vol.64, p.20-26.
- 2) 山下順広, 舟田義則, 廣崎憲一, 根田崇史, 村谷外博, 塚本雅裕, 阿部信行. レーザ粉体肉盛法による微細造形技術の開発. 石川県工業試験場研究報告. 2016, no. 65, p. 5-8.
- 3) 谷口友秋, 宮本猛, 齊藤茂, 西田匡志. 超硬合金の切削におけるWC粒子径およびCo含有量の影響. 神戸市立工業高等専門学校研究紀要. 2010, Vol. 48, p. 19-24.
- 4) C.Lee, H.Park, J.Yoo, C.Lee, W.C.Woo, S.Park. Residual stress and crack initiation in laser clad composite layer with Co-based alloy and WC + NiCr. Applied Surface Science,2015, Vol. 345, p. 286-294.
- 5) 田村武夫, 山田仁. 酸化現象を利用した超硬合金放電加工面の改質. 精密工学会誌. 1999, Vol. 65, No.10, p. 1502-1506.
- 6) 落合宏. WC-Ni超硬合金の溶接残留応力に関する研究. 北海道大学. 2006, 105p, 博士論文.