

高性能厚膜材料の開発とその接合技術に関する研究（3）

機械電子・金属材料担当 所 敏夫

WC-低 Co と鉄系母材との粉末接合により高硬度かつ高靱性の厚膜材料を開発することが目的である。今回は母材／中間層(WC-高 Co)／厚膜素材(WC-低%Co)接合の改良および大型化について放電プラズマ焼結法を用い検討した。

その結果、WC 粉末粒径を $5 \rightarrow 0.4 \mu\text{m}$ とすることにより、WC-10%Co 材においても 1700HV 程度の高硬度化が図れた。また母材／厚膜接合および母材／母材接合を行うことにより $\phi 30$ -長さ 45mm 程度の大型形状の厚膜接合体の作製が可能となった。

1. はじめに

部品・装置等の材料は、使用される環境により耐熱性・耐摩耗性・耐食性・高硬度等の特性を同時に持った材料が要求されている。そのため、単一部分の各部分において使用環境に応じた特性を付加した材料を使用することが、効率的・経済的である。

超硬材料として代表的な WC-Co 材において、Co 量が多くなれば靱性が向上するが、硬度・摩耗性の向上のためには、低 Co 化が望まれる。しかし、低 Co 化は靱性を劣化させるため、使用するのは困難な場合が多いと考えられる。

そのため本研究の目的は、靱性のある鉄系材料と高硬度・耐摩耗性材の WC-低 Co とを接合させた厚膜材料を開発し、機械的強度を従来よりも向上させることにある。

今までの研究¹⁻³⁾により以下のことがわかった。WC 粉末粒径: $5 \mu\text{m}$ を用いた WC-2%Co 材と WC-10%Co 材との特性を比較した。その結果、WC-10wt%Co 材に比べ WC-2wt%Co 材は抗折力および引張強度は低下したが、硬度が高く耐摩耗特性が優れていた。また、鉄系母材／中間層(WC-40 ~ 5wt%Co, 6層)／WC-2wt%Co 傾斜機能材料について検討した。その結果、中間層を組成傾斜のみ行っても、接合は困難であり、中間

層間に Co を挿入することにより $\phi 20$ -長さ 20mm のステンレス／中間層／WC-2%Co 接合材の作製が可能となった。

しかし、課題として以下のことが判明した。

鉄系母材／中間層の接合において母材に工具鋼(SKD11)用いた場合はステンレス鋼(SUS316L)を用いた場合より接合強度が低くなった。

また、接合材をそのままの形状で使用する場合もあるが、例えば打ち抜きパンチ等を考えた場合、接合材を各種の形状に加工する必要があると考えられる。そこで、上記の接合材(厚膜部:WC-2%Co)を加工すると亀裂等が発生する場合があります安定して製品形状を作製することが困難であることがわかった。

さらに、製品の形状の多様化のため、接合材の大型化(直径拡大、長尺化)が求められている。

そこで、上記の課題に対応するため

- ・母材として工具鋼への適用拡大
 - ・厚膜部の亀裂等の抑制のため、組成等の検討
 - ・大型化(直径拡大、長尺化)
- を検討する。

2. 工具鋼／中間層 接合強度の向上

(1) 実験方法

工具鋼／中間層との接合強度の向上策について検討した。

母材として、SKD11を用い、中間層としては湿式混合したWC-100～20%Coを用い、塑性変形による応力緩和が期待できるCo^{2, 3)}をSKD11／中間層間に挿入した。

SKD11 / Co / 中間層(WC-高 Co) 2層接合は前報^{2, 3)}と同様に中間層部黒鉛型の温度を接合部のそれに比べ30～50K高温にできる温度傾斜黒鉛型を用い、真空中、加圧力29MPaおよび接合部黒鉛型温度1323K一定のもと行い、直径30mm厚～8mm(母材厚5mm, Co層0.2mm, 中間層厚3mm)の接合焼結体を放電プラズマ焼結機を用い作製した。

接合材の評価として、剪断試験により接合強度を求めた。

(2) 結果

図1にSKD11と中間層との間にCo層挿入の有無による接合強度を示す。

いずれの場合も接合界面より剥離し、母材の種類およびCo層の有無に関わらずWC量が多くなると接合強度が低下した。

注目すべきことは、母材としてSKD11を用いた場合、Co層を挿入することにより接合強度が大幅に向上したことである。

前報^{2, 3)}で述べたように、母材とWC-高Co材との線膨張係数の差がSUS316L > SKD11であり、熱膨張の差が小さいSKD11ほど内部応力が小さく接合強度が高いと予想された。しかし、母材／中間層間にCo層を挿入しない場合、母材としてはSUS316Lが最も接合強度が高くなった。これは、冷却過程において、オーステナイト系であるSUS316Lは相変態は生じず、SKD11は、200℃程度でマルテンサイト変態が起こることが連続冷却変態測定で確認されている。したがって、SKD11は、相変態による体積変化が生じることにより内部応力が増加するものと考えられる。この場合、熱膨張の差よりも相変態による内部応力の方が影響が大きく、母材としてSUS316Lの方が接合強度が高くなったものと推察される。

一方、SKD11／中間層間にCo層を挿入した場合、Co層無しに比べると接合強度は向上した。これは、冷却過程でマルテンサイト変態による内部応力が生じているものの、前報^{2, 3)}で述べたようにCo層内において塑性変形により内部応力が緩和されたものと推測される。

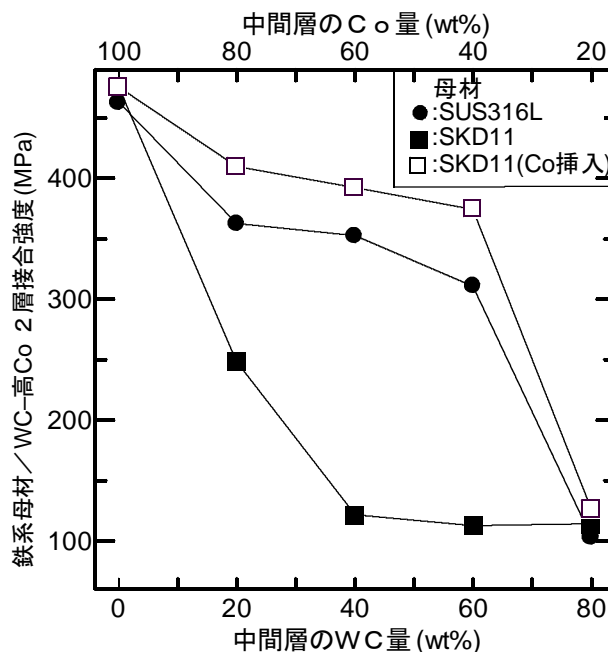


図1 母材／中間層間への純Co層挿入の効果

3. 厚膜部組成の検討

(1) 実験方法

先に述べたように、最上部の厚膜部をWC-2%Co(WC:5 μm)とするとその後の加工で亀裂等が発生する可能性があるため、その改善を検討した。

亀裂等の原因は熱膨張を緩和することが望まれる。そのため熱膨張差が少なくするためCo量を2%以上にすることが必要である。

しかし、単純に最上層を高Coにただけでは硬度および耐摩耗性の低下につながる。

そのため、微細組織による高硬度化について検討した。以前はWC粉末として粒径:5 μmを用いていたが、さらに微細な粒径:0.4 μm微細WC粉末を初原料とし、Co粉末(5 μm)と湿式混合し供試粉末とした。そして、急速加熱により

粒成長の抑制が期待できる放電プラズマ焼結機を用い昇温速度 120K/min、保持時間 10min、加圧力29MPa、真空中のもと成形体を作製し、硬度を測定した。

(2) 結果

図2に初原料の WC 粉末粒径の違いによる硬度変化を示す。

粒径 $0.4 \mu\text{m}$ の WC 粉末を用いた WC-10%Co 材の硬さは $5 \mu\text{m}$ のそれを用いた WC-2%Co 材とほぼ同等であった。図3に示すように添加 Co 量が異なっているが、初原料の微細 WC 粉末化により微細組織化が図られ、高硬度化できたものと考えられる。また前報^{1, 3)}で述べたように高硬度ほど耐摩耗性は向上したため、WC-10%Co (WC: $0.4 \mu\text{m}$)は WC-2%Co(WC: $5 \mu\text{m}$)程度の耐

摩耗性が期待できると考えられる。

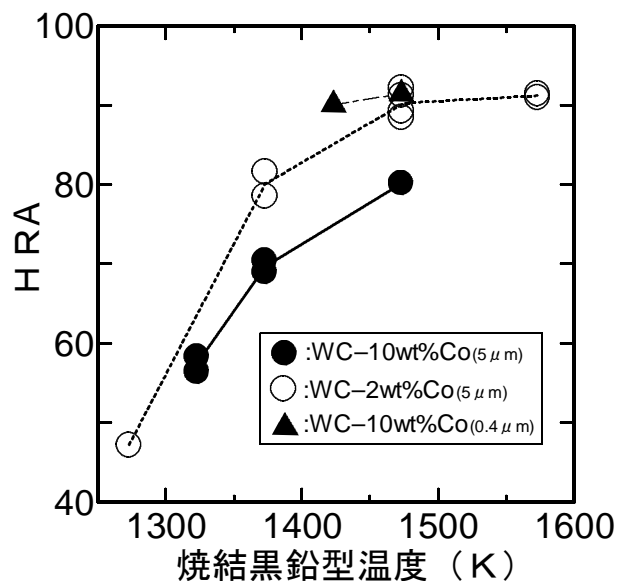
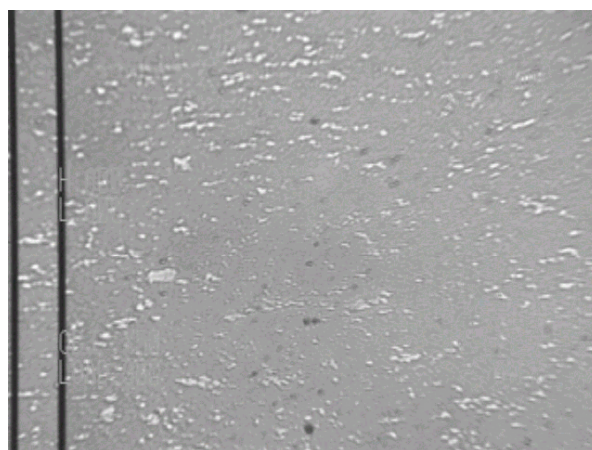


図2 微細組織による硬化



(a) WC - 2%Co (WC: $5 \mu\text{m}$)



(b) WC - 10%Co (WC: $0.4 \mu\text{m}$)

図3 WC-Co 材の組織

4. 大型化

(1) 実験方法

従来の $\phi 20$ -長さ 20mm からのスケールアップのため、直径の拡大および長尺化を検討した。

直径の拡大のために、図4に示す内径 30mm 温度傾斜型を用いた。母材(最下層)としてSUS316 LまたはSKD11を、最上層としてWC-10%Co粉末(WC: $0.4 \mu\text{m}$)を用い、中間層としてWC-40, 30, 20%Co粉

末を順次重ねた。接合条件は昇温速度 $\sim 100\text{K}/\text{min}$ 、母材/WC-40%Co接合部黒鉛型温度1323K [*1]、保持時間10min、加圧力29MPa、真空中の条件で行った。また、冷却条件として、加圧力を温度制御できる程度まで低下させ、773Kまで25K/minの速度で冷却し、その後炉冷した。

長尺化のためには一体接合時に母材の量を増加させれば任意の長さが得られる。しかし、本装置

[*1]: $\phi 30\text{mm}$ 温度傾斜型の場合、厚膜部黒鉛型の温度は温度制御部のそれに比べ約150K高い。また $\phi 20\text{mm}$ の温度傾斜型の場合、傾斜温度は約200Kであった。

の最大パンチ間の距離が小さいため、厚膜接合材の母材と同種の材質とを接合させる方法で長尺化

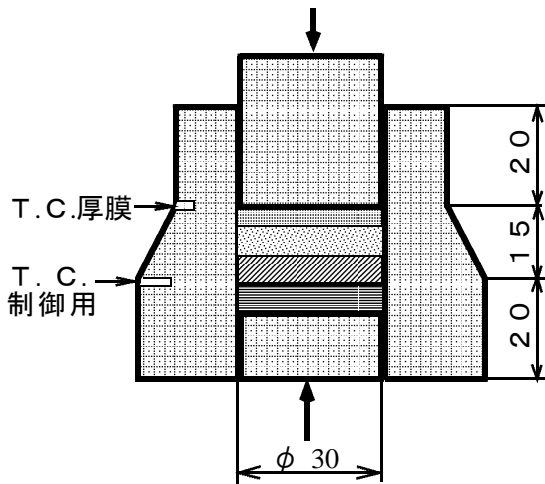


図4 温度傾斜接合黒鉛型

を行った。そのため、母材同士の接合を以下のように検討した。接合材質としてステンレス(SUS316L)、工具鋼(SKD11)、形状として粉末あるいは板を用い、同種材の接合を通常黒鉛型型内で接合部黒鉛型温度 1273K、加圧力 40MPa、真空中で行い、φ 30-長さ 30mm の接合体を作製した。同種母材接合の評価として、接合材を接合界面に垂直方向に板を切りだし図5示す試験片(幅 3-厚さ 3-平行部 7mm)に加工し、引張試験により接合強度を求めた。

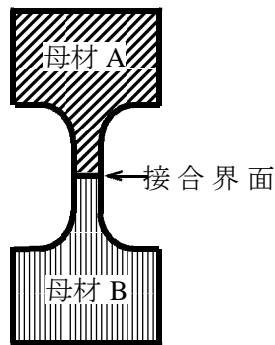


図5 母材/母材 接合強度試験

(2) 結果

図6に母材を SKD11、厚膜部を WC-10%Co (WC:0.4 μ m)としたφ 30mm 厚膜接合材の母材からの厚膜部方向への硬度分布を示す。中間層は緩やかな硬度上昇を示したが、厚膜層

(WC-10%Co)はほぼ均一な硬度を示し、1700HVの高硬度であった。

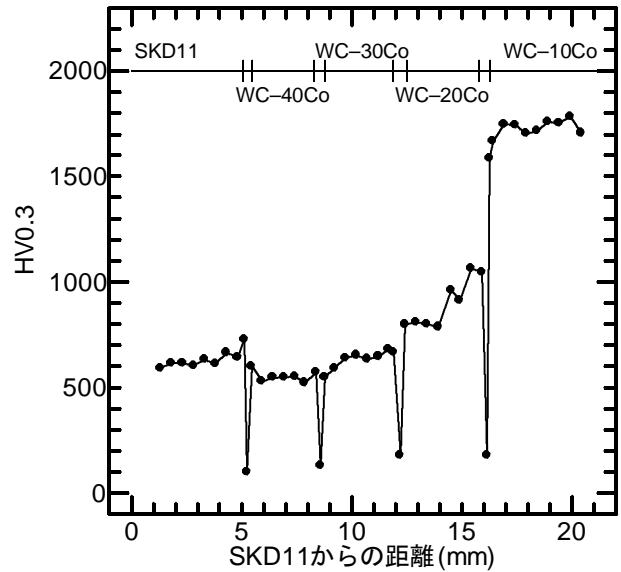


図6 SKD11/中間層(含Co層挿入)/WC-2%Co (WC:0.4 μ m)接合体の硬さ分布

図7に厚膜層(WC-10%Co(WC:0.4 μ m))の半径方向の硬さ分布を示す。半径方向に対し硬度変化がなく、均一な硬度を持っていた。

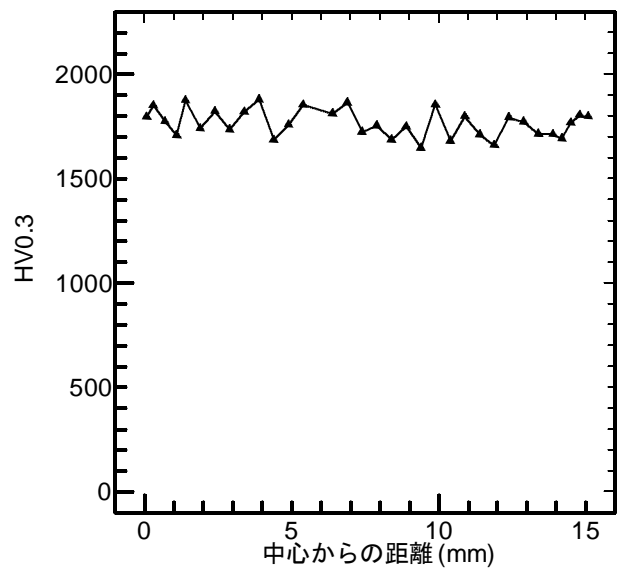


図7 厚膜部の半径方向の硬さ分布 (WC-2%Co, WC:0.4 μ m)

図8に母材同士の接合材の接合強度を示す。いずれの接合材も接合界面で破断したため母材より強度は劣っていたが、少なくとも 450MPa 以上の接合強度が得られた。

母材/母材間の接合強度が母材/中間層間の接合強度(350 ~ 400MPa 程度、図2)より高強度であったため、母材/母材 接合は強度的に問題が

ないと考えられる。

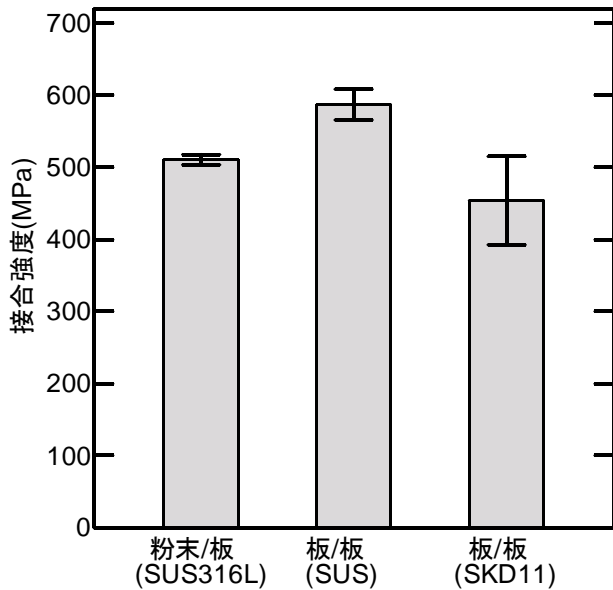


図8 母材/母材 接合強度

図9に母材/厚膜接合によりφ30長さ20mm成形体と厚膜接合材の母材部と同種の母材とを接合によりφ30長さ45mm作製した接合材を示す。本装置は研究用(最大電流3000A、パンチ間距離150mm)の設備であるが、図9に示すφ30長さ45mm程度の厚膜接合材が作製可能であった。また、生産用の設備であればさらに大型の形状が容易に作製可能であると考えられる。



図9 厚膜接合材の外観

5. まとめ

高硬度・耐摩耗性の WC-低 Co 厚膜と鉄系母材

との焼結接合材の開発のため、鉄系母材の鋼種拡大、厚膜素材の健全化および接合材の大型化を検討した。

(1) 工具鋼(SKD11)/中間層(WC-高 Co)において、その間に Co を挿入することにより、接合強度が向上した。

(2) 厚膜素材として WC-2%Co を用いた一体接合材は、その後の加工により亀裂等が生じる場合がある。亀裂の低減のためには熱応力が少ない WC-高 Co(WC-10%Co 程度)が望まれるが、硬度が低下する。そのため、微粉 WC 粉末を用い組織微細化による硬度向上を検討した。その結果、粒径が $0.4 \mu\text{m}$ の WC を用いることにより、従来の WC-2%Co(WC: $5 \mu\text{m}$)材と同等の硬度が得られた。(HV1700)

(3) 温度傾斜黒鉛型を用いることにより、φ20→φ30mmへの直径拡大が可能であった。長尺化は母材間同士の接合により可能となり、接合強度は少なくとも450MPa以上の強度となった。

(4) これらの接合技術により、WC-10%Co材(WC: $0.4 \mu\text{m}$)を厚膜部とするφ30長さ45mm程度の厚膜接合材が作製可能となった。また、その後の加工において亀裂等は生じなかった。

参考文献

- 1) 所敏夫：滋賀県東北部工業技術センター研究報告 (H10)
- 2) 所敏夫：滋賀県東北部工業技術センター研究報告 (H11)
- 3) 所敏夫ら：平成10～11年度技術開発研究事業(共同研究) 成果普及講習会テキスト