

局所加熱による接合界面の制御

素材開発部 ○瀬知啓久

1. はじめに

材料の接合では、界面の状態が接合部の機械的特性に大きく影響する。特に接合界面において熔融金属が介在する場合、熔融金属と基材との濡れ性の良否が大きな要因となる。そこで本研究では、接合に有効な手法の一つである局所加熱技術におけるろう材の挙動を明らかにするために、接合界面付近の温度分布や加熱状況の評価について研究を行った。

2. 実験方法

供試材料には、超硬合金(以下、WC-Co)としてISO K10相当材(93~95mass%WC-4~5mass%Co)を、窒化ホウ素として高純度h-BN(相対密度 82.5%, 純度99mass%以上, 5mm×5mm×3.5mm t, 以下, h-BN)を使用した。ろう材としては、活性金属ろう材(70.20mass%Ag-28.10mass%Cu-1.70mass%Ti)を用いた。

WC-Coとh-BNの間にろう材を挟み、Ar雰囲気中で表1の条件によりろう付を行い、試料を作製した。

加熱中の温度を測定するため、WC-Co基板裏面の温度を熱電対により測定し、h-BNの温度については、放射温度計により測定した。試料作製の模式図を図1に示す。作製した試料の断面について、超音波顕微鏡を用いた接合界面の密着性評価、せん断強度測定を行った。

表1 ろう付条件

Pulsed YAG Average Output (kW)	0 - 0.134
CW LD Output (kW)	0.02 - 0.1
Pulse frequency (Hz)	100
Scanning speed (mm/s)	0.1 - 1.6

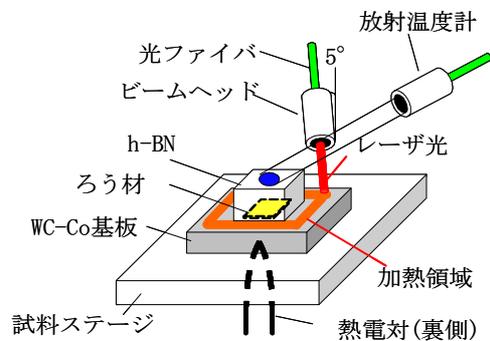


図1 試料作製の模式図

3. 結果

WC-Co基板裏面の温度プロファイルを図2に示す。レーザー光による局所加熱を用いることにより、数秒程度の極めて短時間で試料を加熱できることが分かる。また、レーザー光の出力を制御することで、最高温度を制御出来る。WC-Co基板裏面の温度が約600℃以上の場合、ろう材が熔融するとともに、良好な接合が得られた。ろう材熔融温度は約800℃であり¹⁾、基板の加熱面と裏面の温度差は約200℃前後と考えられている。このことから、局所加熱によるWC-Co基板のろう材熔融温度以上への加熱が可能であることや熱電対による裏面の温度測定が良好に行われていることが明らかとなった。

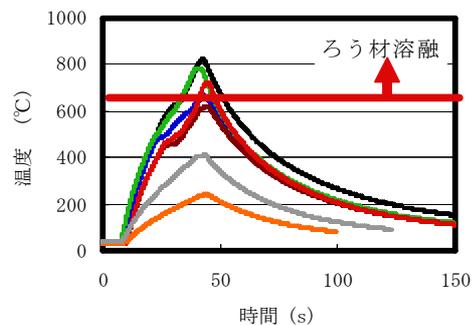


図2 WC-Co基板裏面の温度プロファイル

図3に熱電対によるWC-Co基板裏面の測定温度と、放射温度計によるh-BN上面の測定温度の相関を示す。熱電対によるWC-Co基板裏面の測定温度に対し、放射温度計によるh-BN上面の測定温度は約100℃程度高い値であり、正の相関を示すことが分かる。WC-Co基板を局所加熱することにより、h-BNにも熱が伝わることでろう材が熔融し、良好なろう付が得られることが分かった。このことから、局所加熱を用いた場合においても、加熱領域を制御することで接合に必要な領域を加熱できることが明らかとなった。

金属とセラミックスの異種材料ろう付においては、通常のろう材を用いた場合、セラミックスとろう材の濡れ性が悪く、良好なろう付ができない。そこでろう材にTiなどの活性材を添加し、セラミックス表面を改質する必要がある。短時間の加熱の特徴を有する局所加熱においても、h-BNとろう材の界面をTiにより改質可能である¹⁾。h-BN / ろう材界面に生成するTi層はTiNを主成分とする反応相であると推察される^{2), 3)}。また、h-BN上面の温度のほうが、WC-Co裏面の温度よりも高い値を示している

原因としては、h-BNとWC-Coの熱伝導率の差(h-BN:25-40W/m・K, WC-Co:80W/m・K)による放熱の違いなどが考えられる。

図4 a)及びb)にそれぞれ試料の外観及び界面の超音波顕微鏡像を示す。a)の中央正方形の白色部分はh-BN, その周辺の金属光沢部分はWC-Co基板である。また, b)の中央部黒色の領域が接合界面で溶融したろう材である。内部に大きな空隙が見られないことから, h-BNとWC-Coに挟まれたろう材の密着性が良好なことが分かる。このような超音波顕微鏡観察を行って接合面積を算出した後, 試料のせん断試験を行った。破断は, いずれの試料においてもろう付部近傍のh-BN側より生じていた。図5に, 接合部のせん断強度と累積破壊確率を算出した結果を示す。平均せん断強度は式(1)に示すワイブル分布関数を用いて算出した。

$$\ln \ln(1-F)^{-1} = m \ln \sigma - m \ln \sigma_0 \quad (1)$$

ここで F は累積破壊確率, m はワイブル係数, σ_0 は尺度パラメータである。本研究では, 式(1)において累積破壊確率 F を計算するために, サンプル数が小さくても比較的信頼できる, メジアン・ランク法を用いた。

$$F = (i - 0.3) / (n + 0.4) \quad (2)$$

ここで n はサンプル数, i は順序数 (データの低い順) である。平均せん断強度 μ は, 式(3)を用いて算出した。

$$\mu = \sigma_0 \Gamma(1 + 1/m) \quad (3)$$

ガンマ関数 $\Gamma(x)$ は, 式(4)で示される。

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (x>0) \quad (4)$$

得られた平均せん断強度は, 6.5MPaであった。

4. おわりに

局所加熱技術を用いたh-BNとWC-Coの異種材料接合を行い, 接合界面の評価並びにせん断強度試験を行った。局所加熱により, WC-Co基板のろう材溶融温度以上の加熱が可能であることや, 熱電対と放射温度計による測温は, 正の相関を示すことが分かった。また, ワイブル分布関数を用いて得られた平均せん断強度は6.5MPaであり, 破断した部位はろう付部近傍のh-BN側であった。

なお, 本研究は, 大阪大学接合科学研究所の共同研究員制度を利用して行った。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) Y. Sechi, et. al., Smart Processing Technology, Vol. 2 (2008) 27-30
- 2) M. G. Nicholas, et. al., J. Mater. Sci., 25 (1990) 2679-2689
- 3) S. D. Peteves, Ceramics International, 22(1996) 527-533

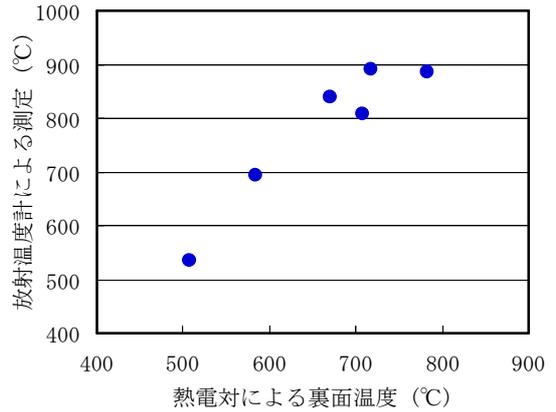


図3 WC-Co基板の裏面温度(熱電対)とh-BN上面の温度(放射温度計)の相関

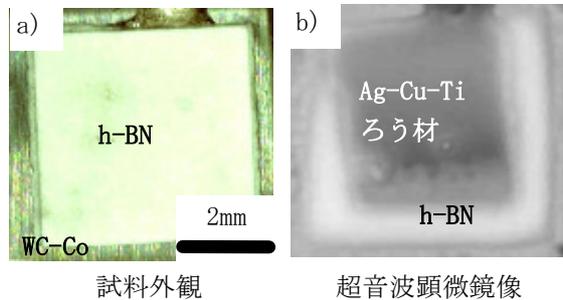


図4 試料の接合界面観察結果

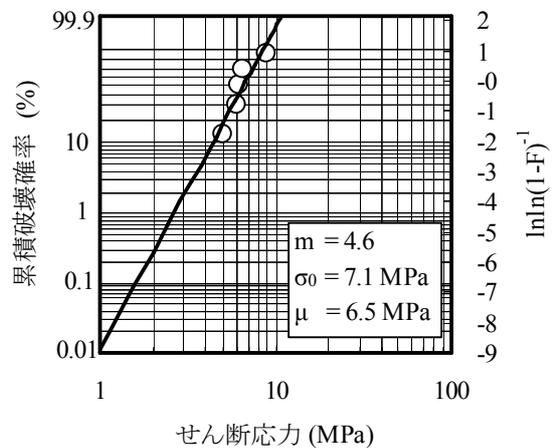


図5 接合部のせん断強度と累積破壊確率