

大阪大学工学部

西本和俊、才田一幸

大阪大学大学院

○金 大業、篠原康浩

(株) 東芝

浅井 知、古川康広

Effect of Base Metal Grain Boundary on TLP-Bonding Phenomena of CMSX-2

- Transient Liquid Phase Bonding of Ni Base Single Crystal Superalloy (Report 5) -

by Kazutoshi NISHIMOTO, Kazuyoshi SAIDA, Daep KIM,

Yasuhiro SHINOHARA, Satoru ASAI and Yasuhiro FURUKAWA

1. 緒言

これまでの報告において、Ni基超合金単結晶であるCMSX-2の液相拡散接合現象に母材結晶粒界の影響があることが示唆された。また、液相拡散接合現象に及ぼす結晶粒界の影響は単結晶材の接合の特徴のひとつであり、接合機構の詳細な観点からも重要である。そこで本報告では、母材結晶粒径を変化させたときの母材溶融挙動および等温凝固挙動についての調査を行い、これらの機構に及ぼす母材結晶粒界の影響について検討を加えた。

2. 供試材料および実験方法

母材には前報と同様のNi基超合金単結晶であるCMSX-2ならびに結晶粒径の異なる2種類のCMSX-2多結晶を用いた。多結晶材はCMSX-2単結晶を再溶解・铸造して製作し、平均結晶粒径を1.9mm(粗粒材と記す)および0.23mm(細粒材と記す)に変化させた。また、インサート金属としてはMBF-80を用いた。接合条件は13.3mPaの真空中にて、接合温度1373K~1523K、保持時間0~19.6ks、加圧力2.3MPaである。なお、母材結晶粒径は接合界面全長について測定し、接合層に接する母材結晶粒の平均粒径とした。

3. 母材溶融挙動に及ぼす結晶粒界の影響

Fig.1は結晶粒径の異なる各母材に対し、母材結晶粒界の個数と飽和溶融まで至る時間および飽和溶融幅の関係を示したものである。母材溶融過程での結晶粒成長はほとんど認められないことから、接合層に接する結晶粒の初期粒径の逆数を母材溶融過程における母材結晶粒界の個数と定義した。接合温度1373Kにおいては飽和溶融時間および飽和溶融幅ともに母材結晶粒界の個数にほとんど依存しない。さらに、接合温度が増加すると、母材結晶粒界の個数の増加に伴い飽和溶融時間はごくわずかであるが短くなり、飽和溶融幅は減少する傾向が認められる。また、粗粒材および細粒材の母材溶融挙動は結晶粒径にかかわらず、いずれもNernst-Brunnerの式に従うことが明らかとなった。結晶粒径の異なる各母材において、接合温度と母材溶融現象に関する溶融速度定数(K)の関係をFig.2に示す。いずれの母材においても接合温度の増加に伴って溶融速度定数が増加しており、同じ接合温度においても単結晶材→粗粒材→細粒材の順に母材溶融速度が速くなっていることがわかる。その原因として、母材とインサート金属の界面では母材結晶粒界で液相侵入による優先的な溶融領域がみられ、母材結晶粒界でBの拡散流出が生じ、インサート金属中のBの総量が減少したことによるものと推論される。

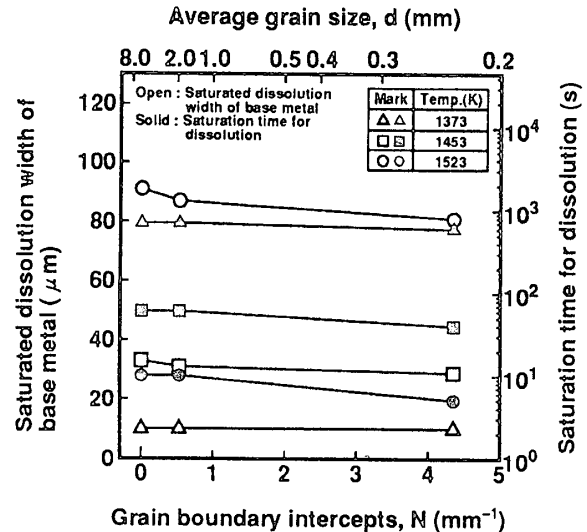


Fig.1 Relation among the saturated dissolution width of base metal, the saturation time for dissolution and the base metal grain sizes.

4. 等温凝固挙動に及ぼす結晶粒界の影響

Fig.3は接合温度1523Kでの母材結晶粒界の個数と等温凝固完了時間および等温凝固速度の関係を示したものである。等温凝固過程を通して細粒材の結晶粒は成長することから、母材結晶粒界の個数は接合温度での接合層に接する結晶粒の平均結晶粒径の逆数と定義した。母材結晶粒界の個数の増加に伴い等温凝固完了時間は減少し、逆に等温凝固速度はほぼ直線的に増加していることがわかる。

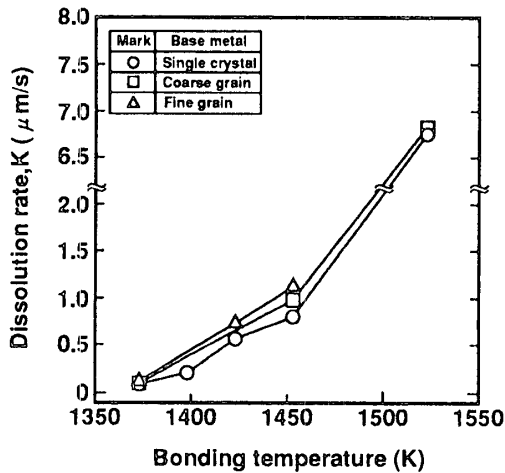


Fig.2 Effect of bonding temperature on the dissolution rate for CMSX-2 having different grain sizes.

等温凝固機構に及ぼす母材結晶粒界の影響を考察するにあたり、CMSX-2固相中のBの見かけの拡散定数について検討した。等温凝固過程において、CMSX-2の単結晶および多結晶ともに共晶幅は保持時間の平方根にほぼ比例して直線的に減少しており、その直線の勾配(等温凝固速度) m から、CMSX-2固相中のBの見かけの拡散定数(D_{app})を逆算することができる。一方、体拡散と粒界拡散を考慮したとき、見かけの拡散定数 D_{app} に及ぼす結晶粒界の影響は次式により表される。

$$D_{app} = D_b \{ 1 + (\delta/d)(D_{gb}/D_b) \} \quad (1)$$

ここで、 D_b ：体拡散定数、 D_{gb} ：粒界拡散定数、 δ ：粒界の平均幅、 d ：母材の平均粒径である。粒界幅を1nm、 D_{gb}/D_b の比を 1×10^5 としたときの各接合温度におけるCMSX-2中のBの見かけの拡散定数の計算値を本実験結果から逆算した値と合わせてFig.4に示す。

各接合温度において計算値は実験値とよく対応しており、母材結晶粒界の個数が増加するに伴いBの見かけの平均拡散定数が増加し、その傾向は接合温度が高くなるほど大きくなっている。したがって、母材結晶粒界の増加により等温凝固速度が大きくなった原因としては、高速拡散パスである結晶粒界の存在により、単結晶材→粗粒材→細粒材の順にBの見かけの拡散定数が大きくなることによるものと理解できる。

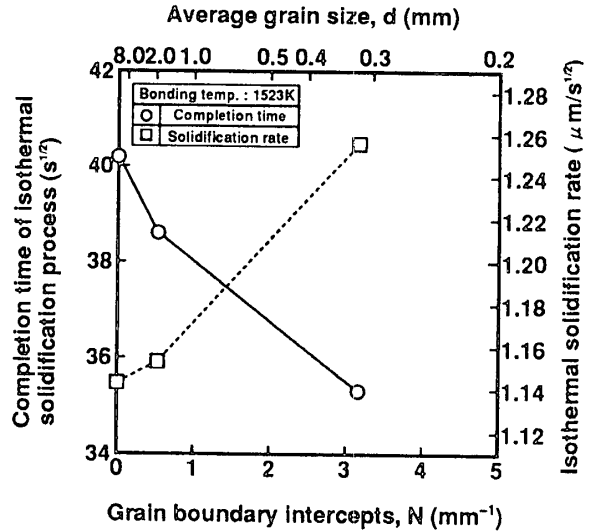


Fig.3 Relation among the completion time for isothermal solidification, the rate of isothermal solidification and the base metal grain sizes.

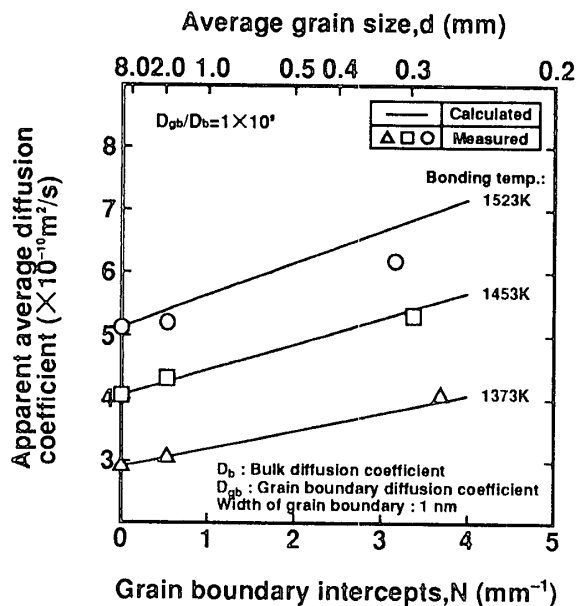


Fig.4 Calculated and measured apparent average diffusion coefficient for boron in CMSX-2 as a function of base metal grain sizes.