

# 渡辺義見・金翼水

目的別テーマ：ハイパフォーマンス/ハイブリッド繊維合体の開発

研究テーマ

15-5-8：細孔反応法による金属間化合物長繊維強化型複合材料の開発

## ABSTRACT

*The reaction at narrow holes method (RANH method) has been proposed for fabricating fiber reinforced metal (FRM), such as an intermetallic compound fiber / metal matrix composite. This study clarifies microstructures at fiber / metal matrix interfaces of FRM fabricated by using combination of pure-aluminum / pure-nickel, pure-aluminum / pure-copper and pure-aluminum / INCOLOY 825 in the RANH method. Pure-aluminum fiber was inserted into a narrow hole drilled in the metal or alloy matrix. The assembly comprising the pure-aluminum fiber and the matrix was heated to a temperature greater than melting point of the pure aluminum. The swaging was also carried out under the elevated temperature.*

## 研究目的

細孔反応法により金属間化合物長繊維強化型複合材料の開発を行う。具体的には、金属あるいは合金マトリックス中に細孔をあけ、マトリックスと比較して融点の低い金属繊維を細孔に挿入し、その材料の急速加熱により繊維形状金属を溶融し、マトリックス金属あるいは合金と反応を生じさせ、マトリックス金属中に金属間化合物繊維が分布した繊維強化複合材料を創製する。

ところで、細孔反応法による金属間化合物の生成は原子の拡散を伴って進行しているため、細孔反応中に材料へ与える加工は金属間化合物生成の進行を促進すると考えられる。また、細孔反応は繊維の直径が小さくなるにつれて反応しやすくなるため、加工による繊維直径の変化も影響を及ぼすであろう。もし、細孔反応中の加工が、金属間化合物生成の進行を促進するならば、金属間化合物繊維強化複合材料を製造する上でのコスト削減および省エネルギーにつながる。本研究では、スエージング加工を施し、細孔反応中あるいは反応前の加工が複合材料の組織形成に及ぼす影響についても調べた。

## 5年間の研究内容と成果

### 【Ni-Al系】

金属母材としてNiを、金属繊維としてAlを用い、繊維形状のNi-Al系金属間化合物を母相内に形成させた。細孔反応法を用いることで、ニッケル母相中に繊維形状を保ったままニッケルアルミナイド金属間化合物が形成し、ニッケルアルミナイド金属間化合物繊維強化ニッケル基複合材料が作製できることがわかった。繊維中心部と界面部とは異なるニッケルアルミナイド金属間化合物が形成しており、繊維は芯さや構造を有していた。ニッケルアルミナイド繊維において硬さの位置依存性が認められた。1200℃で製造した試料においては、傾斜的な硬さ分布となっていた。

### 【Cu-Al系】

Cu-Al系について、650℃3.0h保持で作製した試料では、繊維部分ではCu-70at.%Alができており、そこにデンドライト状にCu-55at.%Alが成長していた。しかしながら、ある一点を中心として、Cu母材部分にAlが拡散していた。母材へ拡散している部分に注目すると、ある一点を中心として外側に向けて、Cu-55at.%Al中に $\gamma_1$ が析出している相、それを取り囲むように均一な $\gamma_1$ 相、そしてさらにそれを取り囲むようにCu-12at.%Alの相ができていたことがわかった。これより、650℃ではAl繊維が完全な液相になれず、反応が上手くいかないものと考えられる。750℃2.0h保持で作製した試料では繊維形状をしっかりと保ったまま繊維中心部にはCu-55at.%Al中に $\gamma_1$ が析出している相、それを取り囲むように均一な $\gamma_1$ 相、そしてさらにそれを取り囲むようにCu-12at.%Alの相ができていたことがわかった。また、Niの場合と同様にCu母材→溶融Alだけでなく、溶融Al→Cu母材の拡散も生じていると考えられる。このようにしてできた組織と、650℃3.0hで作製した試料での化合物相とはほぼ同じである。750℃2.0h保持で作製した試料の硬さ試験結果を見ると、繊維中心部にあるAl55at.%Cu- $\gamma_1$ 相では700Hv前後の値

を示し、その相を取り囲むように現れた均一な $\gamma_1$ 相では850Hvを超える硬さを示した。さらにその外側のAl-12at.%Cuでは硬さの値は下がっており、300Hv前後の値を示した。これより、大きく硬さが増加するには $\gamma_1$ 相の析出が重要となってくると考えられる。この均一な $\gamma_1$ 相を繊維中心部にまで成長させることができれば、非常に硬い金属間化合物繊維を得ることが可能である。

#### 【インコロイ 825-Al 系】

耐熱性および耐腐食性を兼ね備えたNi-30%Fe-20%Cr合金、インコロイ 825を母相、純Alを金属繊維として用い細孔反応実験を行った。その結果、インコロイ 825と純Alを金属繊維は800℃あるいは900℃にて30分間保持することにより反応が生じることが分かった。このように、母相が純金属でなくても細孔反応が適用できる事を見いだした。繊維は芯さや構造を有し、母相に比べて硬度が増していることも見いだした。従って、耐熱性および耐腐食性を兼ね備えたNi-30%Fe-20%Cr合金を繊維強化複合材料化することにより、強度特性も付加できることが分かった。

#### 【スエーピング加工の効果】

純度99.9%のNiを金属母材、純度99.9%のAlを金属繊維として用いた。直径18mm、高さ30mmの棒状に切り出した純Ni母材に対し、ドリルにて直径1mm、深さ20mmの細孔をあけた。その後、直径1mm、長さ20mmの純Al繊維をNi母材の細孔に挿入した。作製した試料を660℃にて30分間保持した。その際、Al繊維は溶解している。その後、熱処理に供した試料を電気炉から取り出し、3種類の条件にて熱間スエーピング加工に供した。Ni母材の直径が18mmから13mmになるまで熱間スエーピングを施した試料ではFig.1に示すようにAlとNiの反応が進行していた。また、Al繊維/Ni母材境界面で熔融Al $\rightarrow$ Ni母材への拡散が生じ始めていることが分かる。境界面では、NiAl相が繊維を囲むように形成されていた。一方、繊維中心部では、Ni-93at.%Al相が部分的に残っているが、Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>相が多く形成されている。このように、繊維は芯/さや組織となっており、さやの部分が芯の部分に比べてニッケルリッチな金属間化合物で形成されていた。この組織は、今までの報告と一致している