

## 238 ナノスケールAg-Ni層状材料の作製と材料強度

滋賀県立大学 正 ○菊池 潮美、 宮村 弘  
(財) 応用科学研究所 桑原 秀行、 間崎 直子

### 1. はじめに

異なる金属をナノまたはメソスケールで積層した層状材料は力学的、電気的、磁気的特性において従来の材料と異なる優れた性質を示すことが報告されている。<sup>1)</sup>しかしこれらの層状材料は従来主として真空蒸着、スパッター法などの結晶成長法によって作製されてきた。しかし、このような結晶成長法では生産費用が高くつくことと薄膜材料に限られるなどの短所を持っている。著者らは圧延法によりナノスケールの層状材料を作製し、その材料の機械的特性について検討してきた。<sup>2)</sup>圧延法の長所はナノ組織を持つ大型の材料で、かつ、薄膜ではなくバルク状の材料を作製できることと、生産費用がかからず経済的であることである。本研究ではAg-Niの組み合わせによる層状材料を圧延法によって作製し、その強度を測定し、層状材料の強度モデルによる検討を行った。

### 2. 実験方法

厚さ9  $\mu\text{m}$ のAg箔と14  $\mu\text{m}$ のNi箔を交互に250枚積層し、1073Kの温度で真空中10MPaの圧力をかけて拡散接合し、積層材のプリフォームを作製した。これを厚さ0.2mmまで冷間圧延し、この薄板を21枚積層し、再び拡散結合と圧延を行う。この過程を繰り返すことによって、種々の層間隔を持つ積層材料を作製した。図1に層状材料作製法の模式図を示す。

この材料の層構造と濃度分布をSEMとEPMAを用いて調べ、また強さを静的引張試験を用いて評価した。試験片のサイズは厚さ0.2mm、幅3mm、ゲージ長さ30mmである。

### 3. 実験結果と考察

図2にAg箔とNi箔を拡散接合したときのEPMAによる接合界面の濃度変化を示す。Ag-Ni系は二相分離型の状態図を示し、互いの固溶限が小さいため、界面に合金相や化合物層を作ることなく、Ag相とNi相が交互に層状をなしている。この接合材料を圧延と再度の接合を繰り返すことによって、種々の層間隔

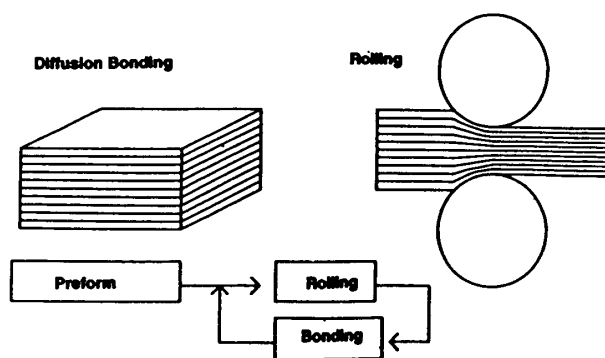


Fig.1 Schematic diagram for producing super-laminates by rolling.

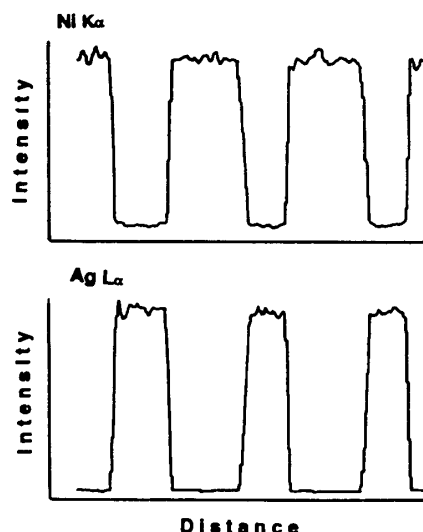


Fig.2 X-ray intensity variation by EPMA along the thickness of laminates after diffusion bonding.

を持つ(最小層間隔2.6nm)の層状組織を持つ材料を作製することができた。

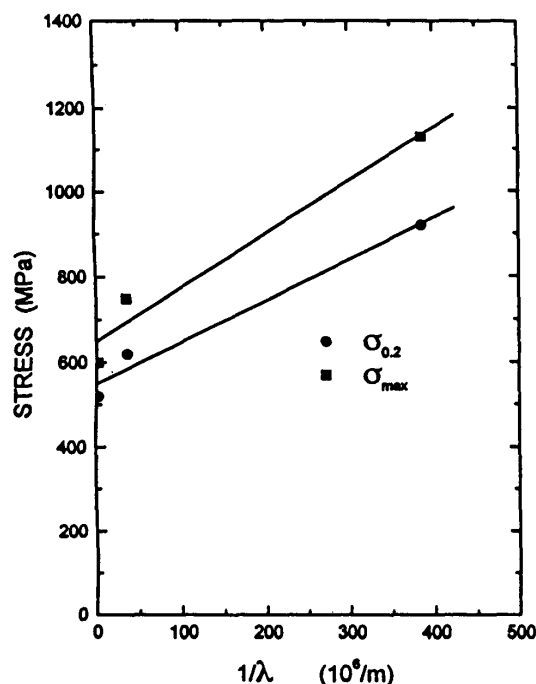


Fig.3 0.2% yield stress and maximum tensile stress as a function of layer thickness.

このような層状材料の降伏応力と最大引張応力は層間隔に依存し、層間隔が小さくなると強さは著しく上昇する。図3に層間隔 $\lambda$ と0.2%降伏応力 $\sigma_{0.2}$ および最大引張応力 $\sigma_{max}$ との関係を示す。

強度は層間隔 $\lambda$ の逆数に比例し、Orowan型の式

$$\sigma = M \mu b \cdot \ln(d/2\pi b) / \pi \lambda (1-\nu) \quad (1)$$

で表される。<sup>3)</sup>ここで $M$ はTaylor因子、 $\mu$ は材料の合成率、 $b$ はバーガースベクトル、 $d$ は転位間隔、 $\nu$ はポアソン比である。

また、この材料を高温で保持したときの熱安定性について、調べるために種々の温度でアニーリングし、その後引張試験によって材料強度を評価した。その結果を図4に示す。600 Kまでは強度低下は小さいが、それ以上の温度になると著しく軟化する。

軟化の原因を調べるためにSEMによる組織観察を行った。その結果、図5に示すように、アニーリングにともない組織変化が生じ、層状構造を維持できなくなるためであることが分かった。

#### 4. 結論

ナノスケールのAg-Ni層状材料を圧延法により作製し、その機械的性質を評価した。その結果、従来にない高強度な材料が作製でき、

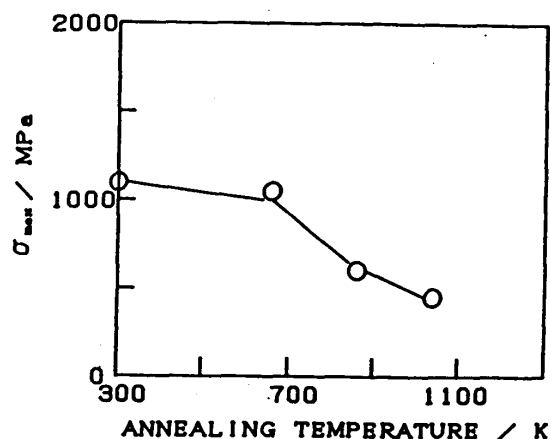


Fig.4 Maximum tensile stress as a function of annealing temperature.

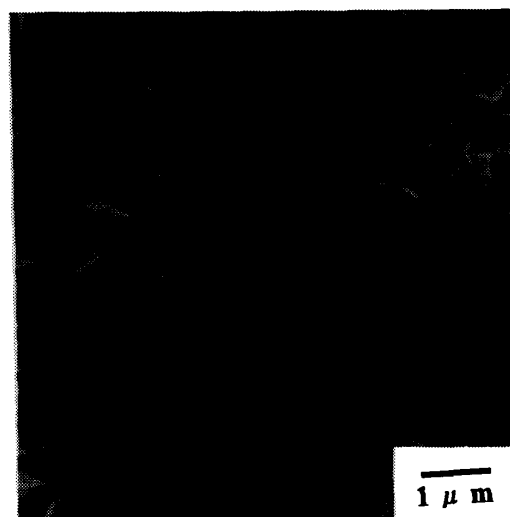


Fig.5 Microstructure after annealing at 873K for 1 h.

その層状構造は 600 Kまでは比較的安定であった。この方法は高強度の大型素材を作製の応用ができることが期待される。

#### 参考文献

1. P.Houdy, Materials Science Forum, 59&60,581(1990).
2. S.Kikuchi, H.Kuwahara and S.Urai, Strength of Materials, ICSMA10,861 (1994)
3. J.D.Embury and J.P.Hirth, Acta Metall. Mater. 42,2051 (1994)