

バルクナノメタル開発の最前線 —強ひずみ加工法の紹介—

1. はじめに

構造用金属材料の高強度化は自動車・航空機などの軽量化に寄与するため、省資源・省エネルギーの観点からも重要な課題である。金属材料の強化手法の中でも結晶粒微細化は、その他

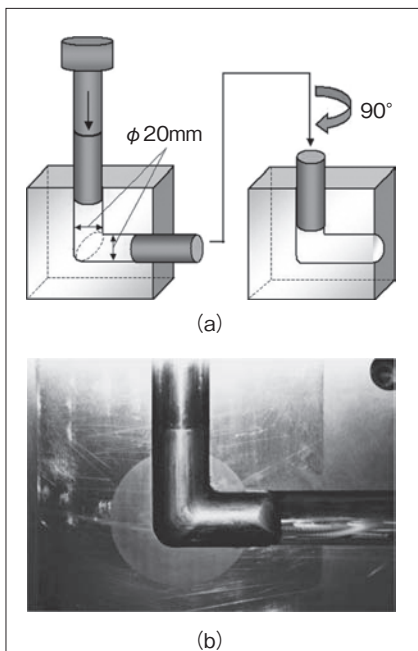


図1 ECAP法の模式図(a)と金型中央部のせん断変形を受けている純銅ビレット(b)

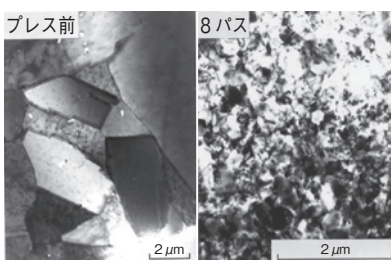


図2 ECAP加工前と8パス加工後の純銅の電子顕微鏡組織

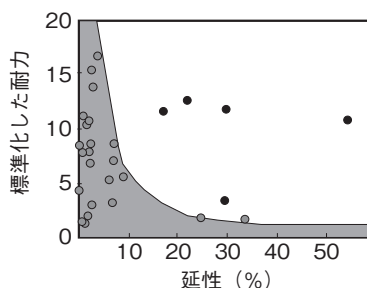


図3 種々の強化法による銅、銅合金の強度と伸びの関係¹⁾ 図中黒丸が強ひずみ加工によるナノ結晶材料

の強化手法である固溶強化や析出強化に比較して合金元素を不要とし、組成の制約がないため、幅広い金属材料に対して適用できるだけでなく、リサイクル性の点でも有利である。一般の工業用金属材料の結晶粒径は数十から数ミクロンなのに対して、バルクナノメタルは数百から数ナノのオーダーの非常に微細な結晶粒を有しており、まさに“結晶粒径だらけ”の材料と言える。

2. バルクナノメタルとは

ナノメタル(またはナノ結晶金属)はこれまでも物理蒸着法や電解析出法などによっても作られてきたが、厚みや大きさに限界があるため薄膜が中心であった。バルクナノメタルとは厚みや大きさが数ミリメートル以上のディメンションを有し、この作製を可能にしたのがここで紹介する強ひずみ加工(Severe Plastic Deformation: SPD)法である。メカニカルアロイングを利用した粉末焼結でも作製は可能であるが、不純物のコンタミ等の問題がある。

3. 強ひずみ加工法

図1に示すのはSPD法の中でもECAP(Equal-Channel Angular Pressing)法と呼ばれる特殊な押し出し加工で、ビレットが挿入方向と90度の方向に押し出されるため、経路のコーナ部分で相当ひずみに換算して1程度のせん断変形を受ける。加工前後でビレットの形状変化がないため、原理的には何回でも加工でき、巨大ひずみを付与することが可能である。材料によっても異なるが、通常は8パス程度の加工によりナノ結晶化される(図2)。ECAP法のほかにも圧力を加えながらねじり変形させるHPT(High Pressure Torsion)法や、板を重ねてくり返し接合圧延するARB(Accumulative Roll-Bonding)法などがある。これらの方法で作製されたバルクナノメタルの強度は加工前に比べて4倍程度まで高くなり、たとえば純アルミニウムの場合は低炭素鋼なみの強度を得ることができる。興味深いことは、一般に金属材料の強化と延性はトレード

オフの関係になるが、SPD法により作製したバルクナノメタルは強化されても、図3に示すように延性も比較的高く保持されていることが最近の研究で明らかになった¹⁾。高強度かつ高延性であることはその後の二次加工や、耐衝撃性にも有利になる。延性が高い理由は、結晶粒が非常に小さいため変形の機構が変化したことが考えられている。そのほかにもARB法で作製したナノ結晶アルミニウムでは加工すると軟化し、焼きなますと硬化することや²⁾、炭素鋼では低温で脆くなる性質が生じなくなるなどの不思議な現象が報告されている³⁾。バルクナノメタルのこのような特異な性質は材料内部がまさに結晶粒界や転位など欠陥だらけであることに起因すると考えられている。

4. おわりに

バルクナノメタルはさまざまな分野への適用が期待できるが、現在、実用化が考えられているのはチタンを利用した医療用インプラント材である⁴⁾。またアルミニウム合金や難加工材であるマグネシウム合金の超塑性加工への展開が期待できる。先に述べた種々のSPD法は大量生産には不向きであり、したがって、しばらくは付加価値の高い分野に限定されると考えられる。しかし一方では、大量生産を目指したSPD法の連続化への研究も進められているが、ここでは紙面の制約から割愛させていただく。

(原稿受付 2011年1月19日)

[宮本博之 同志社大学]

●文献

- (1) Zhu, Y. T. and Liao X. Z., Nanostructured Metals Retaining ductility *Nature Materials*, **3** (2004), 351-352.
- (2) Huang, X., Hansen, N. and Tsuji, N., Hardening by annealing and softening by deformation in nanostructured metals *Science*, **312** (2006), 249-251.
- (3) Kimura, Y., Inoue, T., Yin, F., et al, Inverse temperature dependence of toughness in an ultrafine grain-structure steel *Science*, **320** (2008), 1057-1059.
- (4) Valiev, R. Z., Semanova, I. P., et al, Nanostructured SPD processed Titanium for medical implant *Materials Science Forum*, **584-586** (2008), 49-54.