

基調講演(2)

しなやかで強いチタン合金 ‘ゴムメタル’

(株)豊田中央研究所 西野 和彰

Kazuaki Nishino

1. はじめに

近年、人工骨、歯科用材料あるいはボルト、スプリングなどの機械要素部品をはじめとした幅広い分野において、低ヤング率高強度材料の開発が求められている。しかし、金属材料のヤング率は、原子間の結合力や電子状態と直接関与する物性値であり、塑性加工や熱処理によってその値を制御することは本質的に困難である。また、ヤング率の低い材料ほど強度も低くなるのが一般的であり、低ヤング率化と高強度化との両立は極めて難しい課題であった。このような常識を覆して開発した新しい合金がゴムメタルである(1,2) (図1)。

ゴムメタルは、基本的には $Ti_3(Nb, Ta, V) + (Zr, Hf) + O$ と表される組成の型チタン合金であり、組成平均の価電子数 e/a が約 4.24, $Dv-X$ クラスター法による結合次数 B_0 が約 2.87, d 電子軌道のエネルギーレベル Md 値が約 2.45eV の三つのマジックナンバーを満たす合金群である。具体的には、 $Ti-12Ta-9Nb-3V-6Zr-0$, $Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-0$ (mol%)などの組成を見出している。これらの合金に冷間で強加工を施すことにより、低ヤング率化(40GPa)と高強度化(>1000MPa)とを同時に達成できると共に、他にも数々の特異な特性が発現する。

ゴムメタルの特徴としては、一般の金属材料よりも約一桁大きな弾性変形能(2.5%)を有する、加工硬化しないため、断面減少率 99.9%以上の冷間加工が可能、77K から 550K 程度の幅広い温度範囲で、弾性率が変

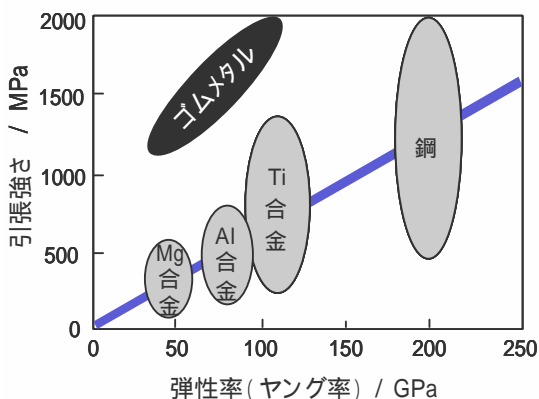


図1 ギュメタルの強度と弾性率

化しないエリンパー特性および熱膨張係数が極めて小さいインパー特性を有する、時効処理によって超強力材料(2000MPa)が得られる、などが挙げられる。本報では、ゴムメタルの諸特性および組織、実用化状況について紹介する。

2. ギュメタルの特性

(1) 弾性特性と機械的性質

図2に、 $Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-1.20$ 合金の冷間加工による応力-ひずみ線図の変化を示す。断面減少率で90%の冷間加工を施すことにより、引張強度が上昇すると共に、ヤング率が大幅に低下する。しかも弾性変形領域において、応力の上昇と共にその線図の傾きが連続的に低下する非線形な弾性変形挙動を示す。すなわち、変形初期のヤング率は約55GPaであるが、ひずみ量が約2.5%では約30GPaとなる。このような冷間加工によるヤング率の低下と弾性変形挙動の非線形化によって、冷間加工材の弾性変形能は、冷間加工前の2倍以上の2.5%にも到達し、超弾性的な性質が発現する。

一般的な超弾性合金においては、応力誘起マルテンサイト変態が可逆的に生じることがその機構とされているが、ゴムメタルではマルテンサイト変態が認められず、真の弾性変形である点が大きな特徴である。

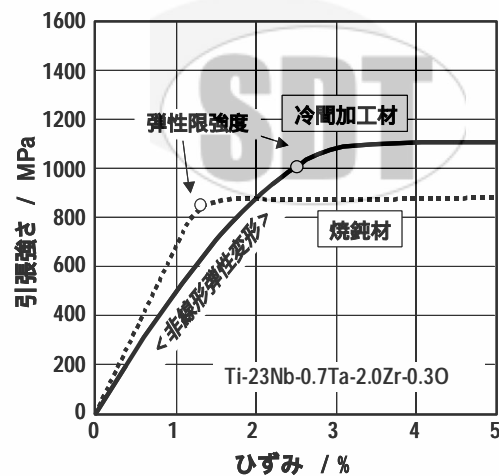


図2 ギュメタルの応力 ひずみ線図。