



ORIST

Technical Sheet

No. 23-16

振動試料型磁力計(VSM)による非磁性体の磁化曲線測定

キーワード：非磁性体、比透磁率、加工硬化、磁化曲線、振動試料型磁力計

はじめに

非磁性とは、物質が磁性を持っていない状態を指し、外部の磁界に対してほとんど反応しないことを意味します。例えば、アルミニウム、銅、チタン、オーステナイト系ステンレスなどは、日常生活ではどれも磁石には引き寄せられない非磁性体として知られています。しかし、これらは磁界に対する反応が全く同じではありません。特に、オーステナイト系ステンレス鋼は、非磁性鋼として広く利用されていますが、加工によって磁性をもつことが知られ、加工硬化と呼ばれています。

近年、特に先端技術分野において、強度、耐食性が優れかつ非磁性である材料が要求されています。例えば、熱核融合炉や、医療機器のMRIなど、非常に大きな磁界を発生させる装置においては、周囲の構造物はその磁界の影響を受けないよう、非磁性であることが必要です。また、精密に電子ビームを制御する実験装置でも、構造物が非磁性であることが必要となります。これらの装置では構造物としての強度、加工性、耐食性に加えて非磁性でもある高機能材料が要求され、開発が盛んに行われています。

ここでは、磁気特性の精密測定が可能な振動試料型磁力計(Vibrating Sample Magnetometer: VSM と略されます)を用いていくつかの非磁性体の磁化曲線を測定した例を紹介します。

測定例

当研究所の振動試料型磁力計(理研電子株式会社製:モデル BHV-50)を利用した測定例について紹介します。試料は、アルミニウム、銅、チタン、SUS316Lの4種類について、直径5mmの棒材を購入し、長さ5mmの円柱状に切り出してVSMで磁化曲線を測定しました。

図1(a),(b)にそれぞれの試料の磁化曲線測定結果を示します。横軸が印加磁界H、縦軸が磁化Mであり、SI単位系での単位はA/mで同じです。

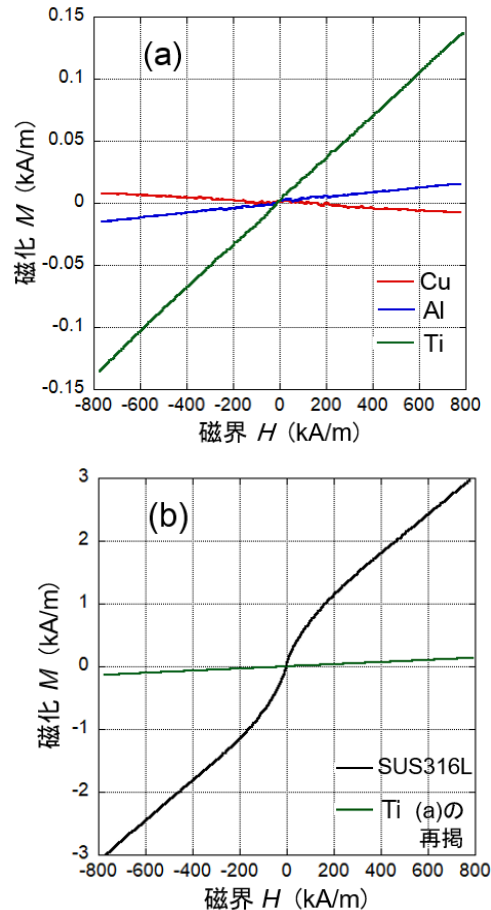


図1 磁化曲線測定結果

試料によって磁化の差が大きいため(a),(b)2つの図に分けています。この図から、アルミニウム、銅、チタンは原点を通る直線となっており、SUS316Lは非線形となっていることが分かります。物質の磁性を表す物理量として磁化率 χ があり、

$$M = \chi H \quad (1)$$

で定義されます。これは、印加された磁界に対して物質がどの程度磁化されたか(磁気モーメントが揃ったか)を表しています。また、非磁性の判断によく利用される比透磁率 μ_r は磁化率 χ と

$$\mu_r = 1 + \chi \quad (2)$$

の関係があります。アルミニウム、銅、チタンのように磁化曲線が原点を通る直線となっている場合、磁

表 1 アルミニウム、銅、チタンの磁化率

試料	磁化率 χ
アルミニウム	2.0×10^{-5}
銅	-1.0×10^{-5}
チタン	1.7×10^{-4}

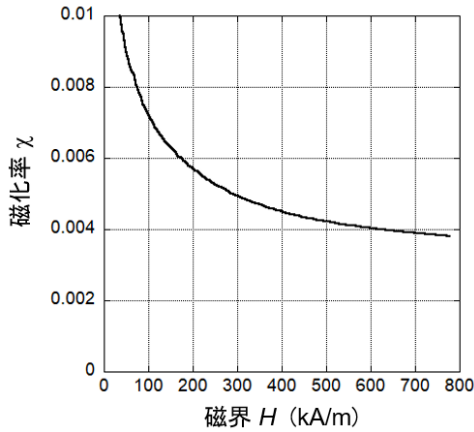


図 2 定義式から計算した SUS316L の磁化率

化率 χ は直線の勾配であり、定数となります。表 1 に直線の勾配から求めた磁化率の値を示します。いずれも絶対値が 1 と比較して非常に小さく、比透磁率 μ_r はほぼ 1 となります。このため、これらの物質は日常生活では磁界に反応しないとして差し支えありません。また、アルミニウムやチタンのように $\chi > 0$ のものを常磁性、銅のように $\chi < 0$ のものを反磁性と呼びます。

次に、非線形となっている SUS316L の磁化曲線について検討します。直線でないため、(1)式の定義から $\chi = M/H$ で計算される磁化率は定数ではなく磁界に依存する関数となります。SUS316L の測定結果から計算した結果を図 2 に示します。ただし $H=0$ 近傍は誤差が非常に大きくなるため省略しています。このように磁界に依存する場合、磁化率や比透磁率の値を一つの数字で表せません。

磁化率が磁界に依存するのは強磁性体の特徴であり、ここでの測定例は SUS316L の試料を円柱状に加工する際に一部がマルテンサイト相に変化し、それが混ざっているためと考えられます。このような場合、磁化曲線を強磁性による信号分と常磁性による信号分に分離する方が、図 2 のように磁化率を計算するよりも適切と考えられます。ここでの SUS316L の測定結果は、 $|H| > 300$ kA/m の高磁界領域では直線状となっているので、その領域で

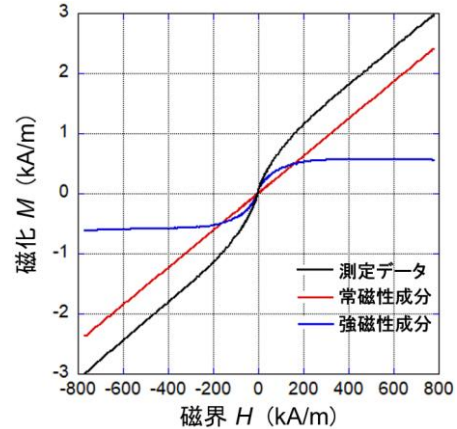


図 3 常磁性と強磁性成分の分離

の勾配と同じ勾配で原点を通る直線を常磁性成分の寄与とみなし、測定データから常磁性成分を差し引いたものを強磁性成分の寄与とみなすことができます。そのように処理した結果を図 3 に示します。図 3 の常磁性成分の勾配から SUS316L の磁化率は 3.1×10^{-3} と求まります。一方で、強磁性成分の量がどの程度になるのかは加工の影響に大きく依存するため、ここでの結果はあくまで一例であり、加工によってどの程度の大きさになるかは測定してみないと分かりません。常磁性と強磁性に分離することが困難な測定データとなることもありえます。ステンレスではこのようなことが起こるため、加工しても強磁性相が発生しないような材料の開発が必要となっています。

4 種類の非磁性金属の磁化曲線の測定を行い、磁化率を求めました。いずれも、磁化率の絶対値は 1 と比較して非常に小さく、非磁性とってよいものでしたが、その値は材料によって違いがあることが VSM を利用することで確認できました。SUS316L については、加工の影響で強磁性相が混ざっていることも確認できました。

おわりに

振動試料型磁力計(VSM)を用いて磁化曲線を測定することで、磁気特性の精密な評価を行うことができます。ここで紹介した非磁性であることの確認の他、磁性材料を用いた製品開発や、磁性材料の品質管理など、お気軽にご相談ください。皆様のご利用をお待ちしております。