

超軟質材の寸法測定における問題点とその解決法

吉川満雄・横溝精一・角田庸人*

Mitsuo YOSHIKAWA, Seiichi YOKOMIZO and Tsuneto SUMIDA*

キーワード 超精密加工／軟質金属／無酸素銅／圧痕／3次元測定機

Key words Ultra-precision Machining / Soft Metal / Oxygen-free copper / Indentation / Coordinate Measuring Machine

1 はじめに

高エネルギー加速器研究機構の進めるリニアコライダ計画では、加速管セルが重要な部品となる。本研究では、平成14年度までにセルの高精度加工の実現を目標にして、試作を行った。その結果、要求される寸法精度 $\pm 1.0\mu\text{m}$ を達成できなかった。

本実験では、セルの寸法を接触式の3次元測定機を用いて測定している。このとき、プローブの測定圧によりセル表面に最大で $3\mu\text{m}$ 程度の圧痕が発生していることが判明した。セルは無酸素銅製で、硬度が93Hvと軟らかいため、プローブの測定圧により圧痕が生じてしまうものと考えられる。この圧痕による測定誤差が発生し、正確な測定ができていなかった。正確な測定値のフィードバックが無ければ、高精度な加工も実現不可能である。そこで、まず圧痕の影響による測定誤差を除去し、 $\pm 1\mu\text{m}$ の加工精度が判定できる測定方法を確立することに取り組んだ。

2 実験方法

図1は、測定装置の概要を示す。装置本体には、分解能 $0.1\mu\text{m}$ の3次元測定機（UPMC850、カールツァイス製）を用いている。試料表面を鏡面に仕上げた無酸素銅の上にゲージブロックを密着させた。そして、測定プローブを用いてゲージブロック上面と無酸素銅上面を測定することによって、ゲージブロックの厚みを測定した。このとき硬度の違いからブロックには圧痕は発生しないが、銅表面の測定点には圧痕が発生する。このため、ブロックの厚みは大きく測定される。試料表面に発生した圧痕を非接触表面粗さ計（New View 5000、zygo製）により測定した。この圧痕深さとブロックの測定誤差により、測定精度の向上について検討した。

3 実験結果

図2に、圧痕の測定例を示す。先端のルビー球直径が $\phi 1.5\text{mm}$ のプローブで、測定圧0.1N（3次

元測定機の測定時のプローブ押し付け力）の設定で実験を行った。実験の再現性を高めるために、プローブが測定面に向かって下降→接触→位置データを検出→上昇までの一連の動作は測定機が自動で行えるようにした。図より、無酸素銅の表面上に $3\mu\text{m}$ 程度の深さの凹が確認できる。またこのとき、ゲージブロックは、 $2.5\mu\text{m}$ 程度厚く測定された。

図3に、プローブ先端のルビー球の直径を変化

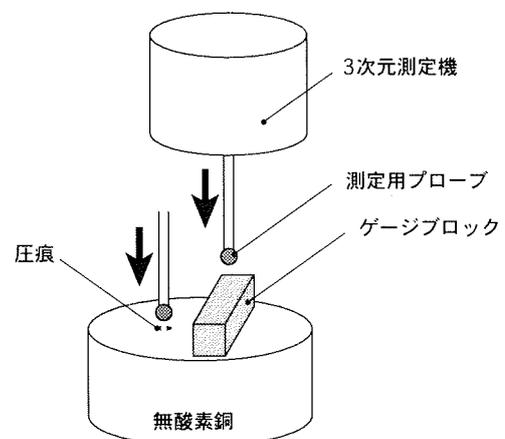


図1 測定装置概要

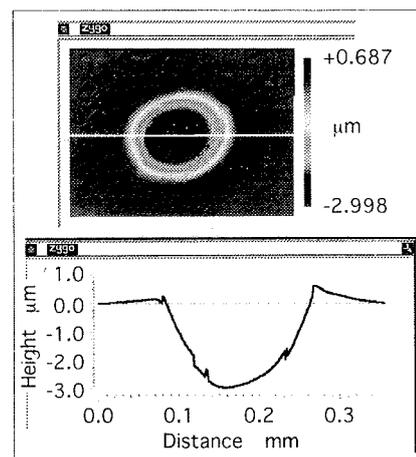


図2 圧痕の測定例

* 安田工業（株）

させたときの圧痕深さとブロックゲージ測定誤差を示す。プローブ形状は、長さ40mm、直径3.5mmのシャフトに直径5.0mmのルビー球が付いたものと、長さ23mm、直径1.1mmのシャフトに直径1.5mmのルビー球が付いたもので比較した。図より、ルビー直径の小さい方が圧痕深さと測定誤差は大きいことがわかる。したがって、ルビー球は可能な限り大きい方が圧痕の影響を受けにくく、測定精度は高いと考えられる。加速管セルの形状を考慮すると、直径1.5mmの先端が計測に使用できる最大のプローブである。

また、測定圧の影響はほとんど見られない。これについて、3次元測定機の特性を検討すると、図3右図に示すように、プローブ先端が測定表面に自動で近づいて、最初に接触したときの圧力（以下、接触圧という）は、設定された測定圧とは異なることが判明した。測定精度向上のために、プローブは、設定された測定圧よりも数倍大きな接触圧で測定表面を検知した後、僅かに離れる→測定圧で再び表面に押し付けるの工程を3回繰り返し、測定位置が安定したときに位置信号を決定していた。したがって、圧痕の最大深さは圧力の大きい接触圧により決定されるため、圧痕深さが測定圧の影響をあまり受けないものと推測できる。さらに、測定誤差が圧痕深さに比べて、小さくなるのも同様の理由に依るものと考えられる。

図4は、プローブタイプ（測定方向も含む）の違いによる圧痕と測定誤差への影響を示している。タイプA、Cは、図3で用いた1.5mm球のプローブを測定方向を垂直と水平と比較している。タイプBは、長さ65mm、直径11mmのシャフトに逆T字状に1.5mm球のプローブを取り付けたものである。図より、A→B→Cの順に圧痕深さが小さくなっているのがわかる。セルの形状を考慮すると、セルの測定にはBタイプが最適と考えられるが、この設定で測定すると、0.2 μ m程度の誤差が発生することになる。

次に、測定機を調整し、接触圧を1.5N→0.4Nに低下させた。図5に、接触圧による圧痕と測定誤差への影響を示す。図より、測定圧が0.1Nのとき、接触圧を0.4Nにすると、圧痕を0.04 μ m程度に抑えられた。接触圧低下による再現性の低下が心配されたが、ゲージブロックを10回測定した結果から、 $\pm 0.1\mu$ m以内の測定精度が確保できていることを確認した。なお、プローブの弾性変形誤差については、リングゲージやゲージブロックを用いて予め校正することにより除去している。

4 まとめ

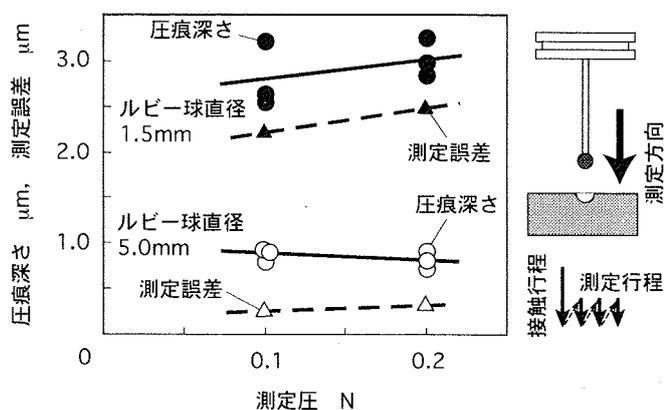


図3 プローブ先端球の大きさによる圧痕への影響

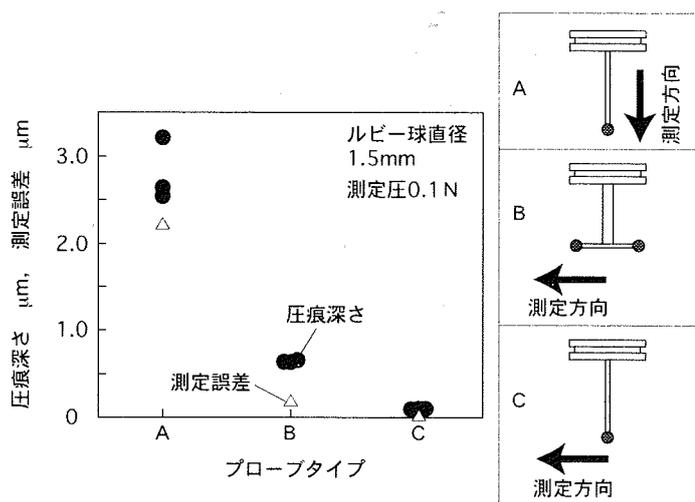


図4 プローブタイプによる圧痕への影響

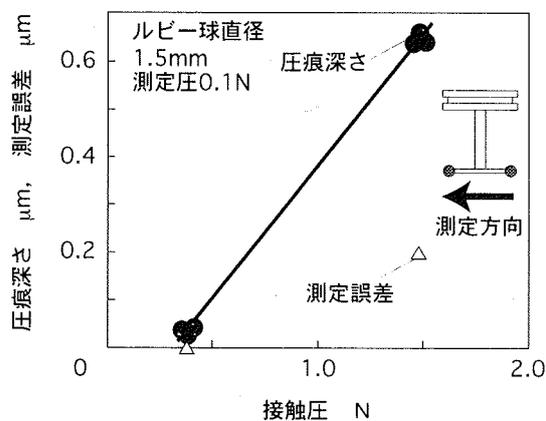


図5 接触圧による圧痕への影響

3次元測定機の測定条件を調整し、測定プローブによりセル表面に生成される圧痕の影響の無い、正確な測定技術が確立できた。今後は、正確な測定値のフィードバックにより、加速管セルの高精度加工を実現する。