

身近な金属の
ミクロ組織を眺む
第●回
73

長さを計る

(その2:精密に測る)

日常生活で使用されている物差しは、通常mm単位の目盛りです。今回はそれより1~2桁小さい測定ができる物差しを調べました。

シリーズ● 材料の素顔に迫る

住友金属工業株式会社 社友 工学博士 大谷 泰夫

はじめに

精密に寸法を測る身近にある代表的な器具はノギスです。ノギス(Vernier callipers)は測定面間の距離を、本尺目盛、ダイヤル目盛、デジタル表示により読み取る測定器です。副尺(バーニヤ)目盛は本尺目盛をさらに細分して読む目盛です。いずれも機械的に測定するものから、次第にデジタル式が増えてきます¹⁾。ノギスの最大測定長は100mm~1,000mmが推奨されています。

ノギスは1631年にフランス人のPierre Vernierによって発明されました。これが英語、では、バーニアキャリパーと呼ばれ、また16世紀に副尺を考案したポルトガル人の数学者Pedro Nunesのラテン名 Nonius(ノニウス)が詠って日本ではノギスと呼ばれるようになったといわれています²⁾。

ノギス各部の名称と機能

今回調査をしたノギスは、副尺目盛の付いた本尺目盛のノギスである。写真1に150mm長さのノギスの外観を示す。本尺とスライドする副尺からできている。

(1) 外側測定用ジョウ:副尺をスライドさせて外径を測定できる。

(2) 内側測定用ジョウ:2本のナイフエッジ形状のジョウ間には隙間(0.2mm)があり、またジョウ刃先端には厚さ(0.2mm)がある。並行な2面の内径は精度よく測定できるが、例えば内径10mmの管の測定値は0.6mmの幅を持つ矩形の長さ(対角線の長さは10mm)を測定することになる。従って測定値は9.98mmとなるが、副尺の読取精度から問題はない。この差は測定する内径が大きいほど小さくなる。

(3) 副尺(バーニヤ):本尺の目盛を細かくするには限界があるので、読取精度を向上するため本尺に刻まれている1mm以下の長さを読み取る目盛である。本尺の9mmを10等分した目盛を持つ副尺(9/10)は0.1mmの最小読取値を測定できる。同様に副尺(19/20)は0.05mm、副尺(49/50)は0.02mmなどの最小読取値の副尺目盛がある。

(4) 深さ測定用デプスバー:孔の深さや段差を測定できる。段差測定は本尺と副尺の先端面にできる段差を基準として測定することもできる。

(5) その他:ジョウと測定面の隙間については光にかざした時に見られる光の回折による干渉色がみられる3~5μm以下が望ましいとされている¹⁾。

これらの多くの要因から生じる総合的誤差は測定長150mm、最小読取値0.1mmの場合で0.08mm、最小読取値0.02mmの場合で0.05mmとされている¹⁾。

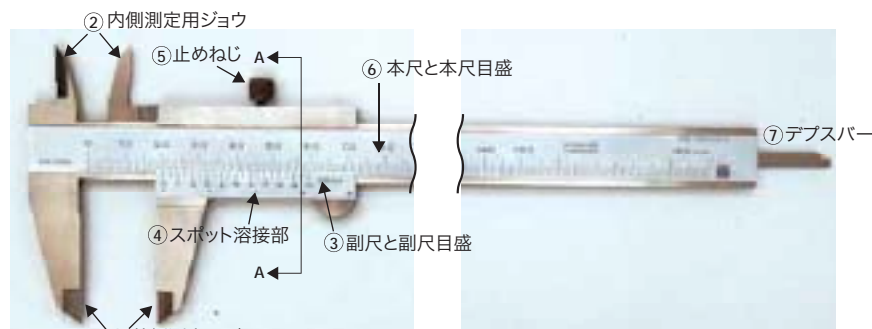


写真1 ノギス外観と各部名称

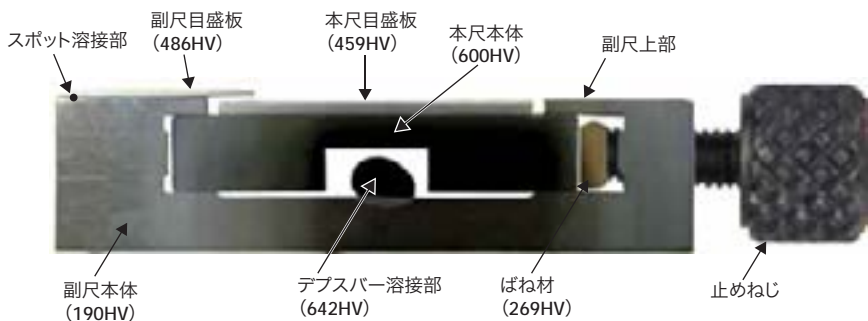


写真2 ノギスのA-A断面のマクロ写真

各部詳細

ノギスの断面(写真1のA-A断面のマクロ組織)を写真2に示す。副尺本体は複雑な形状を一体物として微細に加工されている。本尺本体の下面はデプスバーが通る溝がある。

副尺には測定時に本尺とのガタをなくすための銅製のばねと止めねじがある(写真3)。先端側のねじの先端は円錐形をしており、銅製のばねの先端部の孔に入ればねが外れない仕組みになっている。後端部のねじ先端はフラットで、ばねを押さえている。

本尺と副尺の本体は上面に目盛板が貼り付けてある。副尺面が平面、または傾斜面でも本尺目盛と副尺目盛との隙間は0.3mm以内と決められている¹⁾。スライドする副尺目盛板はレーザースポット溶接(写真4)で副尺本体に一体加工された上部のひさし状の部分(写真2参照)に止められている。一方、本尺目盛板は、本尺本体に接着剤で接着され、μ-FTIR(顕微フーリエ変換赤外分光光度計)の分析結果から、ポリアミド系接着剤が用いられている。なぜ本尺や副尺の本体に直接目盛りを刻まないのかは不明であるが、製造工程の容易さや精度確保の配慮からであろう。

デプスバーの端部は溶接で固定されている。他端面は測定の基準面なので、加工精度が必要である。

材料

(1) 用いられている材料の化学成分を表1に示す。ノギスの本尺本体はSUS420J2の焼戻しマルテンサイト組織である(写真5a)。スライドする部品であるので、硬さは600HVと高い。目盛板に比べれば厚肉のためか、筋状の偏析が残存している。この部分は、Cr、Cが偏析していることがEPMAの測定で判明した(図1)、粒界のCr、Cが高いことから、Cr炭化物が析出していることがうかがわれる。この鋼は焼入性が大きいので、水冷をしなくてもより緩やかな冷却速度でマルテンサイト組織を得ることができる。また刃物、ゲージ、耐摩耗性・耐食性機械部品に用いられるなどの利点があるが、均質な組織を得るために、炭化物の制御には注意を要する。

(2) 本尺目盛板は焼入焼戻されたSUS420J2である。本体に比較すれば、筋状の偏析は少ない(写真5b)。板厚が薄いので圧延工程で軽減されたのであろう。本尺本体より焼戻温度が高く硬さが低い(459HV)のは、平坦確保、靱性付与、目盛加工時に残留応力による変形防止等の理由からと思われる。

(3) 副尺本体は球状化焼なまし加工が施されている(写真5c)。硬さが190HVと低く、またSを0.082%と高くして、圧延方向に伸びたMnSが多数観察されるのは、複雑な形状の切削加工を容易にするためであろう。本尺本体のように

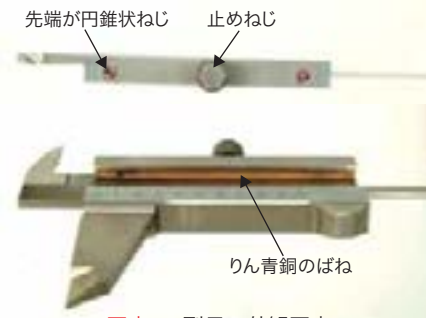


写真3 副尺の外観写真

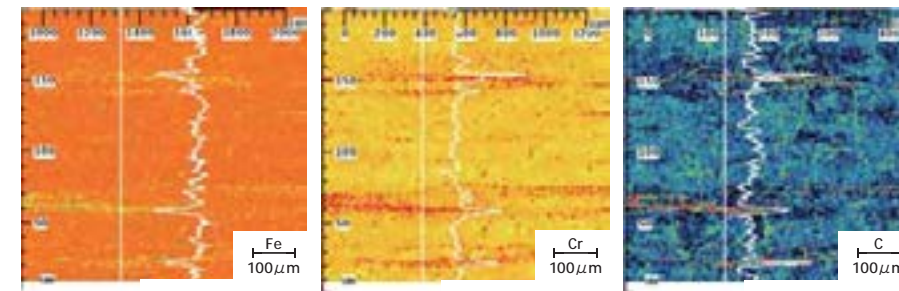


写真4 偏析部のFe、Cr、C分析(EPMA分析)

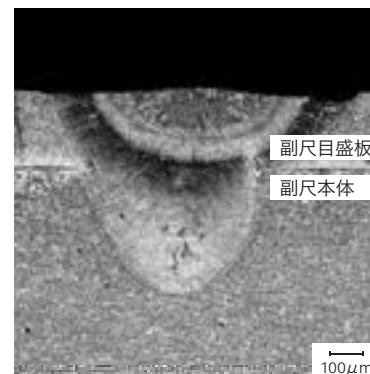


写真5 副尺目盛板と副尺本体とのスポット溶接(写真1④)

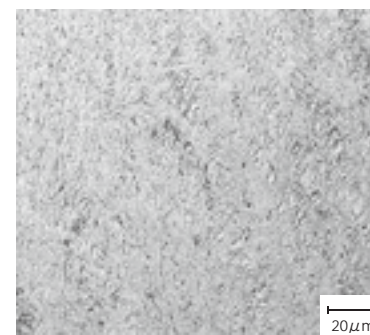


写真6 ばね(りん青銅)の光学顕微鏡写真

焼入焼戻の熱処理が施されていないのは、複雑な形状確保のためと思われる。しかし、ジョウの測定部には硬化熱処理が施されており、耐摩耗性の考慮がされている(写真6)。この部品も厚肉のためか板厚中央部には筋状の偏析が顕著である。

(4) 副尺目盛板はSUS420J2の焼入焼戻である(写真5d)。薄肉であるので本尺目盛板と同様に偏析は少ない。硬さ(486HV)は本尺目盛板

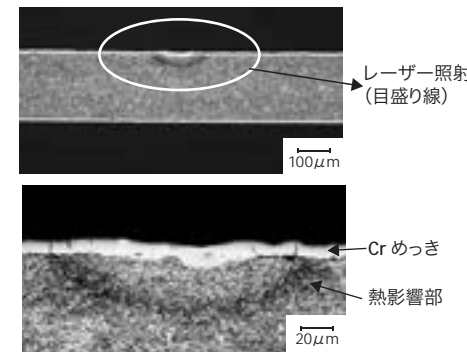


写真7 レーザーエッチングによる目盛線の作成

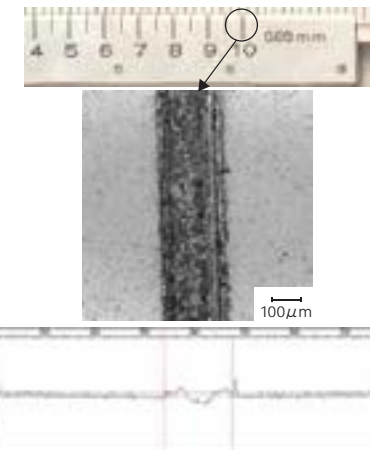


写真8 レーザーエッチングによる目盛線とレーザー顕微鏡による高さ分析

と同程度である。

(5) 副尺を本尺に固定するばねにはりん青銅(Cu-Sn-P)が用いられている(写真7)。強靱性、ばね性、耐摩耗性に優れるので、ばね、歯車、軸受け等に使用される。

表1 化学成分 (mass%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	備考
本尺本体	0.31	0.42	0.46	0.020	0.005	0.01	0.22	13.3	420J2
本尺目盛板	0.40	0.54	0.64	0.025	0.003	0.07	0.12	14.1	S添加
副尺本体	0.40	0.75	0.68	0.012	0.082	0.01	0.21	13.5	
デプスバー	0.30	0.25	0.55	0.026	0.021	0.11	0.16	13.0	
ばね	—	<0.01	<0.01	0.16	Sn6.10	bal	0.01	—	C5191

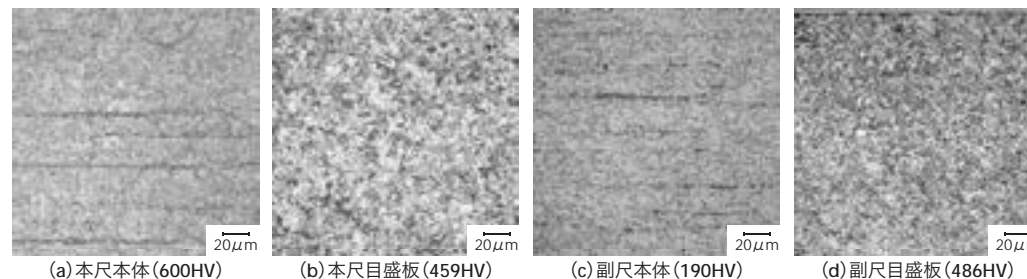


写真9 本尺、副尺の本体と目盛板の光学顕微鏡写真

(6) 目盛部は厚さが0.5mm、0.2mmの目盛板をそれぞれ本尺本体、副尺本体に貼り付けている。目盛の作成はフォトリソグラフィ、印刷などの方法がある。今回調査をしたノギスは耐摩耗性、耐食性、光沢性を高めるために10μm程度のCrめっきを施している。レーザーにより酸化クロムを生成して黒色を発色させて、目盛や数字を作成している³⁾。線や文字の幅に応じて1~3回照射されている。断面観察ではレーザーによる熱影響部が明確に観察される(写真8)。副尺の目盛は幅120μm、中心部が3μm程度凹んでおり、周囲が盛り上がっている(写真9)。

JIS¹⁾では目盛幅は最小読取値0.02~0.1mmのノギスで0.08~0.20mmと規定されているが、上記のレーザーエッチングではこの微細加工が可能である。

おわりに

ノギスは精密な機械部品の製造には欠かせない器具です。

今回調査をしたノギスは比較的高級品で、必要な精度を確保するために複雑な加工方法や、耐摩耗性や耐食性を考慮して材料が選定されています。より経済的なノギスとして、炭素鋼S40Cの焼入焼戻鋼(388HV)に2μm程度のCrめっきを施した材料を用いたり、副尺の複雑な部分はねじ止め加工をしたノギスもあります。必要な精度と寿命を考慮してノギスを選択すべきでしょう。

文献
1) JIS B7507
2) <http://ja.wikipedia.org/wiki/ノギス>
3) 特開2000-87238

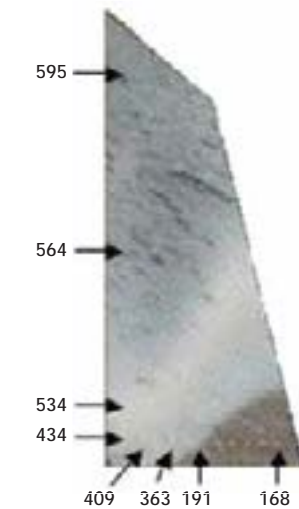


写真10 副尺のジョウ部(単位HV)