

平面ひずみ圧縮条件下における 銅の微視的表面形状変化

岡山県立大学情報工学部 正 ○納所孝至

岡山大学工学部 正 阿部武治 堤健二郎 清水圭二 正 清水一郎

1 緒 言

塑性加工において、型や工具に接触していない自由表面が、結晶粒の異方性や不均一性、介在物の存在などの原因で、変形の進行に伴ってあらくなることはよく知られており、多結晶金属材料の表面あれに関して研究が行われてきている。塑性加工においては材料が型や工具によって拘束されているため、平面ひずみに近い状態で変形が進行する場合が多いと考えられるが、平面ひずみ条件下で試験を行った例はほとんど見られない。そこで本研究では工業用純銅を用いて平面ひずみ条件下で圧縮試験を行い、塑性変形に伴う微視的表面形状変化を調べ、単純圧縮試験の結果と比較検討する。

2 実験方法

2.1 圧縮試験

供試材は工業用純銅（Cu：99.98%，引張り強さ：246Mpa，伸び：48%）である。試験片は、断面 $20 \times 20\text{mm}$ ，高さ 30mm の直方体で、あらさ測定面を中心線平均あらさ R_a が $0.1 \mu\text{m}$ 以下になるまで研磨紙とダイヤモンドペーストで仕上げ、その後 600°C 1 hrの真空焼きなましを行った。平面ひずみ圧縮試験は、Fig.1に模式的に示すように、試験片の側面を耐圧板で拘束し、対数ひずみでおよそ -10% ひずみを加える毎に試験機から取り外して自由表面のあらさ測定を行い、最終的に -60% 程度までひずみを加えた。

2.2 表面あらさ測定および表面観察

表面あらさは、触針式表面あらさ測定器を用い、カットオフ 0.8mm ，測定長さ 8.0mm の条件で、荷重

方向および荷重垂直方向に8～10回測定し、その平均値を採用した。また、塑性変形に伴う微視的表面形状変化を3次的に捉えるために、あらさ測定面を走査型電子顕微鏡により立体写真撮影した。各変形段階で同じ場所を撮影するためにピッカースの圧痕をつけ、撮影の目安とした。

3 実験結果と検討

3.1 負荷ひずみと表面あらさの関係

単純圧縮試験および平面ひずみ圧縮試験における負荷ひずみと中心線平均あらさ R_a の関係をFig.2に示す。いずれの結果も負荷ひずみに比例して増加している。それぞれの圧縮条件において、荷重方向（Longitudinal）と荷重垂直方向（Transverse）に測定した表面あらさを比較すると、単純圧縮試験においては荷重方向と荷重垂直方向に測定した結果はほぼ一致しているが、平面ひずみ圧縮試験においては荷重方向に測定した表面あらさの方が荷重垂直方向に測定した表面あらさよりも大きくなっている。この理由は後で述べるが、結晶粒の微視的変形挙動の相違に起因した表面様相の差によるものと考えられる。また、荷重方向に測定した表面あらさは、平面ひずみ圧縮試験の結果が単純圧縮

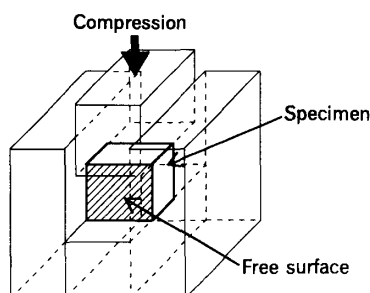


Fig.1 Compression test under plane strain condition

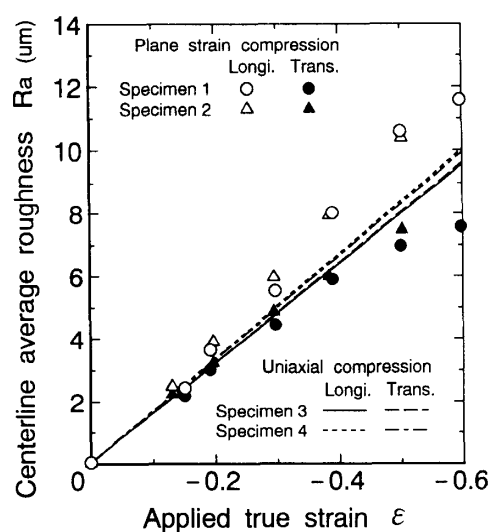


Fig.2 Change in centerline average roughness R_a with applied strain

試験の結果よりも大きくなっている。このことは、平面ひずみ圧縮条件下では試験片表面に垂直な方向の結晶粒の微視的塑性変形が大きいことを示唆している。

3. 2 表面観察

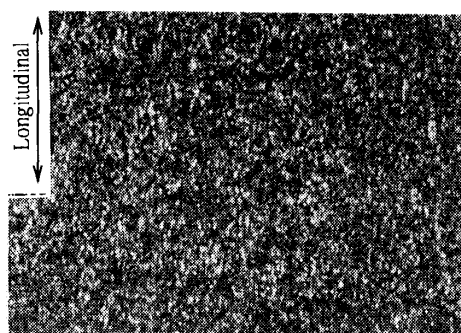
巨視的に見た試験片表面の写真を Fig.3 に示す。平面ひずみ圧縮試験における自由表面には荷重垂直方向に沿う筋状の模様があり、表面形態に方向性が見られる。一方、単純圧縮の自由表面には筋状の模様がなく、表面の凹凸は均一に分布しており、方向性はない。

走査型電子顕微鏡によって試験片表面を微視的に観察した写真の例を Fig.4 に示す。各変形段階で同じ場所を立体観察すると、いずれの圧縮条件においてもひずみの小さい段階で生じた山や谷が、ひずみに伴って山はより高く、谷はより深くなってゆくことは同じであるが、単純圧縮試験の場合には結晶粒の凹凸によって形成される山や谷が比較的均一に分布しているのに対して、平面ひずみ圧縮試験の場合には山や谷が荷重垂直方向に沿って連なっている。この微視的表面様相は試験片表面を巨視的に観察した結果に対応している。山や谷が均一に分布して表面形態に方向性がない場合、表面あらさはあらさ計の触針を走査する方向によらず同じになると考えられるが、特定の方向に沿って山や谷が形成された場合、その方向では山や谷の比較的同じ高さの部分の走査をするようになるため、それと垂直

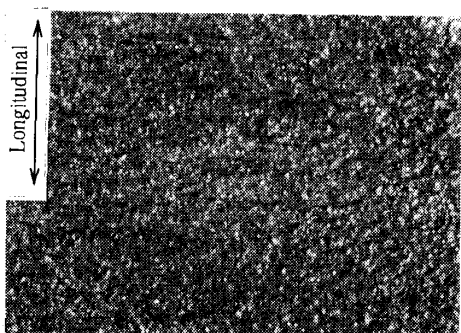
な方向よりも表面あらさの測定値は小さくなると考えられる。そのため単純圧縮試験においては荷重方向と荷重垂直方向のあらさが等しいが、平面ひずみ圧縮試験においては荷重垂直方向のあらさが荷重方向よりも小さくなったと考えられる。

4 結 言

- (1) 表面あらさは単純圧縮および平面ひずみ圧縮のいずれの条件下においても負荷ひずみに比例して増加する。
- (2) 荷重方向に測定した表面あらさは、単純圧縮試験結果よりも平面ひずみ圧縮試験結果の方が大きく、このことは平面ひずみ圧縮条件下の方が、試験片表面に垂直な方向の結晶粒の微視的塑性変形が大きいことを示唆している。
- (3) 平面ひずみ圧縮試験において、荷重方向に測定した表面あらさは荷重垂直方向に測定した表面あらさよりも大きく、これは荷重垂直方向に連続した山や谷が形成されることによるものと考えられる。

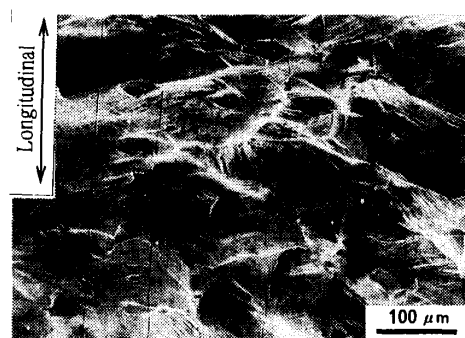


(a) Uniaxial compression



(b) Plane strain compression

Fig.3 Macroscopic feature of deformed surface



(a) Uniaxial compression



(b) Plane strain compression

Fig.4 Examples of SEM micrograph of free surface ($\epsilon = 0.4$)