

微量の有機極性物質を含むパラフィン溶液を塗布した純銅の乾式切削挙動

室蘭工大 ○佐藤 謙司 田頭 孝介 苫小牧高専 池田 慎一

要旨

純銅の被削面を加工硬化させ、そこに有機極性物質であるオレイン酸を微量含むパラフィン溶液を $1\mu\text{m}$ 程度の厚さで塗布し低速二次元切削すると、切削抵抗、およびせん断面でのせん断応力は減少し、逆に垂直応力は増加した。また塗布した被削材において、切りくず前方の盛り上がり部でのクラック発生頻度が高くなった。

1. 緒言

軟質で延性に富む銅のような金属を切削するとき、切削油剤を用いて、湿式切削を行うと、被削性が向上するのは周知の事実である。一方、被削面に有機極性物質を含む溶液を塗布し、溶液が工具すくい面に侵入しないようにして乾式切削を行っても、切削抵抗や切りくず厚さが減少し、切削面性状が向上する^{1,2)}。この現象について、いわゆるレビンダー効果を含む旧ソ連の金属切削に関する研究において、金属の強度の低下に起因するという考え方³⁾が提唱されている。また近年、金枝ら⁴⁾の研究によると、切りくずラメラ間の摩擦抵抗の低減によるものと指摘している。しかしながら、いずれの考え方もすべての現象を説明するには至らないのが現状である。

本研究ではこの現象のメカニズムを解明するため、純銅被削面に有機極性物質であるオレイン酸を塗布したとき、塑性変形を受けるごく表面層の機械的性質の変化に注目し、切削機構に及ぼすオレイン酸の作用について検討した。

2. 実験装置及び方法

被削材は板厚 2mm の無酸素銅板(JISC1020に相当)を $100\times 35\text{mm}$ に切断した後、ひずみ除去焼鈍をし、被削面を加工硬化させるため、これに予備切削(切込量 $10\mu\text{m}$)を施した。切削は固定式工具に被削材を送り、二次元切削とした。切削条件は、切削速度 $100\text{mm}/\text{min}$ 、切込量 $20\mu\text{m}$ 、切削用超硬工具(K-10(WC))は、すくい角 5° 、刃先曲率半径 $5\mu\text{m}$ である。塗布剤は有機無極性物質である流動パラフィン($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$: $n=6\sim 8$)に有機極性物質であるオレイン酸 $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_m\text{COOH}]$ を溶解したものを、溶液の濃度を変えて被削面に $1\mu\text{m}$ 程度の厚さで塗布した。以上の条件で切削抵抗を工具動力計によって測定した。

3. 実験結果

3.1 切削抵抗

Fig.1に種々のオレイン酸濃度で塗布したときの切削抵抗(主分力 F_T 、背分力 F_N)、およびせん断面に作用する応力(せん断応力 τ_s 、垂直応力 σ_s)を示す。図の最左端の縦軸上に無塗布部の切削抵抗とせん断面上の応力も示した。切削抵抗はその変動が安定する定常状態での平均値を取り、せん断面上の応力は単一せん断面二次元切削モデルに従い、切りくず厚さから求められるせん断角により算出した。オレイン酸濃度が $0\text{wt}\%$ 、すなわち流動パラフィンのみを塗布したとき、 F_T および F_N はそれぞれ約 450N 、 200N で、無塗布の場合より若干減少する。しかし、濃度 $0.2\text{wt}\%$ 以上で F_T および F_N はそれぞれ約 200N 以下、 100N 以下で流動パラフィンのみを塗布したと

きの半分以下に減少している。一方、せん断面上の応力は流動パラフィンを塗布したとき、 τ_s 、 σ_s ともに、無塗布の場合より約 $30\text{N}/\text{mm}^2$ 上昇する。オレイン酸が添加されると、 σ_s はさらに上昇するのに対して、 τ_s は減少する傾向にある。

3.2 SEM観察

Fig.2(a)に無塗布部、(b)に流動パラフィン塗布部、(c)にオレイン酸塗布部を切削したときの切りくず前方の盛り上がり部と切りくず自由表面のSEM写真を示す。盛り上がり部において、(a)-(c)のそれぞれに切削方向に対して直角方向にクラックが確認できる。その間隔は無塗布部と流動パラフィン塗布部ではほぼ等しいのに対して、オレイン酸塗布部では半分以下に減少している。

一方、切りくず自由表面において、無塗布部と流動パラフィン塗布部では切りくず素片同士が圧縮変形し合い、丸みを帯びて複雑に重なっている。それに対してオレイン酸塗布部の切りくずは鋸歯状にせん断破壊した跡が見られ、ほぼ等間隔にラメラが形成されている。(a)-(c)いずれの場合もクラック間隔が切りくず素片の大きさに反映している。

図には示していないが、 $0.2\text{wt}\%$ オレイン酸塗布部の盛り上がり部、および切りくず自由表面形状はオレイン酸塗布部と同様であった。

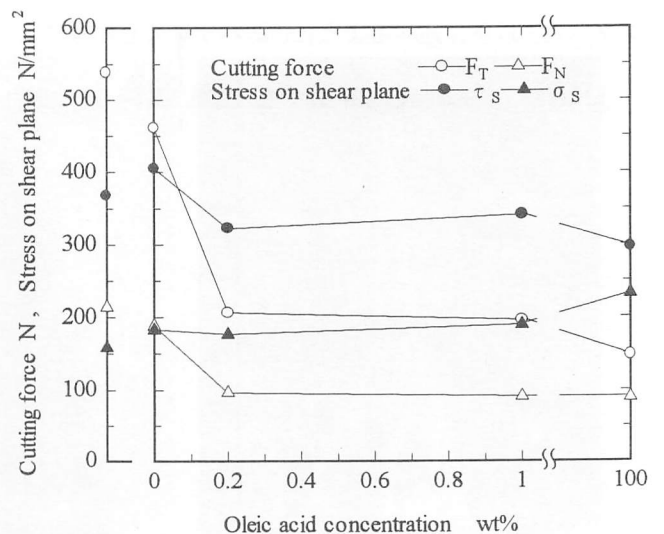


Fig.1 Effects of the concentration of oleic acid in liquid paraffin on cutting force (F_T : tangential force, F_N : normal force) and stress on the shear plane (τ_s : shear stress, σ_s : normal stress) for work-hardened specimens.

F_T , F_N , τ_s and σ_s for non-coated specimens are shown in the vertical ruler axis.

4. 考察

4.1 塗布による切りくず生成過程の変化

Fig.1 より、オレイン酸の塗布によって F_T , F_N が激減していた。また、 τ_s が減少傾向を示すのに対し、 σ_s は増大した。これらはせん断角の増加に起因するものと考えられる。それでは、なぜオレイン酸の塗布によってせん断角は増加するのだろうか。その要因は様々考えられるが、とりわけ重要なのは、切込量と刃先先端からせん断面に沿う長さの変化であろう。今回の実験においては切込量を一定としているので、後者について議論する必要がある。

Merchant⁵⁾によると単位切削容積当りの仕事量が最小になる方向にせん断面が生じるとしている。この理論に従えば、切りくずの生成過程において、切りくず前方に形成される盛り上がり部に生じるクラックと刃先先端を結ぶ線上にせん断面が周期的に生ずるものと考えられる。

SEM 観察からオレイン酸の塗布によってクラックの発生頻度が高くなっていることを確認できた。これは塑性流動の激しい盛り上がり部で材料強度の変化、すなわち脆化が起こったものと考えられる。

無塗布の場合、切削の進行に伴い刃先先端の広い塑性変形領域で歪エネルギーを十分吸収し、刃先先端から離れたところに盛り上がり部を形成する。しかし、ごく表面層において、材料が降伏し、塑性変形するとき、オレイン酸が存在すると、何らかの原因で変形抵抗が大きくなる。すなわち、材料は硬化し塑性変形領域は狭くなるため、十分に歪エネルギーを吸収できずに、刃先先端から近い表面層で脆性的に破壊する。

以上のことからオレイン酸を塗布すると、材料の脆化により、刃先先端からせん断面に沿う長さは減少するため、せん断角は増加したと思われる。このように考えるとオレイン酸を塗布したとき、せん断面積が減少するのにも拘わらず、 τ_s が減少したのは、せん断面に沿うせん断力が減少したためであるとも説明できる。また流動パラフィン塗布したときは、材料の脆化が起こらないため τ_s は増大する。

4.2 有機極性物質分子と転位の相互作用

ここではオレイン酸の塗布による脆化のメカニズムについて考察する。オレイン酸をはじめとする有機極性物質分子は活性な金属表面に対して固体-液体間のポテンシャルエネルギー差を減少させるために極性を駆動力として化学吸着あるいは物理吸着する。その吸着サイトは既存のあるいは切削により導入された被削面近傍のポテンシャルエネルギーの高い転位が考えられる。転位近傍の銅原子に吸着したオレイン酸分子は近くに吸着している他のオレイン酸分子と横方向の凝集力により数分子の集合体を形成し転位を強く固着する。著者の過去の実験においてフーリエ変換赤外分光法により、切りくず前方の盛り上がり部でオレイン酸分子が化学吸着することを確認している⁶⁾。

オレイン酸分子は切削中に盛り上がり部で銅母材表面に存在する自然酸化皮膜が破碎された部分から銅母材表面に侵入する。盛り上がり部近傍では転位密度は高く、十分に歪エネルギーが蓄えられている。オレイン酸分子がその領域に化学吸着し転位を固着するならば、変形抵抗が大きくなるため、オレイン酸分子が吸着したごく表面層は脆化する。

5. 結言

オレイン酸を溶解した流動パラフィンを純銅に塗布し、二次元切削したときの切削抵抗を測定し、切りくず前方の盛り上がり部と切りくずの SEM 観察し、以下の結論を得た。

- 1) 無塗布に比べ、切削抵抗とせん断面上のせん断力は減少し、垂直応力は増加した。
- 2) 無塗布に比べ、盛り上がり部でクラック発生頻度が高くなり、ラメラ状の切りくずが排出された。
- 3) これらの現象の一因として、盛り上がり部の転位にオレイン酸分子が化学吸着し、その場所の脆化の促進が考えられる。

参考文献

- 1) 榊田勝美他：日本機学会論文誌，38，316，(1972)，3246。
- 2) 榊田勝美他：日本機学会論文誌，42，353，(1976)，307。
- 3) V. Arshinov & G. Alekseev：Metal Cutting Theory and Cutting Tool Design. Mir Publishers. Moscow (1970)。
- 4) 金枝敏明他：精密工学会誌，61，5，(1995)，70。
- 5) M.E. Merchant：Journal of Applied Physics, 16, (1945), 267。
- 6) 田頭孝介他：精密工学会誌，投稿中。

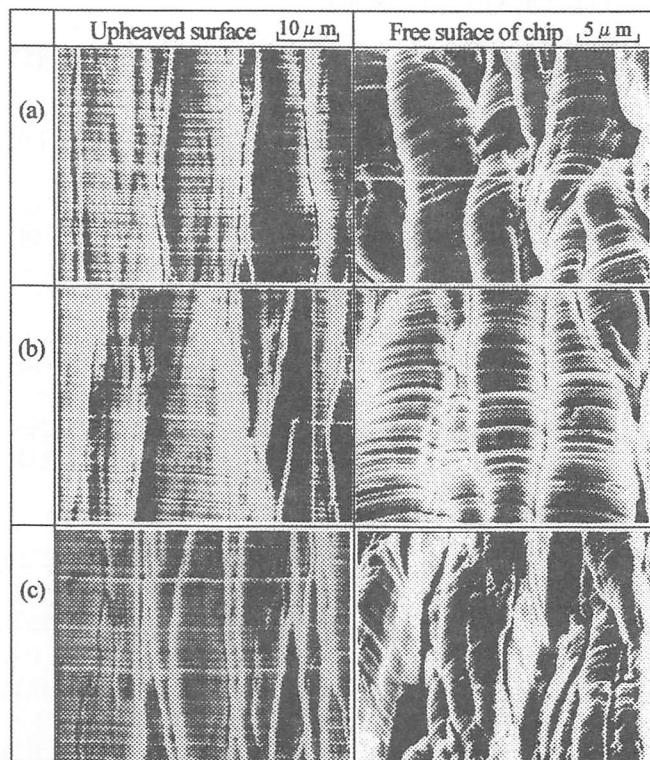


Fig.2 SEM micrographs of upheaved surface and free surface of chip. (a) dry region, (b) coated region of liquid paraffine, (c) coated region of oleic acid