

## 純鉄表面のオレイン酸分子と転位の相互作用による切り屑生成機構の変化

室蘭工大 ○米川 賢, 田頭 孝介, 佐藤 謙司  
苫小牧高専 池田 慎一

## 要旨

純鉄の被削面に有機極性物質であるオレイン酸を厚さ $1\mu\text{m}$ 程度塗布して低速二次元切削を行うと、間隔が約 $15\mu\text{m}$ のラメラが生成され、切削抵抗が減少した。赤外分光法により純鉄表面にオレイン酸を塗布し塑性変形を加えると化学吸着することが解った。

## 1. 緒言

アルミニウムや銅などの fcc 系金属の表面に有機極性物質を微量塗布し切削を行うと、切削抵抗が低下し、切削面性状が向上する。<sup>1)</sup> 著者らの純アルミニウムによる研究では塗布効果はカルボン酸分子と転位の吸着相互作用により、転位が固着し、表面が脆化すると推論した。この考え方に従うと fcc 以外の析出物が存在しない金属でも塗布効果が現われるはずである。本研究では純鉄にカルボン酸の一種であるオレイン酸を塗布し、純鉄表面での吸着状態を調べ、純鉄切削に及ぼすオレイン酸の作用について検討した。

## 2. 実験方法

## 2.1. 切削試験

供試材は純度 99.90%の純鉄冷延板( $100\times 35\times 2\text{t}$ 、圧下率 75%)である。被削面は $100\times 2\text{t}$ の面である。試料としては平面研削で被削面を仕上げた「圧延材」、圧延材を $820^\circ\text{C}$ 、1時間 Ar 雰囲気中で焼鈍した「焼鈍材」、焼鈍材に予備切削を施した「予備切削材」の3種類を使用した。切削はマシニングセンタを用い、切削速度 $100\text{mm}/\text{min}$ で低速二次元切削を行った。予備切削は四塩化炭素をすくい面に常に供給しながら、切り込み量 $50\rightarrow 40\rightarrow 30\rightarrow 20\rightarrow 10\mu\text{m}$ の順で行い、最終的に均一な加工面に仕上げためさらに $10\mu\text{m}$ で切削を数回行った。このときの予備切削による加工硬化の影響は深さ $20\mu\text{m}$ 以下であった。本切削は被削面をアセトン洗浄した後、オレイン酸を流動パラフィンに溶解したものを厚さ $1\mu\text{m}$ 程度塗布し、切り込み量 $20\mu\text{m}$ で切削した。切削抵抗は工具動力計によって主分力と背分力を測定した。また切り屑自由表面の SEM 観察も行った。

## 2.2. 赤外スペクトルの測定

純鉄表面に塗布したオレイン酸分子の吸着状態を赤外分光法で赤外スペクトルを測定し調べた。試料は切削試験で用いた純鉄冷延板を $20\times 4$ に切断し焼鈍後、バフ研磨により鏡面に仕上げた。塗布剤には100wt%オレイン酸を使用した。測定は切削における切り屑前方の盛り上がり部における動的歪を再現するために、オレイン酸を塗布し、その後引張荷重を加え破断させ、局部収縮の激しい部分で測定した。

## 3. 実験結果

## 3.1. 切削抵抗の変化に及ぼす被削材の影響

図1に3種の被削材におけるオレイン酸溶液の濃度と切削抵抗主分力の関係を示す。主分力はいずれも定常状態の平均値である。焼鈍材の主分力はオレイン酸溶液を塗布すること

により減少しなかった。予備切削材の主分力は、無塗布の場合焼鈍材より低く約 $430\text{N}$ であり、オレイン酸溶液を塗布することにより、切削抵抗が減少した。また、圧延材でも同様に切削抵抗が減少した。無塗布のときは、焼鈍材、焼鈍予備切削材、圧延材の順に主分力が高く、転位密度の高い被削材の方が切削抵抗は低いことが解る。また図には示していないが背分力でも同様の結果が得られた。

図2に予備切削材の切り屑自由表面の SEM 写真を示す。(a)は無塗布、(b)100wt%オレイン酸を塗布したものである。無塗布は切り屑排出の1ブロックの幅が約 $30\mu\text{m}$ で丸みを帯びて盛り上りを起こしている。図には示していないが流動パラフィンの切り屑は無塗布とはほぼ同じ形状をしている。100wt%オレイン酸を塗布したときの切り屑は、間隔の狭いラメラを形成し幅が約 $15\mu\text{m}$ で、せん断破壊したエッジが見られる。圧延材ではそれぞれの塗布剤で予備切削材と同様の切り屑であり、焼鈍材では全ての塗布剤で(a)のようなラメラ間隔の広い切り屑となった。

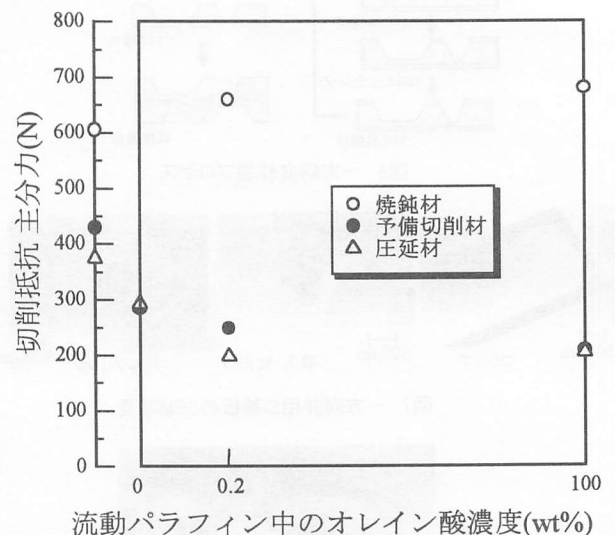


図1 切削抵抗主分力とオレイン酸濃度の関係

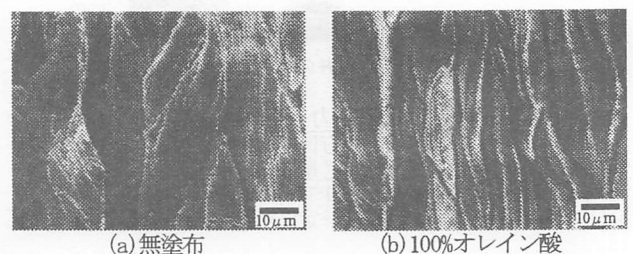


図2 切り屑自由表面の SEM 写真

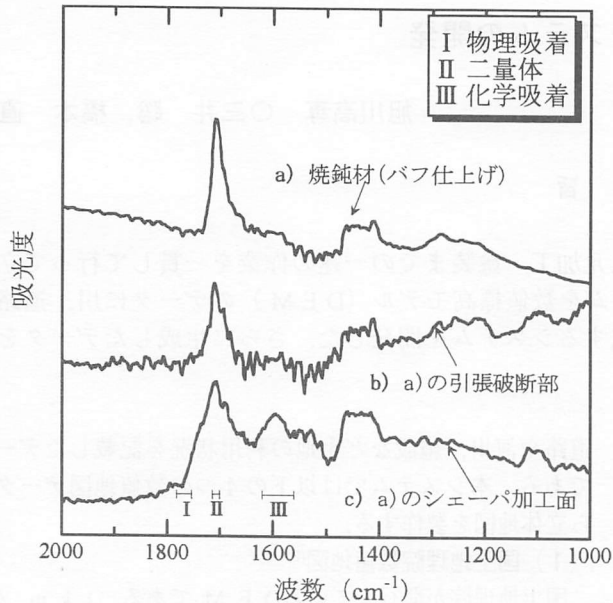


図3 表面の赤外スペクトル

### 3.2. 赤外スペクトルの測定

図3に赤外スペクトルの結果を示す。純鉄表面におけるオレイン酸分子の存在状態は、物理吸着(波数:約 $1760\text{cm}^{-1}$ で図中I)、吸着せずに二つのオレイン酸分子で存在する二量体(波数: $1711\text{cm}^{-1}$ で図中II)および、化学吸着(波数: $1550\sim 1650\text{cm}^{-1}$ で図中III)の3つがある。図の曲線a)は焼鈍材に100%オレイン酸を塗布した状態で二量体のピークのみ確認された。曲線b)はオレイン酸を塗布し、引張り破断させた後の局部収縮の激しい部分で測定したスペクトルであり、二量体のピークと化学吸着の弱いピークが確認された。また曲線c)はオレイン酸を塗布し、シヤーパによる切削加工面のスペクトルであり、強い化学吸着を示している。

## 4. 考察

### 4.1. 切り屑形状に及ぼすオレイン酸の影響

転位密度の高い予備切削材あるいは圧延材の被削面に流動パラフィンのみ塗布した場合、切削抵抗は減少したが、切り屑自由表面で間隔の狭いラメラが形成されなかった。一方、オレイン酸を含む溶液を塗布し切削すると、ラメラを形成すると同時に、切削抵抗も減少した。また転位密度の低い焼鈍材ではオレイン酸の効果は認められず、ラメラは形成されなかった。ここで重要なのは、塗布したことにより切削抵抗が低下したことでなく、切り屑形状が変化していることである。塗布した結果、ラメラ間の潤滑が向上し、切削抵抗が減少したとも考えられるが、それだけではラメラ状の切り屑が形成される理由を説明できない。そこでなぜ間隔の狭いラメラが形成されるかを考察する必要がある。

無塗布のときは焼鈍材よりも予備切削材や圧延材の方が切削抵抗は低い。一見、転位密度が後二者のほうが加工硬化しており、切削抵抗が上昇するように思われるが、実際は逆で

ある。これは切削面が加工硬化した結果、破壊までのエネルギーが少なくなるためであると考えられる。すなわち後二者の切り屑生成部では頻りにクラックが形成され、切り屑がラメラ状となり、その結果、切削抵抗が低下する。ラメラはせん断面と自由表面の交差した場所でせん断変形により生成されるが、切り屑前方の盛り上がり部で既に応力が負荷され転位密度が上昇している。オレイン酸を塗布した結果、表面の盛り上がり部で転位が固着されるなら、被削材表面の加工硬化指数が上昇し、表面の破壊までの追加すべきエネルギーが減少しラメラが形成されるはずである。

### 4.2. オレイン酸分子の転位固着の機構

オレイン酸は極性を持つため金属表面で吸着しやすい。吸着サイトは優先的に表面エネルギーの高い転位や結晶粒界に吸着し、吸着することにより自由エネルギーが低下し安定な状態になる。転位近傍に吸着したオレイン酸分子は近くに吸着しているオレイン酸分子と横方向の凝集力により数分子の集合を形成し転位を固着させる。この時、物理吸着ではファンデルワールス力による $10\text{kcal/mol}^2$ 程度の弱い結合力であり、転位を固着する事はできないが、化学吸着のように電子の授受を行い、約 $100\text{kcal/mol}^2$ の強い結合力が得られれば転位を固着することができる。

オレイン酸分子が盛り上がり部周辺の表面で存在する状態を考える。焼鈍材の表面にオレイン酸を塗布した状態では二量体のピークしか存在していないため、ほとんどのオレイン酸分子は吸着せずに存在している。物理吸着のピークも存在しないが、物理吸着は結合力が弱く容易に吸着、脱離を繰り返し、脱離をすると他の脱離した分子と二量体を形成するためであり、物理吸着をしている可能性はある。引張後、破断した状態では、二量体のピークと化学吸着のピークが現われた。化学吸着はカルボン酸官能基 $-\text{COOH}$ のHが離れ純鉄との間に $-\text{COOM}$ (M:金属)の結合をする。破断過程による化学吸着性を高める因子として二つあげられる。すなわち1)塑性変形により発生する熱の影響。2)活性な新生面が露出し化学吸着への活性化エネルギーが低下した影響である。これら両者の影響により表面の盛り上がり部ではオレイン酸分子が化学吸着しやすくなると考えられる。

## 5. 結言

純鉄の被削面にオレイン酸を0~100wt%含む流動パラフィンを塗布し、低速二次元切削した結果、以下の結論を得た。

- 1) 転位密度が高い被削材でラメラ状の切り屑が排出されると同時に、切削抵抗が減少した。
- 2) オレイン酸は塑性変形の量の大きい領域で転位と反応し化学吸着する。

### 参考文献

- 1) 例えば金枝敏明ら：精密工学会誌, 61, 5, (1995), 702.
- 2) 渡辺信淳, 渡辺昌, 玉井康勝: 表面および界面, (1997) 72.