研究 α 黄銅の表面加工層の研究*

古 市 博** 高 橋 昇***

Study on a Worn or a Super-finished Surface in α -brass

Hiroshi FURUICHI, Noboru TAKAHASHI

Dislocation arrangement of a worn or a super-finished surface in α -brass has been observed using an etch pit method.

The main results are as follows:—

(1) The density of dislocations varies from crystal to crystal and from matrix to twin in a worn or super-finished surface.

In some places no dislocation etch pit could be observed in spite of the fact that scratches were observed everywhere on the surface.

(2) The bands of dislocation etch pits were observed on a worn or a super-finished surface, where scratches were observed all over the surface.

These (1) and (2) may indicate that friction consists of softening, and shearing fracture after sticking or ploughing, respectively.

(3) Sometimes, cracks which started from non-metallic inclusion were observed.

(4) Grain boundary migration was observed on super-finished specimens.

1. 緒 言

金属材料の表面加工層の状態は、その材料の機械的性質に著しい影響を与える。しかしながら加工層の状態は現在でも不明な点が多く残されている。

さらに摩擦、摩耗の機構を解明する際にも、また研削加工などの基礎研究にも加工層の状態を解明することは必要と思われる。

従来加工層の状態を微視的に調べた研究は比較的少なく、これなくしては、本質的な解決が不可能に思われる。

以前より透過電子顕微鏡写真による方法が微視的研究手段として用いられてきたが¹⁾、本実験の場合は、食凹法により主として光学顕微鏡を用いて観察を行なった。この方法は透過電子顕微鏡法に比べて、転位以外の欠陥を調べることはできないが、ごく微小部分でなく、広範囲の転位分布を見ることができるのが特色である。

2. 試験片および実験方法

10 mm×10 mm×2.5 mm の α 黄銅表面を正磷酸溶液を用いて、液温 15°C、電圧 1.5 V で 100 μ 程電解研摩をした後、800°C で 1 時間焼鈍し、炉冷したものを試験片として用いた。なお、焼鈍に際しては脱亜鉛を防ぐた

めに、2 枚の α 黄銅板で試験片をはさんである。これを再び前記の条件で約 30 分間電解研摩を行なって試験片とした。

島津製作所製デーレイ摩耗試験機ですり合せを小金井製作所製 SF 615 型高速鏡面仕上げ機で超仕上げを行なった。

なお、摩耗試験機の場合は試験片とすり合わせる α 黄銅はバフ研摩をして仕上げた。超仕上げに用いた砥石は Lapo Cr₂O₃ (アランダム 3000 # および Cr₂O₃ 3000 # をナイロン系の樹脂で結合させ自然乾燥させたもの) および MP₂W A40 V FM (ホワイトアランダム 4000 # で、ベースに電気銅、レジノイド、グラファイトなどを使用したもの) で、軟かい金属の研摩に適しているものである。

超仕上げの圧力としては 2 kg/cm² を採用したが、この値は一般に α 黄銅を超仕上げする場合の圧力より大きい。その理由は大きな圧力を加えることにより超仕上げの場合の転位の動きの特色をより容易に調べるため、また、この圧力において、超仕上げされた α 黄銅の透過電子顕微鏡による観察が行なわれており²⁾、積層欠陥などの転位以外の微視的欠陥について多く調べられているからである。

これらの実験条件を表 1 に示す。

なお、この表に示されている揺動とは試験片の砥石に対する大きな振幅の振動で、振動とは揺動と同時に与えられる小さな振幅の振動のことである。

*原稿受付 昭和43年6月20日。昭和43年度春季大会学術講演会(昭和43年4月5日)にて発表。

**山梨大学工学部(甲府市武田 4-3-11)

***正 会 員 山梨大学工学部

表 1・1 超仕上の条件

砥 石	回転速度 (cm/s)	揺 動		振 動		仕上速度 (cm/s)	圧 力 (kg/cm ²)
		速 度 (cpm)	振 幅 (mm)	速 度 (cpm)	振 幅 (mm)		
Lapo	150	60	4	1550	2.5	153	2
Cr ₂ O ₃	225	90	4	1550	2.5	227	2
MP ₂	183	74	4	1550	2.5	185	2
WA 40 VFM	267	92	4	1550	2.5	269	2

表 1・2 摩耗試験の条件

摩 耗 速 度 区 分	回転速度 (cm/s)	圧 力 (kg/cm ²)
Low Speed	18	0.3
High Speed	80	0.3

このようにして加工を受けた試験片表面の光学顕微鏡写真, レプリカ法による電子顕微鏡写真の撮影を行なった後に, 0.2% チオ硫酸ソーダ溶液中で, 極間距離 2 cm にして, 1 A/dm² の電流密度で 80 秒間腐食して転位を示す食凹を出した。また, この場合液温は 16°C であった。

これを再び光学顕微鏡で転位分布を観察するとともに, 電子顕微鏡を用いて興味ある部分のレプリカ像を撮影した。

3. 実験結果および考察

図 1 は砥石 MP₂WA 40 VFM を使用し, 仕上速度 185 cm/s で超仕上げをした場合の試験片表面を示している。この写真から明らかに認められるように試験片

図 1 超仕上面に生じた摩耗こん, 砥石 Lapo, Cr₂O₃, 仕上速度 185 cm/s

図 2 超仕上面を転位食凹現出液で処理した場合に現われる組織条件および場所は図 1 と同じ

表面全体にほぼ一様に傷跡が存在している。図 2 は, 図 1 と同じ条件で超仕上げをした試験片の表面を 6 μ 程電解研磨をして, 表面を落して転位食凹を出した状態を示す。これらの写真から表面は一様に加工されているごとく見えるが, 内部では一様でなく局所的に強く加工されている。

このような状態は超仕上げの場合のみならず, α 黄銅相互の摩耗の場合にも認められる。

加工によって生じた転位食凹の分布は, 結晶粒内で, 一般には, 帯状に生じているが, これらの密度は一般に, 双晶境界または結晶粒界を境にして著しく異なっている (図 3)。また, 傷跡には, 規則的に直線状をなして転位が並んでいる場合が数多く認められる (図 4)。場所によっては, 摩耗痕跡に一定方向に並んだ線列が認められる場合もあるが (図 5), これが図 4 の転位列の連なったものか, または双晶群であるかは現在のところ明確でない。

これまで示したような試験片内部に帯状の摩耗痕を生じるのは, 砥石またはバフ仕上げの際に, 砥石またはすり合せの α 黄銅の微視的な凸部が試験片表面に食い込むためと考えられる。F.P. Bowden²⁾ によれば試験片の凸部が摩擦熱により軟化流動し, 凸凹の谷を埋めると述べている。

金属材料を高温に保持すれば過剰に存在する転位が消滅することは周知の事実である。試験片内部に転位が帯状に存在することを考えると温度上昇による軟化流動

図 3 摩耗こんに生じた転位食凹, 摩耗速度 80 cm/s

図 4 摩耗試験片に生じた転位食凹列, 摩耗速度 18 cm/s

図 5 摩耗試験片を転位食凹現出液で処理することにより生じた平行に並んだ線, 摩耗速度 18 cm/s

図 6 摩耗時間と硬度の関係. ビッカース荷重 50g 摩耗速度 80 cm/s

図 7 摩耗試験片に現われた間欠運動. 摩耗速度 18 cm/s

図 8 超仕上試験片に認められた結晶粒界移動. 仕上速度 153 cm/s

図 9 摩耗試験片に認められた介在物から発生したき裂. 摩耗速度 80 cm/s

図 10 堆積転位によるき裂の発生. σ : 外部せん断応力. n : 堆積した転位の数.

のみではこれを説明できない。機械的引っかかり作用または、せん断作用が存在していると考えられる。このことは超仕上げおよびエメリー紙仕上げを行なった材料に高温でこわれやすい積層欠陥およびその四面体が存在することからも想像される⁷⁾。また全体として摩耗後には、硬度が上昇していることもこのことを推測させる(図 6)。α黄銅を相互に摩耗させた場合その表面は一般には一様に加工されているが、場所によっては、摩耗試験片が相互に付着してはすべり、また付着してはすべる、いわゆる間欠運動の跡が観察される場合もある(図 7)。こ

の付着部の面積はおおよそ $25 \sim 50 \mu^2$ である。いま S を α 黄銅のせん断応力、 A を接触面積とすれば一個の接触点によって生じる摩擦力は $F=AS^{9)}$ で示される。ここでせん断応力を 16 kg/mm^2 とすると、1 個の接触点について、 $0.4 \sim 0.8 \text{ g}$ の摩擦力を生じることになる。黄銅の場合双晶形成応力は 10 kg/mm^2 程度³⁾ であり、せん断応力 16 kg/mm^2 より小さい。超仕上面や摩耗面に微視的双晶が見出されることはすでに報告されている⁴⁾。機械的引っかかり作用やせん断作用(間欠運動)が生じているとみなされる本実験の結果からも微視的双晶の発生は考えられることである。図 8 は砥石 $\text{Lapo Cr}_2\text{O}_3$ を用いて仕上速度 153 cm/s で超仕上げをした場合の写真である。写真に示されているように、結晶粒界移動を摩耗こんのところで生じている。このような結晶粒界移動が生じている例はきわめて珍らしく、疲労などの場合に若干の例が報告されているにすぎない⁵⁾。これらの結晶粒界は外部から加えられたせん断応力と堆積した転位によって生じた内部応力により移動したと考えられる。図 9 は α 黄銅を 80 cm/s の周速度で摩耗させた場合の写真であり、介在物からき裂が発生しているのが認められる。き裂が介在物付近に形成される理由は十分考えられる。介在物周辺には応力集中が生じているし、比較の変形されやすい金属に比較の変形され難い介在物が存在する場合は塑性変形をすると引張力が発生し、また図 10 に示すように介在物に n 個の転位が堆積すれば外部せん断応力 σ が作用している場合に転位堆積端におおよそ $n\sigma$ の引張力が発生、き裂が発生し得るといわれている⁶⁾。

従来軸受の使用に際してレースに割れを生じることがあり、これをピッティングと称している。その原因は疲労破壊によるといわれているが、微視的機構は不明な部分が多い。本実験の結果および黒田⁷⁾によれば摩耗により介在物の周囲か

らき裂が発生し、割れにいたるとも考えられる。もし、ほかの金属についてもこのような結果を生じるならば、軸受の割れを防ぐにはできるだけ介在物の少ない材料を使用すればよいことになる。

したがって単にボールまたはローラーがくり返して当ることにより、レースが疲労すると考えてよいかどうかとも検討をする必要があると思われる。

以上の結果はいずれも表面から 6μ の深さにおける場合であるが、これは表面加工層のうち、ごく表面に近い部分の状態である。 α 黄銅の場合、超仕上げをした試験片を斜切断し、転位食凹により調べたところによれば圧力 2 kg/cm^2 で加工層の深さは 200μ 程度に達し⁸⁾、超仕上げの圧力としては少なめの 300 g/cm^2 でも 75μ にも達している⁹⁾。

さらに α 黄銅相互の摩耗の場合は荷重 300 g/cm^2 で 600μ にも達する⁸⁾。

これらの値は従来の結果より大きいが、厳密な実験により確かめられたものである。

なお、 α 黄銅相互の摩耗の場合、電解研摩された試験片とすり合わせる α 黄銅はバフ仕上げをしており、したがって、摩耗面は比較的美麗であるが顕微鏡的には多くの引っかかり傷が存在する。ただし、鏡面仕上げに近づくにつれ間欠運動が増えるが、それは程度の問題であり、超仕上面摩耗面の加工層の性質はきわめていたものと考えられる。

図 11 は 80 cm/s で α 黄銅を相互に摩耗させた場合の電子顕微鏡写真である。これから明らかなように、転位を示す食凹は幾何学的に整った形状をなしているのが認められる。

4. 結 論

超仕上げおよび相互に摩耗をさせた α 黄銅表面の転位食凹を調べた結果つぎのことが判明した。

- (1) 超仕上げおよび摩耗を受けた試験片の表面は、光学顕微鏡的にはほぼ一様に傷跡が認められる。しかし表面直下では転位食凹帯が所々に認められる程度で、これらの帯は結晶粒界、双晶境界で不連続的に位置、密度が変化している場合がある。
- このことは、摩耗による昇温のための軟化流動のほかに試験片の一部は著しい冷間加工が生じることを示していると考えられる。
- (2) 非金属介在物からき裂が発生しているのが認められた。
- (3) 摩耗を受けた試験片に著しい結晶粒界移動が認められた。

図 11 転位食凹の形状(二段レプリカ)

最後にこの実験に協力した高島肇, 梅沢実両氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 高橋 昇, 清水照三: 研磨により生じた 18-8 ステンレス鋼の表面加工層の透過電子顕微鏡観察, 日本金属学会誌, **31**, 6 (1967) 789.
- 2) E.P. Bowden and D. Tabor: The Friction and Lubrication of Solids part; Oxford, Great Britain (1953) 62.
- 3) J.A. Venables: The Nucleation and Propagation of Deformation Twins, J. Phys. Chem. Solids, **25**, 7 (1964) 693.
- 4) 高橋 昇, 古市 博: 表面加工層における格子欠陥について第 28 回応用物理学会学術講演会講演予稿集 (1967) 407.
- 5) Hiroshi Furuichi: Large Grain Boundary Motion and Related Phenomena in Fatigued Zinc Polycrystals, Japan. J. Appl. Phys., **3**, 10 (1964) 668.
- 6) J.D. Eshelby, F.C. Frank and F.R.N. Nabarro: The Equilibrium of Linear Arrays of Dislocations, Phil. Mag., **42**, 327 (1951) 351.
- 7) 黒田昌夫: 軸受鋼の転位疲れはく離の機構, 日本機械学会論文集, **26**, 169 (1960) 1258.
- 8) 高橋 昇, 古市 博, 大藤兎義, 高坂 潔, 小林隆康: 食凹法による α 黄銅表面加工深さに関する研究, 日本機械学会北陸信越支部講演論文集, No. 6 (1968) 31.
- 9) 著者等: 発表予定.

— 表 紙 説 明 —

新 製 品 ローラプロフィールメータ

本装置は圧延ローラ等の形状を検査する装置で同期電動機により測定ヘッドを動かして形状を正確に測定, 記録し検査をおこないます。

測定には差動トランスをもちいた電子マイクロメータを使用しますから高感度であり, 測定圧が小さくしかも出力が電気信号ですからレコーダに接続して容易に測定値の自動記録ができます。

測 定 範 囲	直径 最大 25mm 長さ 最大 380mm
測 定 台 送 り	ねじ送り方式
測定台移動速度	180mm/分
測定値指示範囲 目 量	$\pm 10 \mu$, $\pm 50 \mu$, $\pm 250 \mu$ 0.5μ , 2μ , 10μ
測 定 確 度	$\pm (\text{目量} \times 1/2 + \text{指示値の } 2\%)$
電 源	100V, 50/60Hz

(本 社) 東京都港区南麻布 4-12-20
(03) 442-8171

(支 店) 大阪市東区高麗橋 5-17
(06) 203-0961

アンリツ
安立電気株式会社

(名古屋) (052) 961-5786
(札幌) (0122) 26-8391
(福岡) (092) 76-5347
(厚 木) (0462) 22-3311