黄銅のラップ焼けについて*

友 田 進** 菅 原 章*** 稲 垣 耕 司†

Study of Lapping Burn in Brass

Susumu TOMODA, Akira SUGAWARA and Kōji INAGAKI

The purpose of this study is to clarify the mechanism of lapping burn. The cause of lapping burn is generally considered to be the oxidation of the lapping surface of the workpiece. But, there are also many cases that can not be thought to result from it. In this paper, therefore, it was supposed that lapping burn should not be caused by the oxidation of the lapping surface, and the experimental methods to prove this supposition are as follows; (1) detecting elements of the lap and the lapping powders embedding in the lapping surface by using X-ray, (2) hydrogen treatment of the lapping surface, (3) the sectional observation of the lapping surface, (4) the in-liquid lapping method by means of kerosene. As for brass, the experiment suggests that the cause of lapping burn is to be the minute powders adhered or embedded in the lapping surface which arised out of the lap and the workpiece.

Key words : lapping burn, oxidization, X-ray, hydrogen treatment, in-liquid lapping, sectional observation, minute powders, adhered, embedded

1. は じ め に

ラッピングに関する研究はラップ量, ラップ抵抗, ラップ温度, 砥粒などについて多岐にわたる報告がある¹⁾.

しかし, ラッピング加工中によく発生し, 加工面を変色させてラッピングを阻害する現象(以下ラップ焼けと言う)を取り扱った報告は非常に少ない。ラップ焼けを生じた仕上面は反射面に使用する場合には反射率の低下²⁾, 滑り面に使用する場合には摩擦を促進する³⁾などの問題がある。ラップ焼けの少ない仕上面を容易に得るためにはラップ焼けの発生する原因を正確に把握する必要がある。ラップ焼けの原因は一般的には加工熱に起因した工作物表面の酸化による⁴⁾とされているが, ラップ焼けはラップ液に界面活性剤水溶液を用いると減少する。これは界面活性剤が水溶液中の微粉末にミセルを形成して浮遊あるいは分散作用で加工面への付着を防止する効果があること⁵⁾, またラッピング加工中にラップから生じる破砕粉や加工粉は単体の形状が光学顕微鏡では確認できないほど微小であ

り, これが工作物表面に粘着すると可視光を散光させ表面が褐色や黒紫色に変色して見えることが考えられる。これらのことから, ラップ焼けが界面活性剤を用いたときに減少する理由は, ラッピング加工中に発生する微小粉を工作物表面に粘着することを防止しているためと推測される。

そこで, ラップ焼けは工作物表面に生じる酸化膜が主な原因ではなく, ラップや工作物から削り取られた微小粉が工作物表面に粘着層をつくるために生じると考えてみた。本研究ではこの考え方を確かめるために, 加工面の蛍光 X 線分析⁶⁾, 水素還元, 断面観察および工作物の油中ラッピングを行い, これらの実験結果について考察した。

2. 実 験 方 法

図1はこの実験のために試作したラッピング装置の略図である。①がラップで矢印の方向に毎分11.5回転する。②の試料は④の軸を中心にしたレバー③によってラップ上を矢印のように揺動運動する。加圧荷重は試料上におもりを取り付けた。表1に実験条件を示す。試料はラップ焼けを生じやすいとされている六四黄銅(直径30mm, 厚さ10mm)を用いた。試料の初期状態は酸化アルミナ砥粒と界面活性剤水溶液を混合したラップ剤で, 鑄鉄ラップにより表面粗さをおよそ $5\mu\text{mR}_{\text{max}}$ にそろえた。ラッピングに用いた砥粒

* 原稿受付 昭和59年7月14日。昭和56年度精機学会秋季大会学術講演会(昭和56年11月3日)にて発表

** 正 会 員 弓削商船高等専門学校(愛媛県越智郡弓削町下弓削1000)

*** 正 会 員 東北大学科学計測研究所(仙台市片平2-1-1)

† 正 会 員 東北学院大学工学部(多賀城市中央1-13-1)

Fig. 1 Lapping apparatus

Table 1 Experimental method

Experiment	I	II	III	IV
Workpiece	brass			
Lap	cast-iron			
Lapping powder	Material	Al_2O_3		
	Particle size μm	9.5, 5.0, 3.0, 1.0, 0.3, 0.05		
Lapping liquid	surfactant solution			kerosene and aq.

Table 2 Specifications of lapping conditions for experiment I, II and III

Lapping process		1	2	3	4	5	6
		Particle size μm					
Work-piece	Concentration %	9.5	5.0	3.0	1.0	0.3	0.05
No. 1	16	2	2	2	1	1	1
		1.5	1.5	1.5	2	4	4
		65	65	65	65	25	15
No. 2	8	2	2	2	1	1	1
		1.5	1.5	1.5	2	4	4
		65	65	65	65	25	15
No. 3	4	2	2	2	1	1	1
		1.5	1.5	1.5	2	4	4
		65	65	65	65	25	15
No. 4	2	2	2	2	1	1	1
		1.5	1.5	1.5	2	4	4
		65	65	65	65	25	15
No. 5	1	2	2	2	1	1	1
		1.5	1.5	1.5	2	4	4
		65	65	65	65	25	15
No. 6	0	2	2	2	1	1	1
		1.5	1.5	1.5	2	4	4
		65	65	65	65	25	15

Upper column; lapping powder, g, Middle column; lapping liquid, cc, Lower column; lapping pressure, gf/cm²

Fig. 2 The way of making piece used for sectional observation

の大きさは表2に示すように9.5 μm から0.05 μm までの砥粒である。ラッピングは砥粒の大きさと界面活性剤（アルキルポリオキシエチレンサルフェート）の濃度を変えて各試料について10 min 間ずつ行った。そして、ラッピングを終了した試料は流水洗浄後、超音波洗浄を行った。

2.1 実験 I：加工面の蛍光 X 線分析

加工面には加工粉や鋳鉄ラップと酸化アルミナ砥粒から生じる破砕粉が粘着あるいは埋め込まれると考えられる。そこで、加工面の Fe および Al を蛍光 X 線によって検出してみることにした。装置は波長分散型蛍光 X 線分析装置（理学電機(株)製）を使用した。分析条件は Fe: X 線管球 (W, 20 kV, 20 mA) 計数時間 10 s, Al: X 線管球 (W, 30 kV, 30 mA) 計数時間 20 s であった。

2.2 実験 II：加工面の水素還元

ラップ焼けを生じた工作物の表面に存在すると考えた粘着層が酸化膜であるなら、水素でこの面を還元すれば素地を取り戻すことになる。これを確かめるために次の実験を行った。水素還元には界面活性剤濃度 0, 1, 8, 16% のラップ液でラッピングを行った 4 個の試料を用いた。還元温度は 450°C と 650°C に設定して、それぞれの設定温度で 30 min 間還元した。この場合、還元温度 450°C には界面活性剤濃度 0, 16% 試料, 650°C には 1, 8% 試料を用いた。

2.3 実験 III：加工面の断面観察

加工面の断面観察の試料はラップ焼けの著しく異なった界面活性剤濃度 0, 16% 試料の加工面およびラップ焼けを起こしていない面 (R_{max} 0.1 μm) を用いた。観察面は図2に示すように 2 つの異なる加工面間にりん青銅板を挟んで固定して、これらの面に対する直角切断面をラップ焼けの少ない面に仕上げた。なお

Table 3 Specifications of lapping conditions for experiment IV

Lapping process		1	2	3	4
		Particle size μm			
Workpiece	Lapping liquid	9.5	5.0	3.0	1.0
No. 1	kerosene	2	2	2	1
		20	20	20	20
No. 2	aq.	2	2	2	1
		20	20	20	20

Upper column; lapping powder, g, Lower column; lapping liquid, cc, Lapping pressure; 40 gf/cm², Lapped with each size for 30 min

Fig. 3 Lapping surface lapped with the powder of particle size 0.05 μm

接合部のりん青銅板は観察面を研磨するとき断面がだれないようにするためのものである。

2.4 実験Ⅳ：油中ラッピング

加工面の酸化はラップ液に水を用いると促進されると考えられるが、十分脱水した石油では加工面は酸化しにくいと考え油中ラッピングを試みた。このときの実験条件を表3に示す。

3. 実験結果と考察

3.1 実験Ⅰ：加工面の蛍光X線分析

図3は表2の方法で6個の試料を砥粒の大きさを9.5 μm から次第に小さくしながら0.05 μm までラッピングを行ったときの界面活性剤濃度の変化に対する加工面である。図4は図3に示した試料の断面曲線である。図5は蛍光X線を用いてこれらの加工面に含まれているFeおよびAlを砥粒の大きさについて検出したもので、横軸は砥粒の大きさ、縦軸は蛍光X線のスケラカウント数を表している。また図6には砥粒の大きさ9.5、1.0および0.05 μm でラッピングを行ったときの界面活性剤濃度とFeおよびAlの関係を示す。これらの実験から次のことがわかる。

- (1) 図3から界面活性剤濃度0%試料はラップ焼けが最も著しい試料で加工面は黒紫色に変色している。このとき加工面から検出されるFeおよびAlは、図5から他の試料と比較してすべての砥粒の大きさで最も多いことがわかる。図3では明確

Fig. 4 Sectional curves of lapping surface shown in Fig. 3 **Fig. 5** Relation between particle size and Al or Fe embedded in lapping surface
Scaler counts of brass (Fe; 4500, Al; 150)

な判断はできないが、加工面を詳細に観察するとラップ焼けは界面活性剤濃度が高まるに従い少なくなる。そして、濃度16%試料の加工面は黄銅色に近づき、このときのFeおよびAlのスケラカウント数は他の試料に比べて最も少ないことがわかる。このことは界面活性剤をラップ液に混入することでラップ焼けを少なくできること、ラップ焼けを生じている試料はこの程度に対応してラップや砥粒からの破碎粉が含まれていることを示し

Fig. 6 Relation between surfactant concentration and Al or Fe embedded in lapping surface

ている。またラップ焼けはラップ材質にテフロンを用いた場合でも発生し、試料から検出される Al のスケーラカウント数についてはすでに述べたことと同様なことが言える。このことはラップ焼けを生じた試料の加工面は微小粉が工作物表面に直接粘着したりあるいは粉碎された白色の砥粒に粘着して埋め込まれることで形成されていると考えられるので、テフロンを用いたときに生じる主な微小粉である加工粉もラップ焼けを発生させる一つの要因であることが考えられる。

- (2) ラップ焼けを生じている試料の表面粗さはラップ焼けの程度の違いによってあまり変わらないことがわかる。ここでは図 3 の試料の断面曲線を示したが、このことはすべての砥粒の大きさで同じことが記録された。
- (3) 図 6 において試料の加工面から検出される Fe および Al の量は界面活性剤濃度 2% 以上では大きな変化がみられないが、それ以下の濃度で急増することがわかる。この原因は実験に用いた界面活性剤の臨界ミセル濃度が密接に関係していると考えた。

3.2 実験 II：加工面の水素還元

図 7 はラップ焼けを生じた試料と自然に酸化している市販の黄銅板を還元温度 450°C および 650°C で水素還元を行った前後の状態を示す。それぞれの左半面は還元後の試料である。図からラップ焼けを生じた試料は還元温度条件を変えても黄銅色を取り戻していないが、酸化している黄銅板は十分還元されて黄銅色を取り戻していることがわかる。なお、不適当な還元条件では試料の表面に亜鉛が析出し、このときの亜鉛の色とラップ焼けを生じた面との区別が困難になることが考えられるが、本実験においては亜鉛の析出はみられ

Fig. 7 Lapping surface of before and after hydrogen treatment

なかった。このことからラップ焼けの主要因であると考えた工作物表面の粘着層は酸化膜ではないことが確かめられた。

3.3 実験 III：加工面の断面観察

図 8 A・1 はラップ焼けを起こしていない面と界面活性剤濃度 0% でラッピングを行いラップ焼けを起こした試料を合わせた断面写真である。B・1 は界面活性剤濃度 0% と 16% でラッピングを行った試料を合わせた断面写真である。A・2 および B・2 は図中の矢印部分の拡大写真である。図 9 A はラッピング後の砥粒、B はこの砥粒を塩酸 (10%) によって処理したときの SEM 像を示す。これらの図から次のことがわかる。

- (1) ラップ焼けの著しい界面活性剤濃度 0% 試料の加工面に厚さ約 1 μm の黒い帯状の層が観察されるが、この層はラップ焼けを起こしていない面には観察されにくい。また、この層はラップ焼けの少ない 16% 試料の加工面には点在して確認される。
- (2) 加工面に黒い層を形成している物質個々の形状は図 8 A・2 および B・2 の拡大観察でも確認で

Fig. 8 Sectional microphotographs of lapping surface

Fig. 9 SEM microphotographs of lapping powder

きない。

- (3) ラッピングを行ったラップ剤には粉碎された砥粒のまわりに黒色の微小粉が粘着している。この微小粉は塩酸処理をすることで溶解して砥粒だけが現れてくることから、この物質が加工粉やラップの破碎粉であることがわかる。

これらの結果から次のことが推察できる。

- (1) ラッピングを行った砥粒のまわりには微小な加工粉やラップからの破碎粉が粘着している。この微粉は工作物表面にも粘着し、図8に示した黒い層をつくり、また粉碎された微小な砥粒にも粘着して加工面に砥粒と共に埋め込まれることが考えられる。そこで、ラップ焼け面の構造は工作物表面に試料やラップから生じた微小粉が直接粘着あるいは粉碎した砥粒に粘着して埋め込まれてこ

Fig. 10 Lapping surface used kerosene and aq. for lapping liquid

のような層を形成したという、すでに述べたような推測ができる。一方、研削加工などによって生じる工作物表面の酸化膜の厚さはオングストローム単位と言われている⁷⁾が、ここで観察された層はミクロン単位の厚さで、これに比較すると非常に厚い層である。このことから、ここで観察された層は微小粉からなる工作物表面の粘着層であることが考えられる。

- (2) 加工面に粘着あるいは埋め込まれていると考えた試料やラップあるいは砥粒からの微小粉個々の形状は光の波長以下の極微小な大きさのために光学顕微鏡の解像力ではとらえることはできない。従って、これらの微小粉が可視光を無定方向に散光し、あたかも酸化面であるかのように変色して観察されたものと考えた。

3.4 実験 IV：油中ラッピング

実験 I, II および III の湿式ラッピングはラップ剤として砥粒とラップ液の蒸留水を混合したものを少量用いて行った。そのために加工面がラッピング中に空気と接触しやすく、また水を用いたために加工面が酸化しやすいことが考えられる。そこで、この酸化を防いでラッピングをするために試料を十分に脱水した石油の中に沈めて油中ラッピングを行ってみた。この結果を図10および図11に示す。図10(a)は石油と同量の水をラップ液に用いたときの加工面、(b)は石油の加工面を示している。いずれも砥粒の大きさ $1.0 \mu\text{m}$ までラッピングを行った試料である。図11は蛍光 X 線分析でこれらの試料の加工面から検出される Fe および Al のスケーラカウント数と砥粒の大きさの関係を示している。これらの結果からいわずにラップ焼けは石油中でも生じており、加工面に含まれるラップや砥粒からの破碎粉は水の場合より多くなっていることがわかる。従って、ラップ焼けは酸化を防ぐことを目的にした油中ラッピングにおいても生じていることから、工作物表面や粘着層表面に起こっていると考えられる単なる酸化によるものではないことがさらに確かめられた。

Fig. 11 Relation between particle size and Al or Fe embedded in lapping surface obtained with in-liquid lapping method

4. ま と め

黄銅のいわゆるラップ焼けは単なる加工面の酸化ではないと推測し、これを証明するためにいくつかの実験を行った結果、次のことが明らかになった。

- (1) 蛍光 X 線分析によってラッピングに用いたラップと砥粒の元素が加工面に検出された。
- (2) ラップ焼けを生じた試料は水素で還元しても

加工面が変色したままで素地色を取り戻さない。

- (3) ラップ焼けを生じた加工面の断面観察によって、工作物表面にラップや砥粒からの破碎粉および加工粉からなる微小粉の層が確認された。

- (4) 酸化しにくい一つの方法として油中ラッピングを行ったがラップ焼けは発生した。

これらのことから、本実験において黄銅のいわゆるラップ焼けは工作物表面に生じる酸化膜が主な原因ではなく、ラップや砥粒からの破碎粉および加工粉の一部がラッピング過程で工作物表面に粘着あるいは埋め込まれて微小粉の層をつくる現象であると推論した。

参 考 文 献

- 1) 例えば、松永正久：ラッピング，誠文堂新光社（1971）。
- 2) 佐藤健児，松井正己：研削焼けについて，マシンリ（1964）950。
- 3) 曾田範宗：パウデン・ティバー固体の摩擦と潤滑，丸善（1972）。
- 4) 例えば，機械作業研究会：機械工作実用便覧，産業図書（1964）369。
田中義信，津和秀夫：精密工作法（下），共立出版（1961）315。
- 5) 日本化学会：実験化学講座・界面化学，丸善（1956）173。
- 6) 浅田栄一ほか：X 線分析，共立出版（1970）120。
- 7) 例えば，臼井英治：切削研削加工学（下），共立出版（1974）70。

●——精機学会刊行図書のご案内

精機学会創立 50 周年記念出版委員会編「精密機械設計便覧」

本書は、設計の教育用としても実務用としても有用なことをねらいとして編集されています。そのために、設計の基礎知識や、精密機械の機能面からの設計手法の体系化を図り、製造技術との関連にも配慮しつつ、各企業から提供いただいた実際の生きた多数の事例を収集、整理しています。特に個々の設計事例について当該設計者のコメントを併載していますので、具体的な設計指針を得ることができます。

内 容	第 1 章 精密機械設計学	第 4 章 精密機械機能要素の設計事例
	第 2 章 精密機械部品の設計	第 5 章 精密機械および機械システムの設計
	第 3 章 精密機械要素の設計	

A 4 判，724 ページ＋資料編，定価 17 000 円，会員価格 13 600 円，送料 1 000 円

精機学会 PS 専門委員会編「マシニングセンタの無人運転技法」

（精密工学テキストシリーズ 2）

本書は、PS（現場の問題解決技法の調査研究）専門委員会の研修会の場を通じて調査研究した成果の一端をまとめたものです。学生、現場技術者を対象に、無人運転に必要な実用的技術領域について、図表、写真を極力取り入れて解説してあります。

主な内容 FMS の時代，マシニングセンタの特性，NC 装置の特性，被削性と工具寿命，ツーリングシステム，ジグおよび搬送装置，NC プログラミング法，部品加工のスケジューリング法，切りくず処理法，切削状態異常監視法，横形マシニングセンタの事例，立形マシニングセンタの事例，FMS への発展の事例，FMS の今後の動向

A 5 判，264 ページ，定価 4 500 円，会員価格 4 000 円

*精密工学テキストシリーズ 1 は現在在庫切れです