研 究

粉末アルミニウム合金の切削仕上げ面粗さに対する油剤へのたばこ混入の影響

多田 吉宏^{☆1}, 今井 雅希^{☆2}^{☆1}徳島大学工学部機械工学科, 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1.^{☆2}(株)シーアールイー, 〒460-0022 名古屋市中区金山 1-2-2.

Effect of Contamination of Tobacco to Cutting Fluid on Surface Finish of P/M Aluminum Alloy

Yoshihiro Tada^{☆1} and Masaki Imai^{☆2}^{☆1}Dept. Mech. Eng., Fac. Eng., Tokushima University, 2-1 Minami-Josanjima, Tokushima 770-8506.^{☆2}CRE Co.Ltd., 1-2-2 Kanayama, Naka-ku, Nagoya 460-0022.

Received March 4, 2003

SYNOPSIS

Effect of contamination of tobacco to cutting fluid on surface roughness has been investigated in finish turning of P/M aluminum alloy and wrought pure aluminum. Tobacco deteriorates the surface finish, so that the experiential knowledge in machining work shops is confirmed. The harmfulness of tobacco appears clearer at good finishing conditions. The deterioration in surface roughness depends on concentration of some tobacco component (s) exuded into cutting fluid; surface roughness is not influenced below a threshold concentration and the deterioration in surface roughness shows saturation at high concentrations. The adverse effect of contamination of tobacco to cutting fluid on surface roughness can be recovered by removing the harmful tobacco component (s) from the fluid by active carbon.

KEY WORDS

surface finish, roughness, tobacco, cutting oil, P/M aluminum alloy

1 緒 言

切削加工現場では工具や切削油剤に対する寿命管理の重要性が言われているが、環境整備が十分ではない事業所を中心として切削油剤中へのたばこの吸い殻の混入がしばしば見受けられる。その一方で、切削加工現場では、切削油剤中にたばこの吸い殻が混入すると切削仕上げ面のあらさが悪化する場合のあることも経験的に知られている。アルミニウムは軟質で切削抵抗の低い材料であるが、凝着性が高く潤滑条件の影響を受けやすいことから切削油剤の作用に関して多くの研究¹⁻⁹⁾が行われてきた。しかし、切削油剤中にたばこが混入した場合の影響については、わずかに神谷ら⁵⁾の研究があるのみでほとんど調査されていないのが実情である。神谷らは純アルミニウムの切削仕上げ面粗さに対する切削油剤へのたばこ混入の影響を調べ、不水溶性切削油剤を使用した場合にたばこ混入による仕上げ面粗さの悪化が認められることを報告している。しかし、切削油剤へのたばこ混入による仕上げ面粗さの変化について系統的に調査した研究はほとんど無く、たばこの悪影響が現れやすい加工条件やその作用メカニズムなどに関して十分なデータの蓄積も知見も無いのが実情である。

そこで、本研究では、粉末アルミニウム合金を主対象とする旋削仕上げにおいて、たばこの混入が仕上げ面粗さにどの程度の影響を及ぼしているのかを明らかにすることを試みた。また、たばこが切削油剤中に混入した場合にその悪影響を避ける手段についても検討を加えた。

2 試料および実験方法

被削材には、Al-12Si-6Fe-4.5Cu-0.5Mg-0.4Mnの組成を有する急冷凝固粉末押出し材の高力耐熱アルミニウム合金を用いた。この材料は比較的硬質な材料であるため、軟質で凝着を生じやすい純アルミニウムの粉末鍛造材と溶製材A1100を比較材として使用した。Table 1に示すように、以後の図中では

Table 1 Work materials used in the present experiments.

Work material	Abbrev.	Size(mm)
Rapidly solidified Al-12Si-6Fe-4.5Cu-0.5Mg-0.4Mn	AlSiFeCu	φ 15
P/M pure aluminum	P/M Al	φ 40
IM A1100-H14	A1100	φ 40

これらをそれぞれ AlSiFeCu, P/M Al および A1100 と略記して示す。

本研究で用いた切削油剤は Table 2 に示すようなもので、いずれも鉱油と脂肪酸から構成されて極圧添加剤を含まない不水溶性切削油剤である。この中で、非鉄合金用として市販されている不水溶性切削油剤 (ユシロ化学工業 CG-8) を主に用いた。また、一部の実験には、スピンドル油を基油としてこれにオレイン酸およびパーム油を 5mass% 添加した自作油も使用した。たばこはニコチンとタールの表示値の軽重を参考にして Table 3 に示す JT 製の 3 銘柄を選択した。たばこの葉の部分のみを取出して切削油剤中に所定時間浸漬して成分を溶出させた後、濾過して固形物を取り除いた油剤を使用した。切削油剤へのたばこ混入の標準条件は、各切削油剤 1 リットルに対してセブンスター® の葉 1.6g (たばこ 2 本分に相当) を混入して室温で 12h 浸漬したものとした。以後、特に断らない場合には、この標準混入条件で作成した油剤を意味する。なお、たばこの銘柄、混入量および浸漬時間は、必要に応じて変化させて標準条件以外の混入条件でも実験を行った。

切削は丸棒の旋削 (外丸削り) で行い、切削条件は Table 4 の範囲で変化させた。アルミニウムの仕上げ切削を念頭において、特に断らない限り切削工具には高すくい角、高逃げ角のポジティブタイプのバイト (以下、ポジティブ工具) を使用した。旋削に際しては、被削材と工具とをアセトンで脱脂した後、毎回の切削の直前にネガティブタイプのバイト (以下、ネガティブ工具) により送り 0.078 mm/rev、切込み 0.2 mm の条件で一層分切削して被削材表面の初期条件の統一を図った。切削油剤は常に刃先部分に十分な油剤が供給されていることに留意しながら刷毛塗りで与えた。

Table 2 Cutting fluids and their abbreviations.

Cutting fluid	Abbrev.	Ingredient
Commercial cutting oil	CG-8	JIS N1, fatty acid 1~5%
Spindle oil	SP	ISO VG-10
Spindle oil +Oleic acid	SP+OA	SP+5mass%OA
Spindle oil +Palm oil	SP+PO	SP+5mass%PO

Table 3 Tobacco used in the present experiments.

Cigarette	Tar (mg)	Nicotine (mg)
MILD SEVEN Super Lights	6	0.5
Seven Stars	14	1.2
PEACE	21	1.9

Table 4 Turning conditions.

Cutting velocity V	AlSiFeCu; 0.05~1.18 (m/s) P/M Al, A1100; 0.11~2.4 (m/s)
Feed f	0.039~0.156 (mm/rev)
Depth of cut t	0.1~0.5 (mm)
Cutting tool	positive type: (7,27,20,20,29,1,0.4), K10 negative type: (-6,9,6,6,30,0,0.8), P20

旋削後、アセトンで脱脂した被削材の軸方向の中心線平均あらさ R_a (カットオフ値 0.8 mm) を触針式あらさ計を用いて計測した。測定は試料を 90° づつ回転させながら 4 力所について行い、それらの平均値を旋削による仕上げ面粗さとした。凝着やむしれなどの突発的な潤滑状態の変化を反映しやすいことから最大高さあらさ R_t も併せて計測したが、 R_a での傾向と R_t での傾向には目立った違いは見られなかったため、最終的には客観性がある仕上げ面の平均的な状況を反映しやすい中心線平均あらさ R_a だけを採用した。

3 実験結果および考察

3.1 切削条件を変化させた場合のたばこ混入の影響

たばこ未混入の市販油 CG-8 とこれに標準混入条件でたばこを浸漬した油剤を用いて、切削速度、送りおよび切込みの各切削条件が仕上げ面粗さに及ぼす影響を調査した。使用工具はポジティブ工具である。

Fig. 1 は、切削速度による仕上げ面あらさの変化である。溶製材 A1100 に比較して急冷凝固粉末押出し材の方が全体的に粗く、被削材によって仕上げ面あらさに差が見られるが、いずれの被削材においても切削速度によるあらさの変化は僅かであった。たばこ混入油剤を用いた場合の仕上げ面あらさは、未混入油剤を用いた場合のあらさを 0.5 μm 程度粗い側に平行移動した形となり、切削油剤へのたばこの混入の影響が明瞭に認められる。

切削油剤に市販油とこれに標準条件でたばこを浸漬した油剤を用いたときの、送りによる仕上げ面あらさの変化を Fig. 2 に示す。工具刃先の軌跡が被削材表面に転写されてできる幾何学的な最大高さあらさは送りの自乗に比例する⁹⁾ため、中心線平均あらさで求めた仕上げ面あらさも送りの増加につれて粗くなる。いずれの被削材においても、たばこが混入した切削油剤を用いたときに仕上げ面あらさが大きくなり、たばこが仕上げ面の品位低下をもたらすことが判る。

切込み深さに対する仕上げ面あらさの変化を Fig. 3 に示す。ここでも溶製材 A1100 に比較して急冷凝固粉末押出し材の仕

Fig. 1 Effects of cutting speed and tobacco contamination on surface roughness.

Fig.2 Effects of feed and tobacco contamination on surface roughness.

Fig.3 Effects of depth of cut and tobacco contamination on surface roughness.

上げ面あらしが大きい、実験の範囲では切込みによるあらしの変化は小さい。たばこ混入切削油剤を使用したときの仕上げ面あらしは、未混入の切削油剤の場合に比較して、いずれの被削材の場合にも約 $0.5 \mu\text{m}$ 大きい値を示した。

アルミニウムの仕上げ切削に適したすくい角および逃げ角の大きいポジティブ工具を使用したこれまでの実験から、切削油剤中にたばこが混入することによって仕上げ面あらしが悪化することが確認された。そこで、切削油剤の特性がより現われやすい条件として、逃げ面において被削材仕上げ面との擦過作用の強いネガティブ工具を使用して切削を行った結果を Fig.4 に示す。ポジティブ工具に比較してネガティブ工具での仕上げ面あらしは大きく、またたばこ混入油剤を適用した際にあらしが大きくなる傾向にある。しかし、ネガティブ工具自体による仕上げ面あらしの悪化を受けて、切削油剤へのたばこ混入の悪影響は相対的に小さくなった。すなわち、切削油剤へのたばこの混入の影響は、粗加工では目立ちにくく、仕上げ状態が向上した場合により顕在化しやすいと言える。このため、美しい仕上げ面を求められることの多いアル

Fig.4 Effects of tool geometry and tobacco contamination on surface roughness.

Fig.5 Change in surface roughness by cutting fluid.

ミニウムの仕上げ切削では、切削油剤中へのたばこの混入防止に留意が必要である。

3.2 たばこの浸漬条件による仕上げ面あらしの変化

不水溶性の市販切削油剤を使用したこれまでの結果から、切削油剤中へのたばこの混入によって仕上げ面あらしの悪化が生じることが判った。そこで、切削油剤の種類とたばこの混入条件が仕上げ面あらしに及ぼす影響を調べた。なお、以降の切削実験は、ポジティブ工具を使用して送り 0.078 mm/rev 、切込み 0.2 mm の条件で行った。

これまでの市販油 CG-8 以外に自作油も使用して、標準条件でたばこを混入したときの仕上げ面あらしを調べた。自作油はスピンドル油 (SP) を基油としてこれにオレイン酸 (OA) またはパーム油 (PO) を 5% 添加した鉱油と脂肪酸の混合油剤で、組成的には市販油に近い。Fig.5 の結果を見ると、たばこ混入の

影響は市販油でもっとも大きく現われた。これに対して、自作油では影響が小さく、また脂肪酸の配合および種類に関わらずほとんど一定の影響を示した。この傾向は被削材を変えても同様であった。このことから、たばこから切削油剤中に溶出した成分は、被削材であるアルミニウム表面への油剤の吸着性に影響を及ぼしているか、あるいは神谷⁹⁾が指摘するように基油に何らかの影響を及ぼしている可能性が考えられ、切削油剤中に溶出して悪影響をもたらす成分の特定と併せてその作用メカニズムを今後検討する必要がある。

たばこ(セブンスター[®])の市販切削油剤中での浸漬時間に対する仕上げ面あらさの変化をFig.6に示す。潤滑性能の劣るスピンドル油を用い急冷凝固材を切削したときにはもともと仕上げ面あらさが粗いため明瞭ではないが、被削材の種類によらず、一般に仕上げ面あらさはたばこの浸漬時間の増加につれてS字状のカーブを描いて増大した。浸漬時間が2~4h以内では仕上げ面あらさの悪化は認められず、また12h以上の長時間の浸漬により仕上げ面あらさへのたばこの悪影響は飽和した。仕上げ面あらさへのたばこ混入の影響が浸漬時間に依存することは、それが切削油剤中に溶出した何らかの有害なたばこ成分の濃度に依存した現象であることを強く示唆するものである。すなわち、浸漬時間が短く切削油剤中の有害成分の濃度があるレベルに達しなければ影響は現われず、閾値が存在するように思われる。浸漬時間の増加により溶出成分の油剤中での濃度が上がるにつれて仕上げ面あらさは次第に悪化するが、12h以上の長時間の浸漬により濃度があるレベルを超えると仕上げ面あらさへのたばこの悪影響は飽和する。

そこで、たばこの浸漬量または銘柄を変化させて実験を行った。Fig.7は、たばこの浸漬量をこれまでの2倍に増した際の仕上げ面あらさの変化である。Fig.6で述べた結果(白抜き印)に対して、たばこの投入量を2倍にした場合にはたばこの影響が浸漬時間の短い段階から現われはじめ、影響の仕方がより短時間側にシフトしていることが判る。Fig.8は、市販

切削油剤に投入するたばこの銘柄を変えた場合の仕上げ面あらさを、ニコチン量(表示値)に対してプロットした結果である。本研究ではたばこの影響を明らかにすることに主眼があり、仕上げ面あらさに悪影響を及ぼす物質の特定は今後の課題であるが、たばこに含まれるニコチンとタールの量がほぼ正比例の関係にあることから、本研究での有害成分の含有量もニコチン量にほぼ比例するものと推定した。図の結果によれば、浸漬時間が4hと短い場合には、ニコチン量の少ない軽いタバコでは仕上げ面あらさの増加が少なく、ニコチン量の多いタバコでは仕上げ面あらさの増加が著しい。すなわち、有害成分の切削油剤中への溶出量が多いと考えられる重いタバコになるほど、悪影響が短い浸漬時間からより顕著に現われる。しかし、その油中濃度が十分に高くなると考えられる浸漬時間12hでは、たばこの軽重にかかわらず仕上げ面あらさの値は一定となり飽和を示した。たばこの混入していない切削油剤を用いたときに比較すると、飽和時の仕上げ面あらさの悪化量は約 $0.4\mu\text{m}$ であった。

3.3 たばこ混入の影響の低減

これまでの結果より、切削油剤中にたばこが混入すること

Fig.7 Effects of soaking time and dosage of tobacco on surface roughness.

Fig.6 Increase in surface roughness with soaking time of tobacco to cutting fluid.

Fig.8 Effects of brand of tobacco expressed by the nicotine content on surface roughness.

Fig.9 Recovery of surface roughness by activated carbon put into contaminated cutting fluid with tobacco.

によって仕上げ面あらさが悪化することが明らかになるとともに、その原因物質は浸漬中にたばこの葉から切削油剤中に溶出した何らかの成分であることが推測できた。そこで、その有害物質の切削油剤への作用が、油剤に不可逆的な変化をもたらすようなものでないと仮定すれば、その有害物質を切削油剤中から分離し油剤中での濃度を低下させることで仕上げ面あらさの悪化を低減できると考えられる。逆に、その有害物質の油中濃度を下げても仕上げ面あらさへの影響が減少しなければ、この原因物質は切削油剤に対して不可逆的な変化を及ぼしていると考えられる。

そこで、活性炭の吸着作用に着目して、この有害物質の除去または油中濃度の低下を試みた。たばこを標準条件で混入した市販油に対して94 g/l (10 mass%)の活性炭を用いたときの吸着時間に対する仕上げ面あらさの変化をFig.9に示す。活性炭を投入してからの吸着時間の経過に伴い、仕上げ面あらさは回復を示した。一般に、活性炭に限らずどのような吸着材においても、その吸着能力は吸着時間の経過につれて指数関数的に低下する。本条件でも吸着時間約2h付近から飽和を示し、仕上げ面あらさの回復量は約50%に留まった。しかし、この結果より、仕上げ面あらさに悪影響を及ぼすたばこの成分は活性炭によって吸着除去できる物質であること、および切削油剤中での有害物質の濃度低下に伴って仕上げ面あらさへの悪影響を低減できることが確認された。また、たばこの混入によってその原因物質がひとたび切削油剤中に溶出しても、活性炭に吸着させてその濃度を下げることで仕上げ面あらさが回復することから、このたばこの作用は油剤中の濃度

に依存した可逆な現象であると言える。今後、原因物質の解明を図る予定である。

4 ま と め

切削油剤にたばこが混入することによる仕上げ面あらさへの影響を粉末アルミニウム合金を主対象とする旋削仕上げにおいて調査し、以下のような結論が得られた。

- (1) 切削油剤にたばこが混入することにより仕上げ面あらさは確かに悪化し、従来加工現場で経験的に言われていたことが立証された。
- (2) 仕上げ面あらさへのたばこの悪影響は、仕上げ面ほど顕在化しやすい。
- (3) この悪影響は切削油剤中に溶出した何らかのたばこ成分の濃度に依存した可逆な現象であり、油剤中での原因物質の濃度がある閾値以上の場合に現われ、また高濃度になると仕上げ面あらさへの影響は飽和する。
- (4) 切削油剤中の原因物質は活性炭により吸着除去でき、油剤中での濃度を低下させることによって仕上げ面あらさを回復することが可能である。

謝 辞

本実験に使用した切削油剤(CG-8)をご提供頂いたユシロ化学工業㈱に謝意を表します。

文 献

- 1) 金枝敏明, 河坂博文: "軟質金属切削における塗布効果(第1報)発生条件ならびに塗布剤の境界潤滑特性の影響", 精密工学会誌, 61(1995)702-706.
- 2) T.Kaneeda and T.Taki: "Lubricant Applying Effect in Aluminum Cutting", Proceedings of 5th International Conference on Progress of Machining Technology, Beijing, (2000)185-190.
- 3) 池田慎一, 田頭孝介, 中津正志, 佐藤謙司: "アルミニウムの切削挙動に及ぼす流動パラフィン塗布剤中のオレイン酸濃度の影響", 精密工学会誌, 66(2000)1103-1108.
- 4) 池田慎一, 田頭孝介: "炭素数の異なるカルボン酸の塗布によるアルミニウムの切削抵抗の減少", 精密工学会誌, 67(2001)1150-1153.
- 5) 神谷昌嗣, 佐々木朋裕, 八高隆雄: "純アルミニウムの被削性に及ぼす切削液中ニコチンの影響", 軽金属学会第103回秋期大会講演概要, (2002)357-358.
- 6) たとえば, 田中義信, 津和秀夫, 井川直哉: 精密工作法(上), 共立出版, (1984)59.