

アルミニウムの表面平滑化に関する研究

鹿児島大学大学院理工学研究科機械工学専攻

准教授 上谷 俊平

(平成 22 年度一般研究開発助成 AF-2010009)

キーワード：アルミニウム，表面平滑加工，押し出し加工

1. 研究の目的と背景

アルミニウムは多くの分野で必要とされる金属材料であり，表面性状に対しても多くの要求が求められる．製品表面性状は表面機能や強度と関連し，塑性加工において平滑加工が容易に実施できるならば，省エネルギー，省資源の観点からも有用である．

しごき加工では，マイクロ塑性流体潤滑による凹部にトラップされた潤滑油の流出を利用した鏡面加工が行われている¹⁾．また，塑性加工の表面仕上げに関しては，鏡面創成の潤滑機構^{2),3)}や表面平滑化条件⁴⁾についての研究がある．鍛造加工においては，表面テクスチャを工具面に施して工具寿命を向上した報告⁵⁾が見られるが，平滑加工への適用はほとんど見られない．

本研究で検討している平面工具面に設けた溝列と押し出し加工の組み合わせによるアルミニウムの表面平滑加工は，工具面に設けた溝列による潤滑油膜の薄膜化による表面平滑化を行うもので，工具表面テクスチャの塑性加工への有効活用を目指したものである．この加工法では，加工実験初回の押し出し初期に被加工材の溝列への流入が生じて溝断面形状が再形成されるが，再形成後に複数回加工を実施しても溝列形状は変化せず安定した形状を保つことがわかっている^{6),7)}．また，工具表面に設けた溝列は，加工表面への薄い均一な油膜を形成する役割を持っている．著者は，本加工法でパラフィン系鉱油を試験油とした場合に，広い粘度範囲にわたり工具表面とほぼ同等の製品表面性状を持つ表面の平滑化を実現できることを示した⁷⁾．

本研究では，初期の加工過程により再形成された溝列断面形状が，潤滑油の種類や粘度の違いにより異なった形状となることに着目して，再形成された溝列工具による表面平滑加工の可能な範囲を拡大することを目的とする．再形成された溝列断面形状の違いを利用して，平面ひずみ押し出し加工実験により製品加工表面状態の改善を試みた．

2. 実験方法

2.1 実験装置

図 1 は本実験で使用した平面ひずみ押し出し加工タイプの試験装置と金型内に装填した被加工材試験片（ビレット）を示す．ダイスとコンテナは一体で，平面工具（試験面）とダイス半角 45° のテーパダイ共に分割構造になっている．金型開口部は押し出し比 2 に設定してある．平面工具には，溝なしの平面工具と溝列を設けた溝列工具を使用した．溝列工具における平面工具上の溝列位置を図 2 に示す．溝列は，金型内部の被加工材変形領域内に配置した．図 3 に溝列平面工具の溝断面形状とその寸法を示す．溝列は押し出し方向長さ 2mm 幅に，押し出し方向に直交する方向へ溝を 1mm 間隔で 3 本配置した．工具材質は SKD11 で，焼入れ，焼戻しを施した．平面工具試験面のビッカース硬さは，760HV であり，工具表面粗さは，算術平均粗さで

0.05 μ mRa に仕上げた．

ビレットには 工業用純アルミニウム A1050 (JIS) の焼なまし材を使用した．ビレットの実験前のビッカース硬さは約 23HV にそろえた．試験面表面粗さは，算術平均粗さ Ra で約 0.3 μ m に仕上げた．ビレットは，80mm \times 15mm \times 10mm の寸法のもの と 80mm \times 15mm \times 5mm の寸法のを 2 枚あわせて使用するものの 2 種類を使用した．

2.2 実験条件

実験では，図 3 に示す溝列工具（未使用工具）を用いた冷間押し出し加工実験を粘度の異なるナフテン系無添加鉱油 N1 (VG10)，N2 (VG22)，N3 (VG460) の 3 種類の潤滑油について実施した．この場合，同一工具を用いて実験を 2 回実施した．また，これらの実験で平滑な製品表面の得られなかった粘度条件については，平滑な表面への改善を目的に，押し出し過程初期に被加工材が溝内に一部流入して再形成された溝断面形状を持つ溝列工具を利用して実験を行った．図中では，溝なし平面工具を Plain，溝列平面工具を VBC と表記する．

今回使用したナフテン系無添加鉱油の場合，先に報告したパラフィン系無添加鉱油の場合⁷⁾と異なり，粘度条件 N1 (VG10) と N3 (VG460) については平滑加工ができなかった．著者らは粘度が同程度で潤滑油の種類を変えて溝列工具による押し出し加工実験を行い，製品表面性状と再形成された溝列断面形状が関連していることを示した⁸⁾．そこで，種々の実験条件で加工実験を実施し使用済みの溝列工具（再形成された溝列断面形状を持つ溝列工具）の中から，各粘度条件に対して 2 種類ずつの工具を選び，押し出し加工実験を試みた．図 4 に未使用溝列工具とその工具を使用し

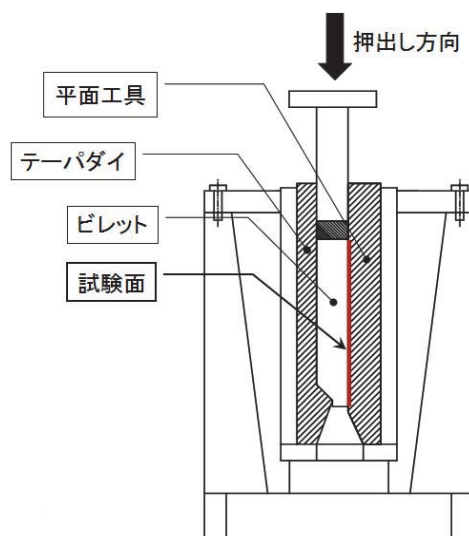


図 1 平面ひずみ押し出し加工実験装置

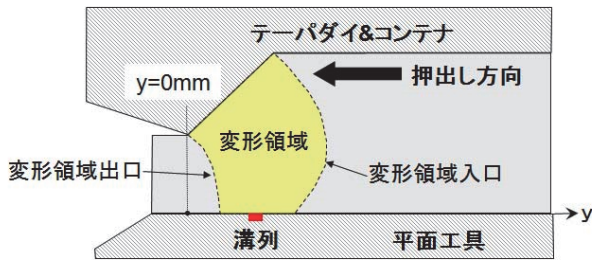


図2 平面工具上に施した溝列の配置位置

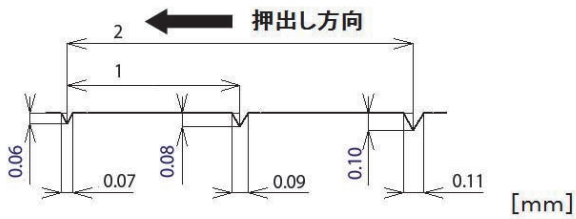


図3 未使用溝列工具の溝断面形状と寸法

て2回押し出し加工を行った溝列工具の溝断面形状を, 図5に製品表面改善のために選んだ使用済み溝列工具の溝断面形状を示す.

金型内潤滑条件(試験面)は, 質量 0.1mg まで読みとり可能な分析用電子天びんにより, 試験油の初期塗布油量を塗布質量で 5mg (0.48mg/cm²) とした. 試験面以外のピレットとの接触面については, パラフィン系無添加鉱油 VG460 を毎回ほぼ同量となるよう塗布した. 実験は室温にて実施した.

2.3 実験方法

30 トン複動油圧プレスを使用して, 平面ひずみ冷間押し出し加工実験を行った. 押し出し速度が一定となり材料の変形が定常状態となったとき(押し出し変位約 33mm), 加工を停止してピレットを取り出した. 押し出し加工実験中の押し出し荷重, プレスラム変位を荷重変換器, 変位センサーにて測定し, 動ひずみ増幅器で増幅後, アナライジングレコーダーで記録した. 実験終了後にピレットの表面観察と表面粗さの測定を行い, 製品表面性状の検討を行った. 未使用の溝列工具については, 同一工具で2回実験を行ったが,

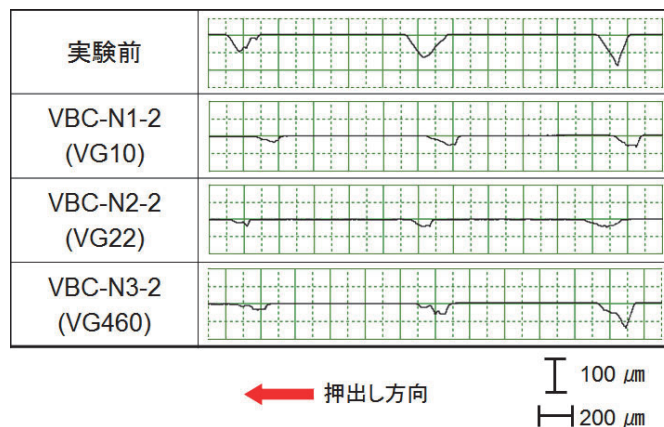


図4 未使用工具と2回目押し出し加工実験後の溝列断面形状

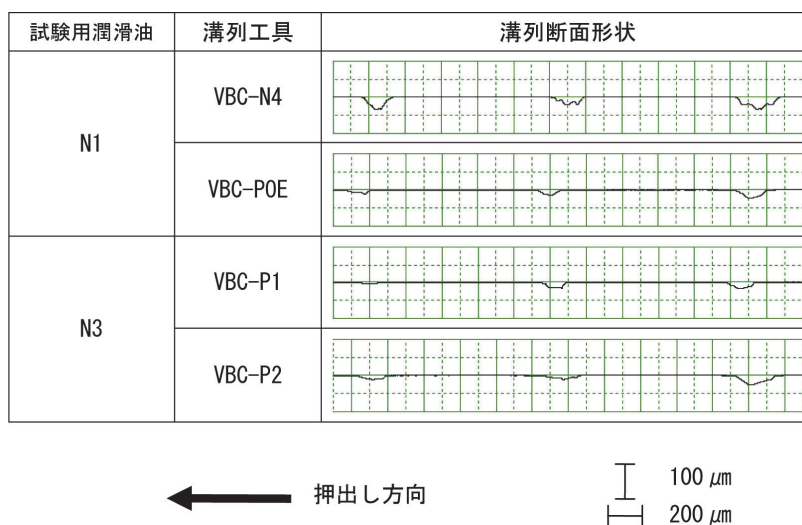


図5 再利用溝列工具の実験前の溝断面形状

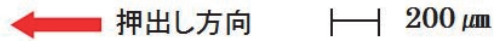
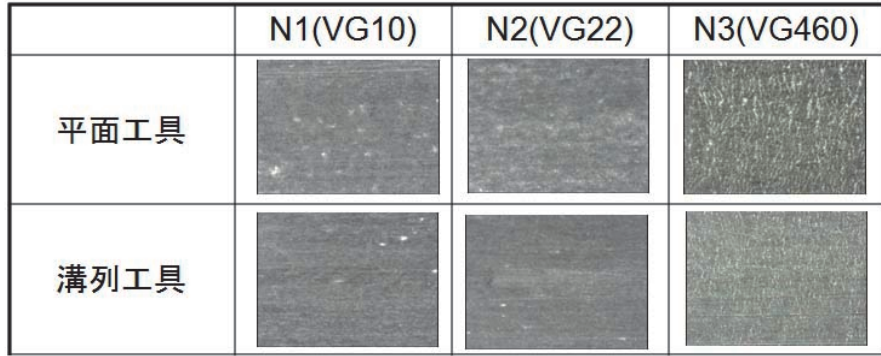


図6 金型出口部 (y=0mm) における製品表面の比較

1 回目の押し実験後に工具面をアセトンで軽く拭き取った程度で、次の押し加工実験を実施した。また、加工実験で溝断面形状が再形成された溝列工具については 1 回ずつ実験を実施した。

3. 実験結果

3-1 製品表面性状に及ぼす潤滑油粘度の影響

図3の溝列工具 (未使用工具) を用いた冷間押し加工実験により、粘度の異なるナフテン系無添加鉱油 N1 (VG10) , N2 (VG22) , N3 (VG460) の3種類の潤滑油について、溝なし平面工具を使用した場合と製品表面性状の比較を行った。この場合、溝列工具については、同一工具を用いて実験を2回実施したが、2回目の結果で検討する。図6に金型出口部 y=0mm におけるビレット表面写真を示す。また、図7に金型出口部 y=0mm におけるビレット表面粗さを示す。溝なしの平面工具 (Plane-)、溝列工具 (VBC-) いずれの場合も、低粘度の N1 (VG10) と N2 (VG22) において、工具表面粗さ (0.05 μmRa) とほぼ同じ平滑な表面が形成されていることがわかる。高粘度の N3 (VG460) においては、油膜が厚く形成されたことによる表面あれが見られる。N1 (VG10) については、溝なし平面工具 (Plane-N1) では、金型出口部を通過した後も表面粗さに変化は見られなかったが、溝列工具 (VBC-N1) による製品表面は、金型出口部を通過後のダイベアリング部で油膜切れが原因と考えられるわずかな凝着が確認され、表面あれが生じた。また、N3 (VG460) については、粘度の等しいパラフィン系無添加鉱油 VG460 を使用した溝列工具による加工実験において平滑な表面を得ることができた⁷⁾のに対し、溝列工具 (VBC-N3) による表面性状の改善ができなかった。

3-2 使用済み溝列工具の溝断面形状を利用した押し加工による製品表面の改善

N1 (VG10) と N3 (VG460) の条件については、溝列工具による製品表面の平滑化が十分に行えなかったため、図5に示した使用済み溝列工具により製品表面の改善を試みた。N1 (VG10) については、溝列工具による加工実験で潤滑油膜が十分に供給され平滑な表面が形成できなかった条件 (油膜が十分に保持された条件) の使用済み溝列工具を2種類 (VBC-N4, VBC-POE) 選択した。N3 (VG460) については、平滑な表面を加工できた溝列工具を2種類 (VBC-P1, VBC-P2) 選択した。

N1 (VG10) の粘度条件について、使用済み工具を使用した加工実験で得られた金型出口部 y=0mm におけるビレッ

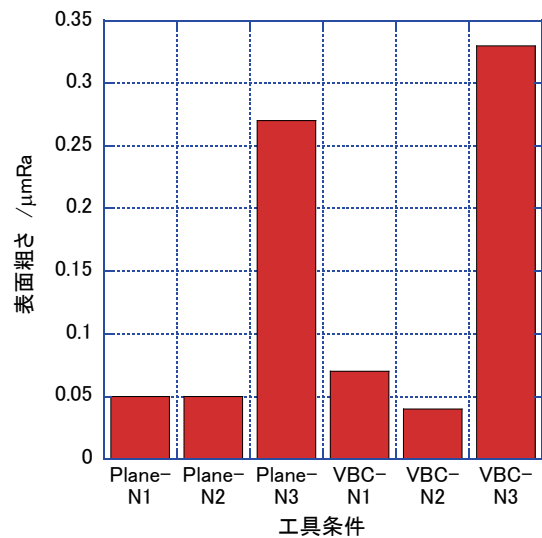


図7 金型出口部 (y=0mm) における製品表面粗さの比較 (試験潤滑油：ナフテン系無添加鉱油 N1~N3)

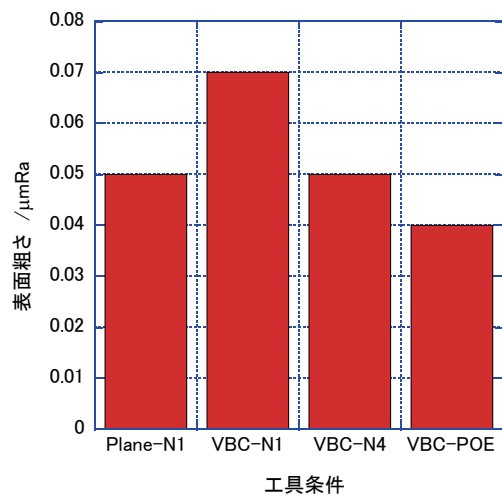


図8 金型出口部 (y=0mm) における製品表面粗さ (試験潤滑油：N1 (VG10))

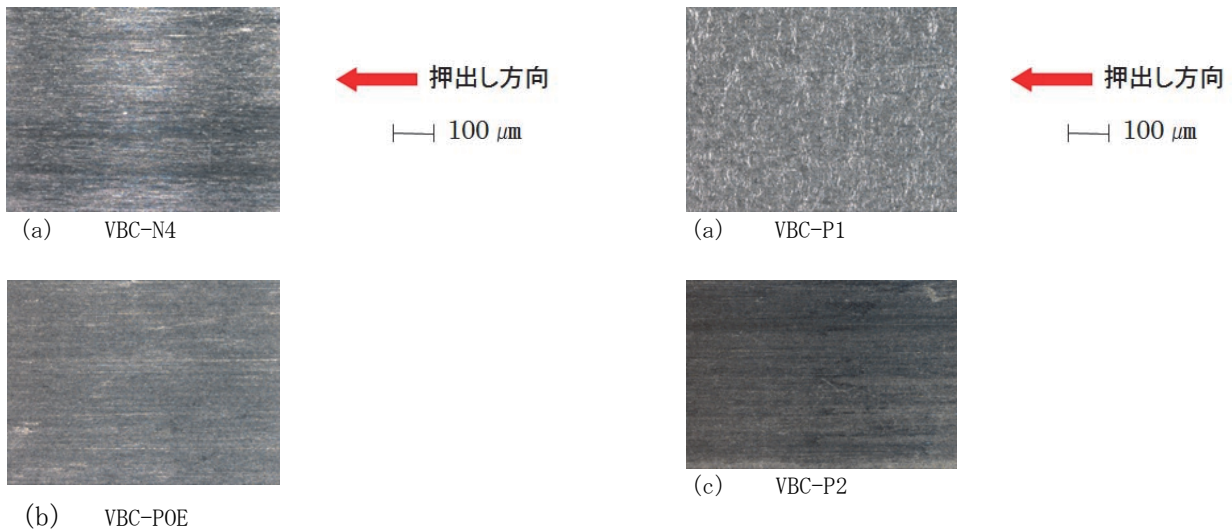


図 9 再利用溝列工具を使用した金型出口部 ($y=0\text{mm}$) における製品表面 (試験潤滑油: N1 (VG10))

図 1 1 再利用溝列工具を使用した金型出口部 ($y=0\text{mm}$) における製品表面 (試験潤滑油: N3 (VG460))

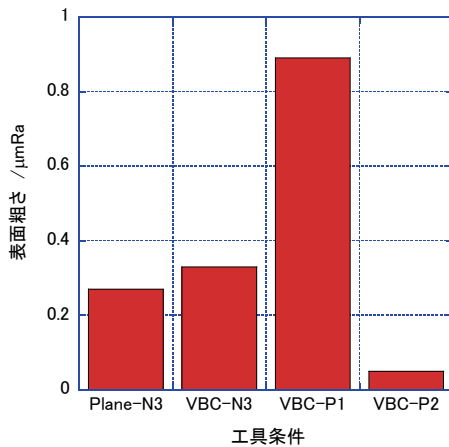


図 1 0 金型出口部 ($y=0\text{mm}$) における製品表面粗さ (試験潤滑油: N3 (VG460))

ト表面粗さを図 8 に、図 9 にその位置での表面写真を示す。比較のために、溝なし平面工具 (Plane-N1) と未使用工具を使用して実験を行った 2 回目 (VBC-N1) の結果も併せて示した。採用した VBC-N4 と VBC-POE の再利用工具による加工実験で、ともに工具とほぼ同等の表面粗さを得た。VBC-POE については、工具表面よりもわずかに平滑な表面が得られた。また、金型出口部を通過後のダイベアリング部においても工具への凝着による製品表面あれは生じず、表面性状の改善がなされている。

同様に N3 (VG460) の粘度条件についての結果を図 1 0 と図 1 1 に示す。VBC-P1 工具を使用した場合は、表面あれが大きくなった。VBC-P2 の再利用工具による加工実験では、工具とほぼ同等の表面粗さを得た。製品表面の平均表面粗さは $0.08\mu\text{mRa}$ 程度であったが、金型出口部 $y=0\text{mm}$ では、工具表面と同じ $0.05\mu\text{mRa}$ の平滑な表面を得ることができた。

4. 結び

平面工具表面に微細溝列を設けて平面ひずみ押し加

工実験を行い、工業用純アルミニウム A1050 材の製品表面平滑加工を試みた。本研究では、押し出し過程初期に被加工材の一部流入により形成された溝断面形状を持つ溝列工具の利用による製品平滑表面への改善を試みて以下の結果を得た。

(1) 溝列工具を使用した押し出し加工では、潤滑油の種類が異なると製品表面性状への溝列の効果も異なる。

(2) 各種条件で再形成された溝断面形状を持つ溝列工具と潤滑油の組み合わせを考慮することで、表面平滑化の難しい潤滑条件での製品表面の平滑加工が可能となることがわかった。

謝 辞

本研究は公益財団法人天田財団の平成 22 年度一般研究開発助成 (AF-2010009) を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表す。また、本研究を進めるにあたり、ご助言いただいた鹿児島大学中西賢二名誉教授、実験で多大な協力をいただいた鹿児島大学大学院生の本田裕一君に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) H. Kudo・A. Azushima: Proceeding of 2nd ICTP, (1987), 373.
- 2) 河合望・堂田邦明・斉藤正美・林伸和・王志剛: 日本機械学会論文集 (C 編), 55-519 (1989), 2885.
- 3) 河合望・堂田邦明・秋山和洋・王志剛: 日本機械学会論文集 (C 編), 55-517 (1989), 2493.
- 4) 中村保・近藤一義・西ヶ谷知栄: 日本機械学会論文集 (C 編), 56-530 (1990), 2794.
- 5) U. Popp・U. Engel: Proc. IMechE Part B, 220-1 (2006), 27.
- 6) 上谷俊平・中西賢二・シャルライル サミオン: 軽金属, 58-3 (2008), 111.
- 7) 上谷俊平・中西賢二・鷗野大樹・尾崎正敏: 軽金属, 59-7 (2009), 339.
- 8) S. Kamitani・K. Nakanishi・Y.-M. Guo・M. Ozaki・Y. Honda: Proceeding of 10th ICTP, (2011), 176.