

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760102

研究課題名(和文)ヘテロ表面ダイスによるしごき加工における高潤滑特性解明と電池ケース加工への適用

研究課題名(英文)High Lubricating Mechanism in Ironing of Stainless Steel Cups Using Die Having Heterogeneous Surface for Production of Battery Cases

研究代表者

安部 洋平(Abe, Yohei)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60402658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：ステンレス鋼とアルミニウム合金容器のしごき加工性をTiCN系サーメットのヘテロ表面ダイスを使用して改善した。ダイス表面の形状、しごき速度、潤滑剤の影響が主に調査された。

1) 適度な形状のダイス表面によって加工性が改善された。2) 塩素を含む潤滑剤の加工限界は硫黄含有する潤滑剤よりも高かった。3) ヘテロ表面ダイスでは加工されて容器側壁に潤滑剤が残留していた。4) 表面粗さ増大した容器の使用によって成形性が改善した。

研究成果の概要(英文)：Formability in ironing of stainless steel and aluminium alloy cups was improved using heterogeneous surface die. The effects of the shape of die surface, ironing velocity and the lubricant on the ironing limit were mainly investigated. The stainless steel and aluminium alloy drawn cups were ironed using the TiCN-based cermet die with the heterogeneous surface.

1) Ironing ability was improved by appropriate shape of die surface. 2) Applying the chlorine containing lubricant on the heterogeneous surface die has more improvement on the ironing limit than the sulfur containing lubricant. 3) In the sidewall of the cup, employing the lubricant with the heterogeneous surface die shows a thick film lubricant distributes constantly. 4) Ironing ability was improved by using increased surface roughness of the cup.

研究分野：生産工学・加工学

科研費の分科・細目：成形加工

キーワード：しごき加工 ヘテロ表面ダイス TiCN系サーメット 焼付き ステンレス鋼容器 潤滑 表面粗さ

### 1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素排出削減のために、自動車業界においては電気自動車とハイブリット自動車の普及が必要である。電池においては高密度化の製造技術が重要である。自動車に加えて、先の東日本大震災により電力のスマートグリッド化のためにも住宅に電池を設置することが今後増加する。電池ケースは従来は多段深絞り加工で製造されている。しかし、深絞り加工ではケース側壁の肉厚が不均一となり重量増加、容量低下となっており最適でない。そこで、しごき加工を導入して肉厚を均一として重量低減、容量増加できるケースの製造方法を提案する。しかしながら、電池ケースは、ステンレス鋼であり、工具鋼と親和性が高いためにしごき加工において焼付きが生ずる。

一般的なしごき加工では金型に炭化ケイ素、窒化ケイ素などのセラミックスや超硬合金などのサーメット、工具鋼の表面に VC、TiN、TiC などのセラミックの成膜、および、塩素系等の極圧添加剤を含む潤滑剤が利用される。これらは、金型表面は均質な滑らかな面で、素材表面に付けた凹凸の油溜まりがマイクロプールとなり接触界面へ潤滑剤を供給して、または、セラミックスの低親和性を利用して焼付きを防止している。しかし、多段で成形されたケースは表面が平らなために前者は難しく、セラミックス金型・表面を利用するが、金型研磨コストが高く金型の均質表面が限界にきている。そこで、セラミックスと金属からなるサーメット金型をヘテロ表面にして、金型側に凹凸の油溜まり接触界面へ潤滑剤を供給して焼付きを防止した。

### 2. 研究の目的

まず、セラミックスと金属からなる TiCN サーメット金型の有効性を調査する。次に、サーメットダイにおけるヘテロ表面の製造プロセスを図1に示す。数百ミクロンの大径ショットによる溝付けを行なって基本的な溝形状を作成する。加工中に高面圧となる頂点を数十ミクロンの小径ショットにより面取りして、最後に直径が数ミクロンの微細ショットにより表面を仕上げる。潤滑剤の供給には凹凸形状が影響するために、製造プロセス中のショット条件、後加工のラッピングを変化させて最適なヘテロ表面ダイを得て高潤滑特性を調査した。

### 3. 研究の方法

素板は、0.6mm厚さのオーステナイト系ステンレス鋼板 SUS304、フェライト系ステンレス鋼板 SUS430、アルミニウム合金板 A3003 である。SUS430 の引張強さは SUS304 よりも小さいが、加工硬化指数は小さいため伸びは小さく、成形性が低い。

まず、ヘテロ表面でない平滑な表面を有する TiCN 系サーメットの効果を調査した。深絞り加工された円筒容器のしごき加工条件を図2に示す。深絞り加工におけるステンレス鋼とアルミニウム合金の素板直径は、それぞれ 66mm と 64mm である。しごき加工される肉厚減少は、パンチ直径  $d$  によって変化した。

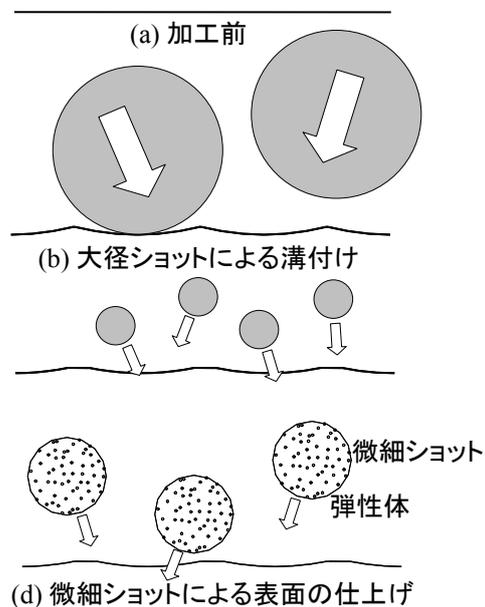


図1 ヘテロ表面の製造プロセス

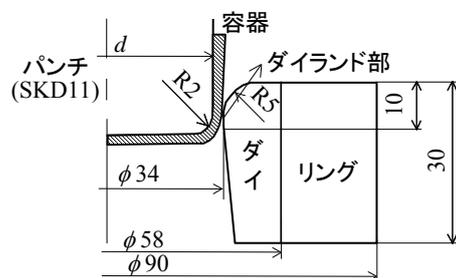


図2 深絞り加工された円筒容器のしごき加工条件

しごき加工に用いたダイのランド部表面を図3示す。ダイは、工具鋼 SKD11、JIS 規格 B4053 における V20 相当の超硬合金 (WC-Co)、CVD 法によって TiC コーティングされた V20 相当の超硬合金、TiCN 系サーメットである。TiCN 系サーメットは摩擦の低い TiCN からできている。工具鋼以外のダイの内径と外径はそれぞれ 34mm と 58mm であり、ダイの外側は鋼製リングで補強されている。ダイの表面粗さはランド部の軸方向において測定され、 $0.2 \mu\text{mRa}$  になるように仕上げられた。SUS430 では、潤滑剤は動粘度  $\rho=3.0\text{mm}^2/\text{s}$  ( $40^\circ\text{C}$ ) と  $\rho=513\text{mm}^2/\text{s}$  ( $40^\circ\text{C}$ ) の塩素系プレス油、SUS304 では  $\rho=513\text{mm}^2/\text{s}$  ( $40^\circ\text{C}$ ) の塩素系プレス油、A3003 では  $\rho=562\text{mm}^2/\text{s}$  ( $40^\circ\text{C}$ ) の油性プレス油であり、ダイと容器に塗布された。しごき加工は材料試験機を用いて行い、しごき加工速度は  $v=8.0\text{mm/s}$  であつ

た. ダイ表面は1 $\mu\text{m}$ の粒子直径のダイヤモンドペーストによって加工ごとにラップ仕上げされた.

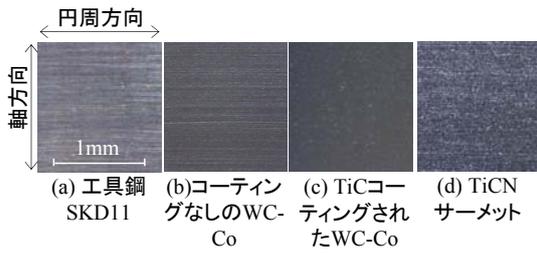


図3 ダイのランド部表面

SUS304 におけるしごき加工された容器を図4に示す.  $r=11\%$ においては欠陥のない容器が得られているが,  $r=15\%$ と  $21\%$ においてはそれぞれ側壁に焼付きと破断が生じている.



図4 しごき加工された容器(SUS304)

SUS304 におけるしごき加工限界を図5に示す. コーティングのない超硬合金, 工具鋼では高いしごき率で焼付きが生じているが, コーティングされた超硬合金とサーメットでは焼付きは防止された.

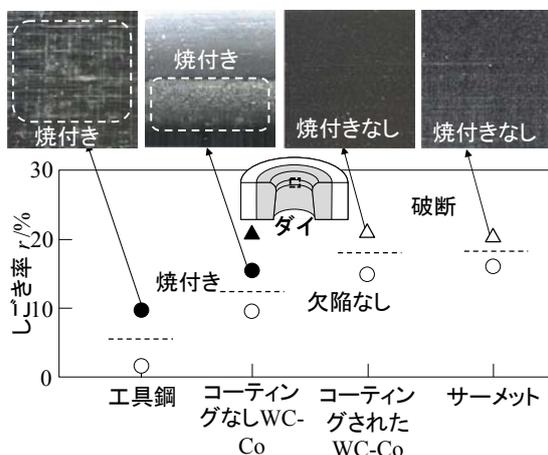


図5 SUS304 におけるしごき加工限界

SUS430 におけるしごき加工限界を図6に示す.  $\rho=3.0\text{mm}^2/\text{s}$ ではダイによる焼付き限界の差は少ないが,  $\rho=513\text{mm}^2/\text{s}$ では工具鋼以外では $r=20\%$ まで焼付きが発生せず, 粘度の上昇によって焼付き限界が向上している.

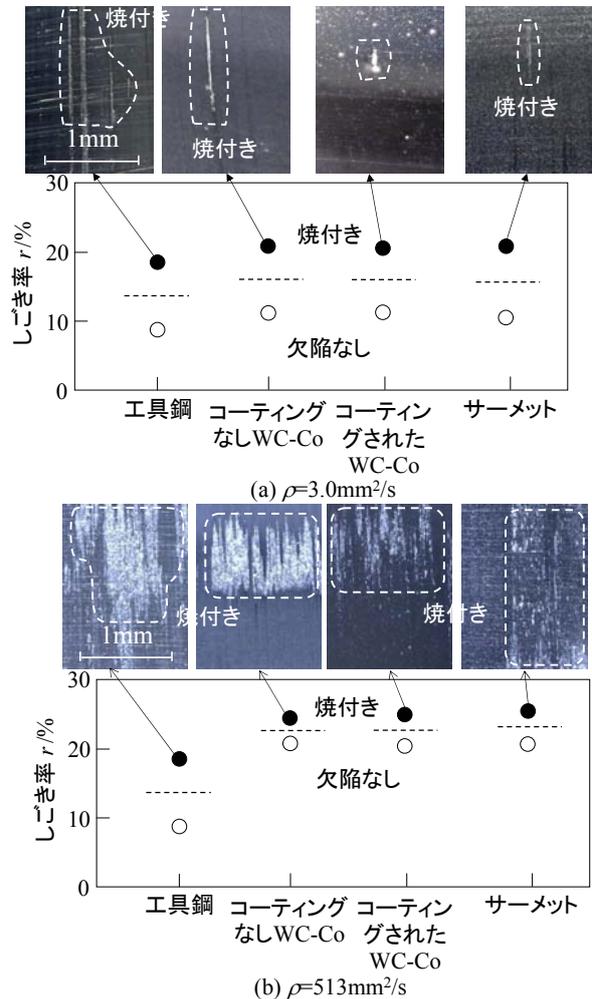


図6 SUS430 におけるしごき加工限界

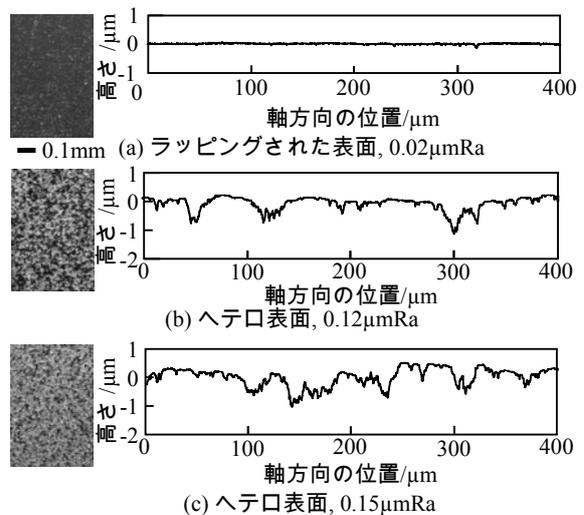


図7 ヘテロ表面ダイのランド部の表面と表面形状

次にヘテロ表面ダイのランド部の表面と表面形状を図7に示す. ショットピーニングのみのヘテロ表面では効果が高くなかったために, ショットピーニング後にダイ表面はラッピングされた. ダイの表面形状は軸方向に測定された. ラッピングされた表面は平滑, ヘテロ表面では平らな部分と凹んでいる潤滑ポケットにそれぞれなっている.

ヘテロ表面におけるしごき加工限界を図8に示す. しごき率と表面粗さを増加させると欠陥が生じ,  $0.05 \mu\text{mRa}$  から  $0.12 \mu\text{mRa}$  の範囲でラッピングよりも限界が高くなっている.

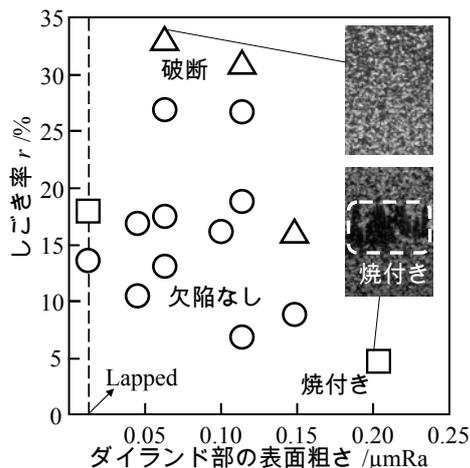


図8 ヘテロ表面におけるしごき加工限界

しごき加工後の容器に残留した潤滑油を図9に示す. ヘテロ表面では容器に蛍光粒子の白く感光した部分が観察されるが, ラッピングされた表面の容器側壁では紫外線光源の反射以外の感光はほとんどない. 残留潤滑油の観察からヘテロ表面では潤滑油の保持量が多いことが示唆された.

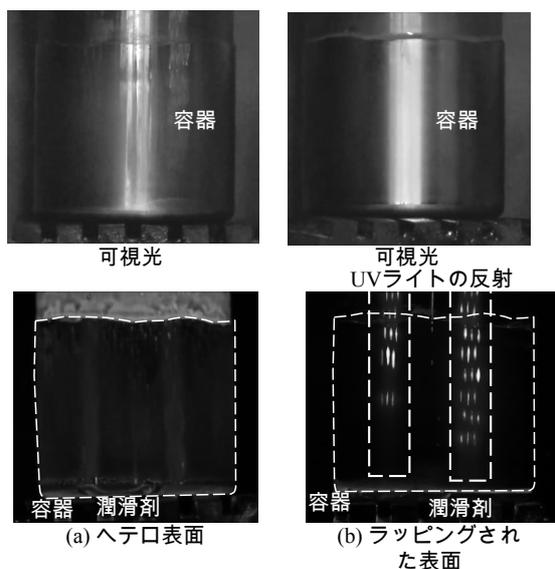


図9 しごき加工後の容器側壁に残留した潤滑油

ここでは, 環境負荷の少し小さな硫黄系潤滑剤を用いてしごき限界を調査した. 限界が小さくなるために容器表面粗さを臆してより樹かつ性能を向上させた. 深絞り容器の表面性状と軸方向の表面粗さを図10に示す. 研磨なしの容器は深絞り加工におけるクリアランスと板厚の比  $c=100\%$  で加工され, 軸方向の表面粗さ  $R$  は  $0.3 \mu\text{mRa}$  である.  $R=0.10 \mu\text{mRa}$  は深絞り容器を1500番の研磨紙により研磨された.  $R=0.35 \mu\text{mRa}$  は80番の研磨紙によって軸方向に研磨され, 円周方向の表面粗さは  $0.60 \mu\text{mRa}$  である.  $R=0.60 \mu\text{mRa}$  は80番の研磨紙によって円周方向に研磨された.

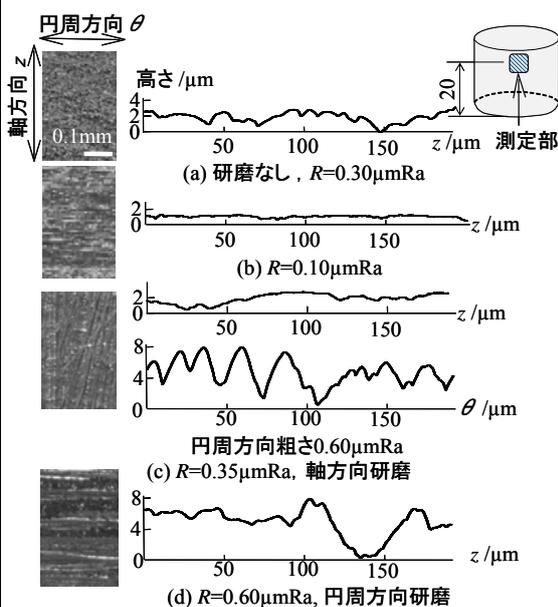


図10 深絞り容器の表面性状と軸方向の表面粗さ

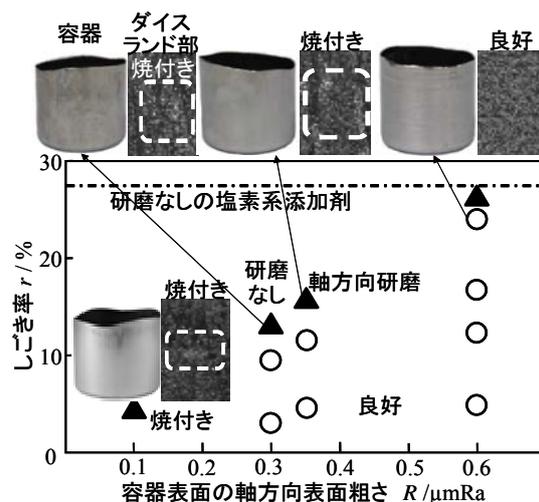


図11 硫黄系潤滑剤における加工限界に及ぼす容器表面粗さの影響

加工限界に及ぼす容器表面粗さの影響を図11に示す. 比較のために塩素系極圧添加剤を有する潤滑剤での加工限界を示す. しごき率  $r$  が増加すると焼付きが生じている. 軸

方向の表面粗さと共に限界は増加しており、 $R=0.60\mu\text{mRa}$  では、塩素系極圧添加剤を有する潤滑剤の限界と近くなっている。

#### 4. 研究成果

ステンレス鋼とアルミニウム合金容器のしごき加工性を TiCN 系サーメットのヘテロ表面ダイを使用して改善した。ダイ表面の形状、潤滑剤の影響が主に調査された。以下に得られた知見を示す。

- 1) TiCN 系サーメットの耐焼付き性は超硬合金、工具鋼よりも高かった。
- 2) 適度な形状のヘテロ表面ダイによって加工性が改善された。
- 3) ヘテロ表面ダイでは加工された容器側壁に潤滑剤が残留しており、ヘテロ表面では潤滑油の保持量が多くなってしごき加工限界が向上していたと考えられる。
- 4) 容器の表面粗さと共にしごき加工限界は増加しており、硫黄系潤滑剤で  $0.60\mu\text{mRa}$  の表面粗さでは、塩素系極圧添加剤を有する潤滑剤の限界と近くなった。

ステンレス鋼容器においてはヘテロ表面ダイと塩素を含む潤滑剤を用いたので加工限界は高く、電池ケースの製造に有効であるが、塩素の環境負荷が大きく実用化は容易でない。塩素系、硫黄系よりも環境負荷の小さな潤滑剤における加工限界の調査が今後必要である。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ①安部洋平, 藤田智大, 森謙一郎, 小坂田宏造, TiCN系サーメットダイを用いたステンレス鋼とアルミニウム合金円筒深絞り容器のしごき加工, 塑性と加工, 54-634, 2013, 978-983.
- ②安部洋平, 適所・適剤・適量で活用する最新潤滑技術 ヘテロ表面を有するサーメットダイによるステンレス鋼容器のしごき加工性の向上, プレス技術, 51-10, 2013, 44-47.

〔学会発表〕(計4件)

- ①Witthaya Daodon, ヘテロ表面ダイスを用いたステンレス鋼容器のしごき加工における成形限界に及ぼす加工速度と極圧添加剤の影響, 第 64 回塑性加工連合講演会, 2013 年 11 月 1 日, 大阪大学
- ②柴孝志, ステンレス鋼容器のしごき加工におけるヘテロ表面ダイスの高潤滑メカニズムの解明, 平成 25 年度塑性加工春季講演会, 2013 年 6 月 9 日, 大同大学
- ③Witthaya Daodon, ヘテロ表面ダイスを用いたステンレス鋼容器の連続しごき加工における焼付き発達状況, 平成 26 年度塑性加工春季講演会, 2014 年 6 月 7 日, つくば国際会議場 (予定)
- ④高橋尚志, ヘテロ表面ダイスを用いたしごき加工における容器表面粗さ増加による摩擦の低減, 平成 26 年度塑性加工春季講演

演会, 2014 年 6 月 7 日, つくば国際会議場 (予定)

〔その他〕

ホームページ等

<http://plast.pse.tut.ac.jp/sotsuken/index.html>

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

安部 洋平 (ABE Yohei)

研究者番号 : 60402658