

## 論文

## セラミックス工具を用いた亜鉛めっき鋼板の無潤滑絞り加工

基 昭夫\*<sup>1)</sup> 片岡征二\*<sup>1)</sup> 佐々木武三\*<sup>1)</sup> 加藤光吉\*<sup>2)</sup> 石田直洋\*<sup>3)</sup>

Zinc-coated steel sheets during deep drawing with use of ceramic tool under dry condition

Akio MOTOI, Seiji KATAOKA, Takezo SASAKI, Kokichi KATOH and Naohiro ISHIDA

**Abstract** Increasingly more severe restrictions on lubricants or cleaning agents in metal forming necessitate looking for methods to reduce or eliminate their use. Experiments on deep drawing of zinc-coated steel sheet are carried out with use of ceramic tools under dry conditions. Four kinds of ceramic tools are used. Rust preventive tests are carried out with the use of the salt spray method to assess surface damage of the zinc layer of drawn cups. From the experiments, it is found that ceramic tools show good tribo-characteristics in the deep drawing test of zinc-coated steel sheet under dry conditions. Limiting the drawing ratio with use of ceramic tools (SiC) under dry conditions becomes the same level as using die steel tools under lubricating conditions. Moreover there is no difference in the effect of anti-corrosion of zinc-coating between dry and wet conditions.

**Keywords** Zinc-coated steel, Deep drawing, Ceramic, Tribology, Dry condition

## 1. はじめに

近年、地球環境保護についての意識の高まりから、塑性加工でも、潤滑剤を一掃しようとする試み、すなわち、潤滑油を全く使用しない、いわゆるドライ加工実現の試みが検討されつつある<sup>1)</sup>。

この課題の解決策の一つとして、塑性加工用工具へのセラミックスの適用が考えられる。セラミックスは、トライボロジー的な特性が優れていることから、トライボ材料として期待され、これまでも数多くの研究が行われている。その中で、ある条件の下で、無潤滑でも摩擦係数が著しく小さくなるセラミックスと金属との組み合わせが存在すること<sup>2)</sup>、水や、油等の環境によってセラミックスのトライボロジー特性が変化すること等<sup>3・5)</sup>が示されている。既報<sup>6・7)</sup>において、各種セラミックス工具を用いて、一般に使用されているプレス成形用材料の中から、純チタン板、純アルミニウム板、冷間圧延鋼板、純銅板を選び、絞り性試験を行った。その結果、酸化活性の高いチタン板、アルミニウム板においてはセラミックスの効果は小さく、一方、酸化活性の小さい冷間圧延鋼板、純銅板においては効果が大きいことが確認された。また、共有結合性の強い炭化珪素、窒化珪素では

効果がより顕著であり、無潤滑での絞り加工の可能性が示唆された。

亜鉛めっき鋼板は、鋼板のさびの発生を防止するために、その表面に亜鉛をめっきしている。加工に際して、一般に硫黄等の添加されたプレス潤滑油が使われる。本研究では、セラミックスダイスを用いることによって、亜鉛めっき鋼板の無潤滑絞り加工の可能性について検討した。

## 2. 実験方法

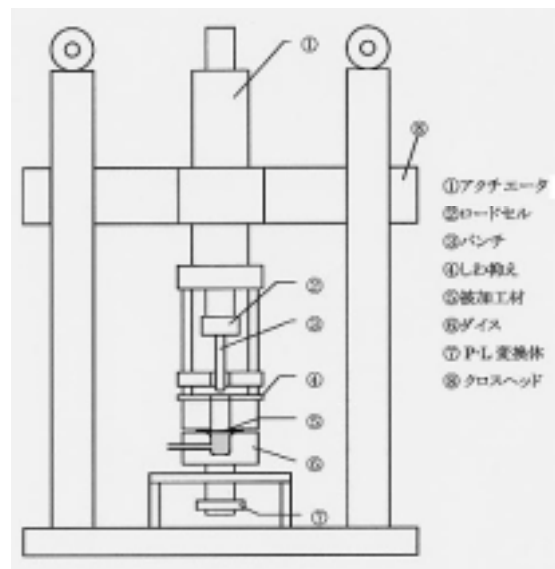


図1 実験装置の概要

\*<sup>1)</sup> 精密加工技術グループ\*<sup>2)</sup> 計測応用技術グループ\*<sup>3)</sup> 企画普及課

2.1 実験装置

本実験に使用した絞り加工試験機の概略図を図1に示す。上アクチュエータ構造で、アクチュエータ容量 150kN、ピストンストローク 200mm、加工速度 50mm/s である。

2.2 金型及び被加工材

ダイスの材質には、合金工具鋼として SKD11 (HRC60) を用い、セラミックスとしてはアルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、ジルコニア (ZrO<sub>2</sub>)、炭化珪素 (SiC)、窒化珪素 (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) を用いた。セラミックスダイスの場合、加工による破壊を防止するために二重リング焼きばめ方式とし、約 1.0% の締め代で作成した。しわ抑え板、パンチの材質は SKD11 とした。金型寸法は、ダイス内径 30.0 mm、肩半径は 3 mm、パンチ外径 27.8 mm、肩半径 3 mm である。また、表面粗さは、いずれのものも 0.2 μmRy に仕上げた。

被加工材は、自動車用の溶融合金化亜鉛めっき鋼板で、板厚は 0.8 mm で、その他の機械的性質を表1に示す。

表1 供試材の機械的性質

降伏点 N/mm <sup>2</sup>	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	伸び %	n 値	r 値	表面粗さ Ry μm
141.0	283.3	51.0	0.28	2.15	11.79

2.3 実験条件

実験には、油圧試験機を用い、5 mm/s の速度で絞り加工を行った。しわ抑え板と被加工材との間の摩擦の影響を取り除くために、しわ抑え板とブランクとの間にリング状に切り抜いたポリエチレンフィルムを挿入して実験を行った。

潤滑条件は、無潤滑を基本としたが、比較のために亜鉛めっき鋼板絞り加工用潤滑油 (粘度 26 mm<sup>2</sup>/s、40、油性剤、硫黄添加剤を含む) も一部用いた。

潤滑油を使用する場合、ブランクの両面及び金型表面に、その粗さ以上の膜厚となるように十分な量塗布した。また、無潤滑及び潤滑油塗布での限界絞り比を求めるには、ブランク表面及び金型表面を1回の絞り加工を行うごとに、# 1000 のラッピングペーパーでラッピングシヤセトンにて十分に脱脂した。ここでしわ抑え力は、3.5 kN である。

なお、同一条件で、同一寸法のブランクを5枚づつ絞り加工し、全数破断することなく絞れた場合の最大の絞り比を限界絞り比 (L.D.R.) とした。

2.3 塩水噴霧試験

塩水噴霧試験法 (JIS Z 2391) に基づいて、耐食性試験を行った。試験に際しては塩水濃度を 5±1% とし、

噴霧量は、80 cm<sup>2</sup> の水平採取面積に対して1時間あたり 0.5 ~ 3 ml とした。噴霧気圧力は 0.107 MPa で、試験温度を 35±2 として行った。塩水噴霧後の表面状態の観察は、8時間、24時間、72時間で行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 限界絞り比測定結果

3.1.1 無潤滑絞り加工

無潤滑の条件で、ダイス材質を変化させた場合の溶融合金化亜鉛めっき鋼板の限界絞り比測定結果を図2に示す。無潤滑絞り加工の場合、セラミックス工具の限界絞り比は、SKD11 ダイスを用いたものに比べて全般に大きく、溶融合金化亜鉛めっき鋼板に対してもセラミックスのトライボロジー特性が優れていることが明らかに認められる。また、酸化物系セラミックスのアルミナ、ジルコニアより、共有結合性の強い窒化珪素、炭化珪素セラミックスの限界絞り比が若干大きく、とくに炭化珪素の限界絞り比が大きくなるのが確認された。これらの結果は、既報<sup>6),7)</sup>の冷間圧延鋼板、純銅版の絞り加工における結果とほぼ一致する。

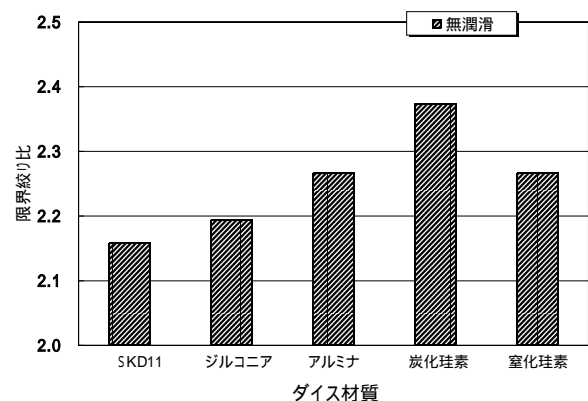


図2 無潤滑加工限界絞り比

亜鉛めっき鋼板を絞り加工すると、SKD11 製のダイスを用いた場合には、そのダイス肩半径部を中心に激しい亜鉛の移着が観察される。セラミックスダイスの場合は、量こそ少なくなるもののやはり移着が観察される。これらの移着物が、絞り加工に及ぼす影響を調査するために、それぞれのダイスを用いて100枚の連続絞り加工を行い、その後そのままの状態のダイスを用いて限界絞り比を求めた。その結果を図3に示す。なお、比較のために、図2に示した溶融合金化亜鉛めっき鋼板の無潤滑絞り加工における結果も併記した。

ジルコニアの場合に、著しい限界絞り比の向上が確認できる。SKD11 ダイスの場合には、1枚目の加工から移着量が多く、亜鉛がダイス表面へ移着成長という形態を取ると考えられる。ジルコニアダイスの場合には、

100 枚絞った後にも移着量は少なく、表面への移着・脱落・移着を繰り返し、その時生じる微粒子が一種の固体潤滑剤として作用していると考えられる。

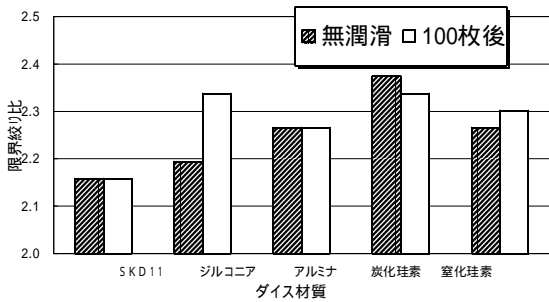


図3 100 枚連続加工後の限界絞り比

### 3.1.2 潤滑油塗布条件での絞り加工

潤滑油を使用して、溶融合金化亜鉛めっき鋼板の限界絞り比を測定した結果を図4に示す。なお、比較のために図2及び図3に示した無潤滑絞り加工における結果も併記した。

溶融合金化亜鉛めっき鋼板の絞り加工において、潤滑油を使用した場合、すべての条件で無潤滑のものより限界絞り比が大きくなるのが確認できる。しかしここで、SKD11 ダイスで潤滑油を用いたときの限界絞り比に対し、炭化珪素ダイスを用いて無潤滑で絞り加工したときの限界絞り比、さらにジルコニアダイスを用いて無潤滑で100枚連続絞り加工後に求めた限界絞り比はほぼ近い値となった。この結果だけから判断すれば、炭化珪素ダイスを用いることによって、溶融合金化亜鉛めっき鋼板の無潤滑絞り加工は十分実現できると判断される。

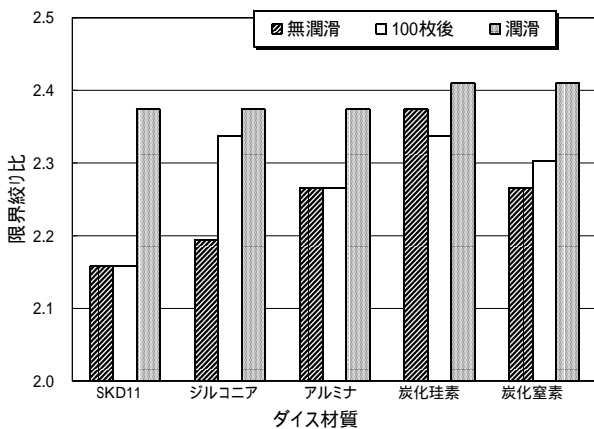


図4 油潤滑加工限界絞り比

### 3.2 加工後の表面状態

溶融合金化亜鉛めっき鋼板の加工後の表面状態を顕微鏡で観察した結果を図5に示す。どの材質のダイスを用いても、また、潤滑剤を用いても、亜鉛めっき膜にはク

ラックが発生しているのが確認できる。しかし、よく観察すると、SKD11 ダイスで加工した試料の表面には凝着による引かき傷が多く観察され、一方、炭化珪素や窒化珪素で加工した試料の表面の傷は少なかった。

カップ試料の円周方向の表面粗さ測定結果を図6に示す。測定結果から、アルミナと窒化珪素ダイスによるものは全体的に粗く、SKD11 ダイスにおいては加工枚数の増加に伴って粗さが大きくなっている。炭化珪素ダイスを用いたものはほとんど変わらず粗さが小さい。表面観察及び表面粗さの測定結果から、SKD11 よりも共有結合性の強い炭化珪素セラミックスダイスのほうが溶融合金化亜鉛めっき鋼板の絞り加工に対しては良好であることが分かる。また、また、これらの表面は、図に見られるように炭化珪素ダイスを用いた限界絞り比は無潤滑と100枚絞り後において、SKD11 ダイスで潤滑油を用いた条件のものとはほぼ同等で、無潤滑絞り加工の可能性は十分であると判断される。

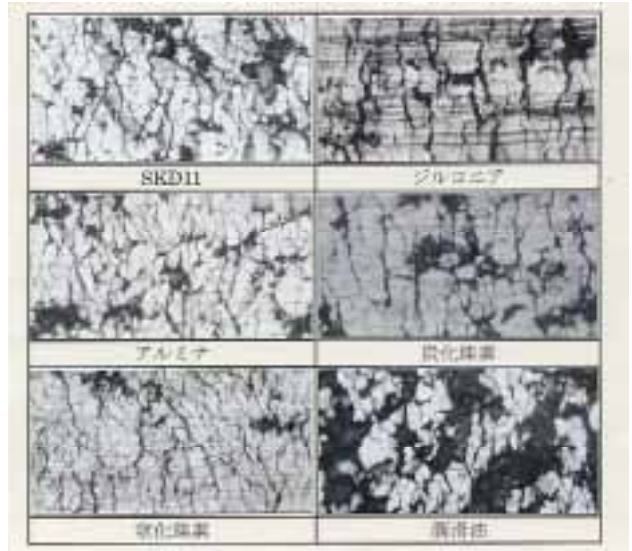


図5 溶融亜鉛メッキ鋼板の加工後の表面観察結果

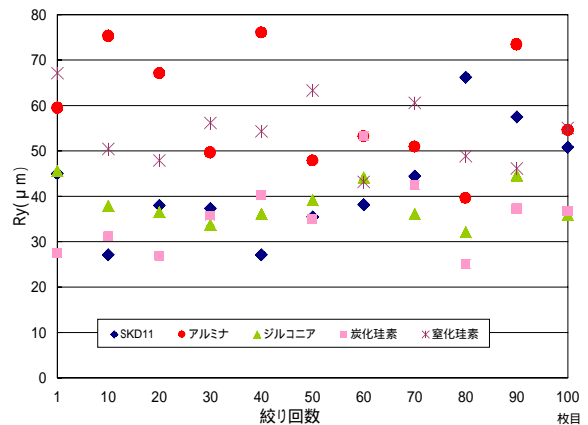


図6 絞り加工後のカップ側壁表面粗さ

### 3.3 塩水噴霧試験

加工後の表面の観察結果から、亜鉛めっき鋼板を絞り加工すると、何らかのかたちでめっき膜の破壊が生じることが確認できた。これらが、防食性の低下につながるのではと懸念される。そこで、加工をしていない状態の素材と無潤滑および潤滑加工で実験したSKD11ダイスによる加工試料について塩水噴霧試験を行った。

8時間、24時間、72時間の試験結果を図7に示す。8時間試験においては、加工していないブランクおよび無潤滑、潤滑加工のいずれにおいてもさびの発生は無かった。24時間試験においては、加工していないブランクおよび無潤滑、潤滑加工のいずれにおいても局部的なさびの発生が認められ、72時間試験においてはいずれの試料も全面的にさびが発生していた。加工後の表面状態観察結果では、めっき膜に多数のクラックが発生し、防食性が懸念されたが、加工方法によって防食性が低下する問題はないことが明らかとなった。

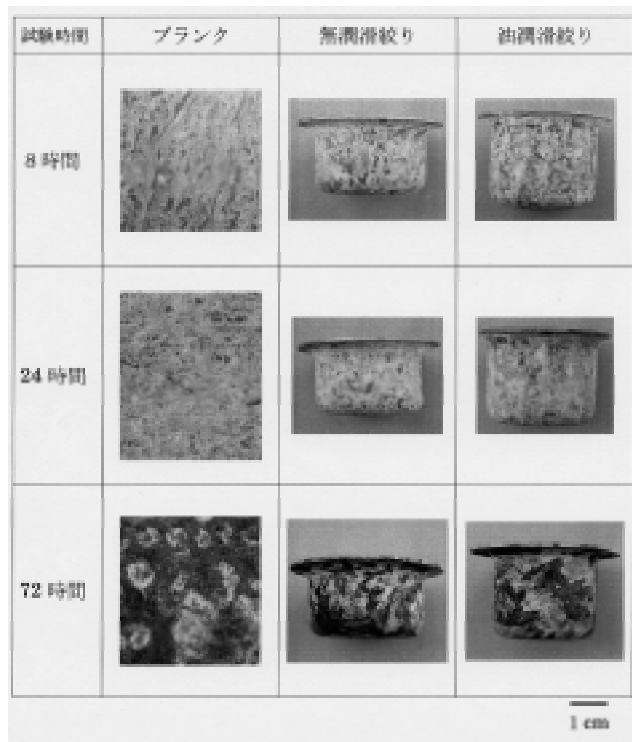


図7 塩水噴霧腐食試験による経時変化

## 4. まとめ

地球環境保護のために、塑性加工でも、潤滑剤を一掃しようとする試み、すなわち、潤滑油を全く使用しない、いわゆるドライ加工実現の試みが検討されつつある。

この課題の解決策の一つとして、本研究では、塑性加工用工具へセラミックスダイスを用いることによって、亜鉛めっき鋼板の無潤滑絞り加工の実現の可能性について実験の結果以下の結論を得た。

(1)溶融合金化亜鉛めっき鋼板の無潤滑絞り加工において、セラミックス工具の効果が認められた。とくに、炭化珪素の効果が大きい。

(2)無潤滑の条件で、炭化珪素ダイスを用いた場合の限界絞り比と、100枚連続絞り加工した後のジルコニアダイスの限界絞り比は、SKD11ダイスを用いて潤滑油を使用した場合とほぼ同等の値となった。また、表面性状観察結果、塩水噴霧試験の結果においてもほぼ同等の結果が得られ、溶融合金化亜鉛めっき鋼板の絞り加工において、セラミックス工具の適用によって無潤滑絞り加工の実現の可能性が示唆された。

最後に、本研究遂行に当たりご協力いただいた東京電機大学卒論生池之谷陽一氏と芝浦工業大学卒論生杉浦謙吾氏、潤滑剤をご提供いただいた日本工作油(株)木村茂樹氏、溶融合金化亜鉛めっき鋼板をご提供いただいた新日本製鉄(株)感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) ドライマニュファクチャリング検討委員会：環境対応型産業機械に関する調査研究，(財)機械振興協会経済研究所発行(1999)。
- 2) 榎本明弘，平塚健一，笹田直：トライボロジスト，36-1，51-56(1991)。
- 3) 加藤康司：トライボロジスト，34-2，14-20(1989)。
- 4) 畑一志：トライボロジスト，34-2，41-44(1989)。
- 5) 佐々木信也：潤滑，33-8，44-52(1988)。
- 6) 片岡征二：塑性加工連合講演会，349-350(1999)。
- 7) 片岡征二，加藤光吉，佐々木武三，基昭夫：材料試験技術，45-4，497-503(2000)

(原稿受付 平成13年8月1日)