

令和 3 年 10 月 22 日現在

機関番号：82670

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14442

研究課題名（和文）チタンのドライ・セミドライプレス加工における凝着抑制技術の開発

研究課題名（英文）Development of Adhesion Preventing Method on Dry and Semi-dry Press Forming of Titanium Alloy Sheets

研究代表者

奥出 裕亮（Okude, Yusuke）

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発本部開発第一部機械技術グループ・副主任研究員

研究者番号：10707102

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：容易に金型への凝着が生じるチタンの絞り加工における凝着抑制法の開発に取り組んだ。チタンの凝着は表面の酸化被膜が加工中に剥離するため凝着が生じることに着目し、絞り加工中の酸化被膜の剥離を抑制することでチタンの凝着を抑制する方法を開発した。具体的には、酸化被膜を施したチタン合金板の円筒深絞り加工において、圧縮空気の金型内部への援用と高周波振動印加しわ抑え力の援用することにより、チタンの酸化被膜剥離を抑制した。結果として、金型への凝着を抑制したドライ・セミドライプレス加工を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

チタン合金のプレス加工では、容易に金型へチタンが凝着する。化学的にはチタンは非常に活性な金属のため、従来の凝着抑制法で使用される潤滑剤や、コーティング金型では凝着を抑制することが困難であり、コーティング金型と潤滑剤を適用しても抑制は困難であった。本研究で開発した凝着抑制法では圧縮空気を適用するため、潤滑剤を適用しない環境負荷を低減したドライ・セミドライプレスにおいて金型の材質が一般的なダイス鋼の条件でも凝着を抑制することが可能な手法となる。

研究成果の概要（英文）：Generally, the adhesion of titanium alloys easily occur between die and blank during press forming which is maintain the sliding along smooth with continuous contact surface with high surface pressure. In the case of titanium alloy sheets, it is especially difficult to prevent the adhesion. Hence, we have been focused on the preventing of oxide surface film peeling during deep-drawing process. The adhesion was prevented by preventing of oxide surface film peeling during deep-drawing process. To prevent the oxide surface film peeling during deep-drawing process, the dry and semi-dry press forming with the application of compressed air into die and blank holing force (BHF) with low-frequency vibration was developed. The oxide surface film peeling was prevented during deep-drawing process in developed dry and semi-dry press forming. As a result, the adhesion was prevented in dry and semi-dry press forming of titanium alloy sheets with oxide surface film.

研究分野：塑性加工

キーワード：凝着抑制技術 円筒深絞り加工 チタン合金板 酸化被膜 圧縮空気 高周波振動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、チタンは幅広い分野での適用が増加し、高加工速度等の特徴を有するプレス加工の適用が求められているが、これまでプレス加工は積極的に行われなかった。その大きな理由として、チタンは化学的に活性な金属であり、金型に容易に凝着するという問題点があり、凝着抑制のために、固体潤滑材等を用いた加工が一般的である。しかし、固体潤滑材は、製品の寸法精度や環境負荷といったデメリットが生ずる。そのため、潤滑剤を使用しないドライ加工が要求されているが、硬質炭化膜と潤滑剤を併用する手法やチタン酸化膜+超鋼ダイスもしくはアルミ青銅ダイス+潤滑剤の組み合わせといった手法で凝着を抑制するのが現状であり、凝着を抑制したドライ・セミドライプレスは困難である。チタンの凝着抑制には、加工中にチタン表面の酸化膜剥離を抑制することが必要不可欠である。そのため、申請者は、酸化膜と親和性の高い湿り空気の援用に着目し、先行研究として、しわ抑えに低周波の振動を印加可能であり、加工中に高圧の湿り空気を援用可能な小型のサーボプレス機を開発して、大気酸化したチタンの深絞り加工に取り組んだ。その結果、一般的に凝着を抑制しやすい低速でのプレス加工に比べて、高圧の湿り空気と低周波振動援用しわ抑えの適用により、高速加工でのチタン表面の酸化膜の剥離抑制を確認したため、研究目的は、湿り空気および振動の援用による酸化膜剥離抑制を利用したチタンのドライ・セミドライプレス加工における凝着抑制技術の開発とした。

2. 研究の目的

チタンのプレス加工では、チタンと金型の物理的な接触を防ぐために固体潤滑剤等を用いて、凝着を抑制するが、環境負荷低減のために潤滑剤を使用しないドライ加工が要求されている。現状では、ドライ加工化が困難であり、硬質炭化膜+潤滑剤等で凝着を抑制している。そのため、凝着を抑制可能なドライ加工技術の開発が必要である。凝着は、チタン表面の酸化膜が加工により剥離し、金属清浄面同士の接触が生じると容易に発生する。そこで、湿り空気および振動の援用により、加工中に酸化膜剥離を抑制することで、チタンおよびチタン合金の凝着を抑制したドライ・セミドライプレス加工を実現する。具体的には、温度、圧力等を制御した湿り空気を援用し、プレス加工を行うことにより、ダイ肩部でのチタンの酸化膜剥離抑制を達成する。

3. 研究の方法

湿り空気および高周波振動の援用が可能なプレス装置の開発

本研究では、凝着を抑制したチタンのドライ・セミドライプレス加工を達成するため、円筒深絞り加工中に湿り空気および高周波振動を援用可能なプレス装置の開発を行う。湿り空気および低周波振動を援用したドライ・セミドライ加工の見通しについては、先行研究にて、高圧の湿り空気およびしわ抑えの低周波振動援用し、大気酸化処理を行ったチタンの円筒深絞り加工において、酸化膜剥離を抑制し、金型への凝着量が減少した結果を得ている。しかしながら、先行研究では、わずかにチタンが金型に凝着することへの対処や湿り空気の条件（圧力、湿度および温度等）および低周波以上の周波数の効果を解明するまでには至っていない。また、プレス加工機の性能として、高比強度のチタン合金の成形が困難な加工力である。そこで、加工装置として、A.円筒深絞り加工中に金型への高周波振動が印加可能であり、高比強度のチタン合金に対応可能な加工力を有するプレス加工機およびB.湿り空気の圧力、湿度および温度を制御した湿り空気を送り込むための装置を開発し、AとBからなるプレス装置を開発する。

チタン・チタン合金の酸化膜の剥離抑制および凝着抑制モデルの構築

容易に金型と供試材の間が高接触面圧状態になるプレス加工において、凝着は摩擦力の作用によりチタン表面の酸化膜が剥離し、チタンの金属清浄面が露出することで、金属清浄面同士が接触するのが大きな原因である。そこで、チタン表面の酸化膜と金型の金属清浄面が常に接触するように加工中生じる酸化膜の剥離を抑制する。手法として、湿り空気および高周波を援用するが、圧力、湿度および温度等といった様々な湿り空気および高周波を金型に援用した条件下における酸化膜の剥離抑制および凝着抑制モデルの構築については解明されていないため、異なる大気酸化温度および保持時間といった条件の膜厚に対して、湿り空気の条件（圧力、湿度、温度等）および異なる周波数での高周波を印加した条件で試験を行うことにより、酸化膜の剥離の有無、形態、加工後の表面の状態等を観察・測定を行う。結果より、チタンの深絞り加工における深絞り加工における酸化膜の剥離抑制モデルを構築する。その後、構築した酸化膜の剥離抑制モデルと各加工条件（湿り空気、高周波、加工力等）における試験後の金型の凝着量の測定結果（凝着形態、凝着量等）から、チタンの凝着抑制モデルの構築を行う。これらの結果から、チタンの加工中の酸化膜剥離を抑制することにより、プレス加工中に金型にチタンが凝着しない技術の開発を行う。

チタンの汎用的ドライ・セミドライプレス加工における凝着抑制法の開発加工速度やプランクとダイの接触面圧に大きく依存する。そのため、絞り比（プランク直径/パンチ直径）、プランクの板厚、ダイ肩半径、およびパンチ肩半径といった各条件において、湿り空気および高周波振動を援用した円筒深絞り加工を行う。図3に湿り空気および振動を援用した円筒深絞り加工の模式図を示す。平成28年度に開発したチタン合金板を成形可能なプレス加工装置および平成29年度に開発した凝着抑制のための要素技術を適用することで、凝着を抑制したチタンのドライ・セミドライプレス加工を実現する。

4. 研究成果

5. 主な発表論文等

本研究は、容易に金型への凝着が生じるチタンの絞り加工における凝着抑制を目的としている。チタンの凝着は表面の酸化被膜が加工中に剥離し、金属の清浄面が露出した個所で金型と接触することに起因して、凝着が発生することに着目し、絞り加工中の酸化被膜の剥離を抑制することで、チタンの凝着を抑制する方法を提案した。具体的な凝着抑制技術（酸化被膜剥離抑制技術）として、「絞り加工が行われる金型内へ圧縮空気を積極的に援用すること」と「圧縮空気が金型内に円滑に入り込むために高周波振動を金型へ印加すること」に着目した内容であり、純チタンおよびチタン合金を対象として、本凝着抑制技術の骨子である圧縮空気の援用+高周波振動印加しわ抑え力を適用した絞り加工を行った。チタンの酸化膜は、陽極酸化、大気酸化および生成条件により、被膜膜厚、結晶構造が異なることから、それぞれの生成方法で酸化膜を有する純チタンおよびチタン合金を供試材として絞り加工を行った。また、各生成方法と膜厚によって、絞り加工における酸化膜が剥離する特性が異なるため、加工条件として、金型形状、金型の材質、加工速度、しわ抑え力といった一般的な絞り試験における基礎特性を取得した。その後、異なる条件における圧縮空気の援用+高周波振動印加しわ抑え力の効果を解明するために、圧縮空気の温度、圧力、また高周波振動印加の有無といった凝着抑制技術の適用を行った。平成30年度では、平成29年度で行った試験結果と合わせて、加工条件および凝着抑制手法の適用条件のデータベースの構築を行った。チタン表面に生成した酸化被膜に適した加工条件および凝着抑制手法の適用条件を選択することで、絞り比（プランク直径/パンチ直径）2.1での円筒深絞り加工において、凝着を抑制する結果を得た。

〔雑誌論文〕(計 2件)

Yusuke Okude, Taku Iwaoka, Isao Nakamura: Development of Adhesion Preventing Method during Deep Drawing of TP340 Titanium Sheets, Journal of AMPT, 2019, DOI: 10.1080/2374068X.2020.1793272

Yusuke Okude, Taku Iwaoka, Isao Nakamura: Development of Adhesion Preventing Method during Deep Drawing of Titanium Alloy Sheets, Proceedings of the 13th International Conference on the Technology of Plasticity, 2021, pp.2741-2749

〔学会発表〕(計 4件)

奥出裕亮他: TP340 チタン板の円筒深絞り加工における凝着抑制技術の開発, 軽金属学会, 2018

奥出裕亮他: 酸化処理を施した TP340 純チタンの円筒深絞り加工における凝着抑制法の開発と凝着に及ぼす加工条件の影響, 塑性加工学会, 2019

Yusuke Okude et al.: Development of Adhesion Preventing Method during Deep Drawing of TP340 Titanium Sheets, Advances in Materials and Processing Technology (AMPT), 2019

Yusuke Okude et al.: Development of Adhesion Preventing Method during Deep-Drawing of Titanium Alloy Sheets, International Conference on the Technology of Plasticity (ICTP), 2021

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 絞り加工装置及び絞り加工方法

発明者: 奥出 裕亮

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2018-189218

出願年: 平成 30

国内外の別: 国内

取得状況(計 1件)

名称: 絞り加工装置及び絞り加工方法

発明者: 奥出 裕亮

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特開 2020-055031

取得年: 2020

国内外の別: 国内

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。