

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14058

研究課題名（和文）域差・時間差強制潤滑法によるハイドロフォーミングの自在板厚制御

研究課題名（英文）Flexible Thickness Control of Hydroforming by Forced Lubrication Method in Arbitrary Region and Time

研究代表者

窪田 紘明（Kubota, Hiroaki）

東海大学・工学部・講師

研究者番号：30845920

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：ハイドロフォーミングにおける時間差・域差強制潤滑実験を行った。その結果、時間差潤滑について以下の知見を得た。1) 潤滑剤圧力を成形途中で降下させる制御方法により肉厚分布が制御可能である。2) 潤滑剤圧力降下時の内圧を大きくすると潤滑剤供給口の近傍の肉厚が低下し、コーナー部の肉厚が増加する傾向になった。3) 成形の初期から中盤において潤滑剤を制御することが肉厚分布の制御のために重要である。また、域差潤滑について以下の知見を得た。4) 潤滑剤供給口から5 mmから15 mmの位置に、高さ0.1 mmから0.2 mmの段差を設けることで、潤滑剤の流れをせき止めることが可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本技術は特許出願済（特開2023-037121）であり全く新しい。本研究では潤滑剤の制御により構造部材の肉厚を部位毎に変更できることをはじめ実証した。即ち難成形材の成形性の向上と、肉厚分布の自在制御による部材の軽量化の可能性を見出すことができた。今後、本技術を適用した構造部材の強度評価を行いその影響を検証予定である。これらの成果は、CO2排出量の削減と地球環境の保護に資するものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we performed experiments on time- and area-dependent forced lubrication during tube hydroforming based on this technology. We obtained the following findings about time-dependent lubrication: 1) The thickness distribution can be controlled by lowering the lubricant pressure during forming. 2) Increasing the internal pressure at which the lubricant pressure is lowered tended to reduce the thickness in the vicinity of the lubricant supply port (center of the flat area) and increase the thickness of corners. In other words, there was a trade-off between the thickness of flat areas and corners. 3) Controlling the lubricant from the start to the middle stage of forming is important in controlling the thickness distribution. We obtained the following finding about area-dependent lubrication: 4) Lubricant flow can be held back by providing a level difference of 0.1 mm-0.2 mm at a position 5 mm-15 mm from the lubricant supply port.

研究分野：塑性加工

キーワード：塑性加工 管材 鉄鋼材料 チューブハイドロフォーミング 軽量化 強制潤滑 自動車構造部材 肉厚制御

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

地球環境の保護は重要な課題であり自動車産業においては燃費および電費改善による CO₂ 排出量の削減が求められている。本課題に対する方策の一つとして通常は板金で製作される自動車のボデー骨格を高強度鋼管に置き換える検討がなされている。この閉断面かつ高強度な部材により軽量化が達成でき、燃費改善につながる事が期待される。鋼管を用いた部材の主な成形法の一つは内圧で鋼管を膨出させるチューブハイドロフォーミングである。

チューブハイドロフォーミングでは管端から遠く軸押し効果が得られにくい部位において減肉や割れの発生が問題になることがある。著者らはこの問題を解決するために周方向に材料を効率よく流動させることを目的とした強制潤滑技術をこれまでに開発してきたり、すなわち図1に示すように金型と材料が成形初期に接触する位置に高压の潤滑剤を供給する方法である。これまでの検討において本方法により肉厚の均一化効果および割れの防止効果が得られることが明らかになった。本強制潤滑技術は潤滑剤圧力が内圧から独立しているため潤滑剤圧力を自在に制御可能である。著者らはこの特性を利用すれば成形中に潤滑剤圧力を変動させることで肉厚分布を自在に制御できる可能性があると考えた。このように時刻に応じて潤滑剤圧力を変化させる潤滑方法を「時間差潤滑」と呼ぶことにする。

さらに肉厚を部位毎に制御可能となれば、自動車の衝突エネルギー吸収部材等に管材を利用したときの設計の自由度が増すため有用である。このように場所毎に潤滑状態を変更する方法を「域差潤滑」と呼ぶことにする。

本潤滑技術の効果は部品の肉厚分布の設計自由度を増すだけに留まらない。本技術の適用は金型を製造した後に潤滑状態を変更することによって製品の肉厚分布の調整が可能になることを意味する。たとえば自動車の衝突試験後に設計変更が生じて、圧力制御パターンを変更するだけで衝突性能の修正が可能になる。以上のように肉厚分布の自在制御は多くの利点を生み出す可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では時間毎・部位毎に潤滑状態を変更する時間差・域差強制潤滑の可能性をチューブハイドロフォーミングを用いて検討することを目的とした。

3. 研究の方法

図1(a)に実験装置の構成と縦断面で見た管材の変形状態の模式図を示す。内圧発生用と潤滑剤供給用に2台の油圧ポンプを用いた。内圧用の圧力媒体と潤滑剤にはともに動粘度 32 cSt の油圧機器用作動油を使用した。内圧 P_i および潤滑剤圧力 P_l は図1(a)に示す制御装置とリリーフ弁により個別に制御した。被加工材には機械構造用炭素鋼管 (JIS 規格 STKM11A) を用いた。材料の寸法は外径 $\phi 50.8$ mm, 公称板厚 $t=1.2$ mm, 長さ 300 mm とした。図1(b)に金型形状を示す。

図2に時間差潤滑における内圧および潤滑剤圧力設定の模式図を示す。どの条件でも内圧は時間に対して比例的に上昇するように設定した。内圧は約 20 秒間の間に 70 MPa まで上昇させた。潤滑剤圧力は加工開始と同時に最高出力に設定して、内圧が指定の値に達したときに圧力を急激に降下させた。この潤滑剤圧力降下時の内圧を P_{ir} と表記する。本実験では P_{ir} を 0, 25, 30, 40, 50, 70 MPa とした。 $P_{ir} = 0$ MPa は強制潤滑を行わない従来法を意味する。 $P_{ir} = 70$ MPa は強制潤滑を成形終了時まで継続することを意味する。

さらに域差潤滑実験も行った。即ち、強制潤滑剤時に潤滑剤が存在する範囲を限定する方法を検討した。管材と接する部分の金型を入れ子構造として金型表面形状を容易に変更できるようにして、入れ子金型に潤滑剤をせき止めるための段差を設けた。段差の高さ h を 0.1, 0.2 mm の 2 水準、潤滑剤供給口の中心から段差までの距離 g を 5, 10, 15 の 3 水準とした。

4. 研究成果

図3(a)に上型により成形された部位の周方向の肉厚分布を示す。測定部位は中央断面 (図1(a)の C-C' 断面) である。 P_{ir} の変更に伴い肉厚分布を大きく変化させることが出来た。

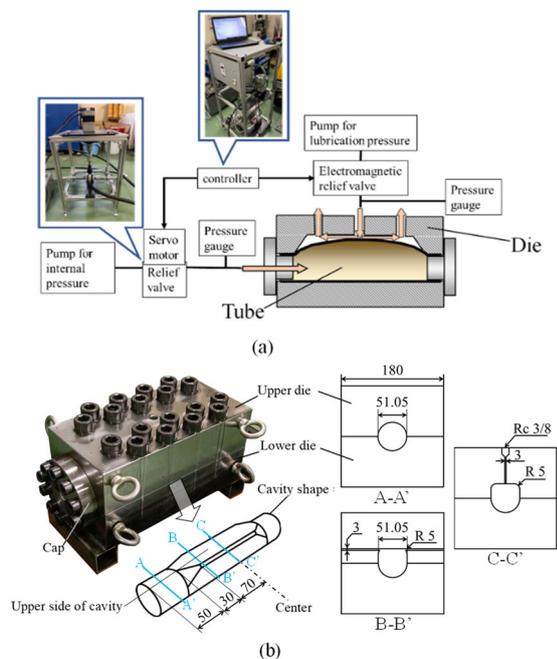


図1 実験装置 (a)実験装置の構成および油圧回路, (b)金型形状

図3 (b) に図3 (a) の位置 a, 位置 b, 位置 c での肉厚の値を抽出した結果を示す. 位置 a は断面の中央であり潤滑剤供給口の位置である, 位置 b は平坦に成形された部分の端部近傍, 位置 c はコーナ部の中央である. P_{ir} を大きくすると位置 a の肉厚が低下し, 位置 b および位置 c の肉厚が増加する傾向になった. 即ちトレードオフの関係になった. 詳細に結果を見ると, P_{ir} が 0 から 40 MPa の範囲では肉厚は大きく変化するが, P_{ir} が 40 から 70 MPa の範囲では変化が小さかった. この原因は $P_i=40$ MPa で成形がほとんど完了しているためである.

以上のことから, 本実験で実施した潤滑剤圧力を成形途中で降下させる方式により肉厚分布が制御可能であることが分かった. また, 成形の初期から中盤において潤滑剤を制御することが肉厚分布の制御のために重要であることが明確になった.

次に域差潤滑実験における肉厚測定結果の一例を図4に示す. Sec. 1 は段差よりも潤滑剤供給口に近い部位, Sec. 2 は段差を隔てて潤滑剤供給口よりも遠い部位である. これらの間に肉厚差が生じており域差潤滑ができていていることがわかる. 本実験の範囲では段差の高さ h および潤滑剤供給口からの距離 g が肉厚分布におよぼす影響は認められなかった.

本技術は特許出願済 (特開 2023-037121) であり全く新しい. また, 本研究では潤滑剤の制御により肉厚を部位毎に変更できることを実証した. 即ち難成形材の成形性の向上と, 肉厚分布の自在制御による部材の軽量化の可能性を見出すことができた. 今後, 本技術を適用した構造部材の強度評価を行いその影響を検証予定である.

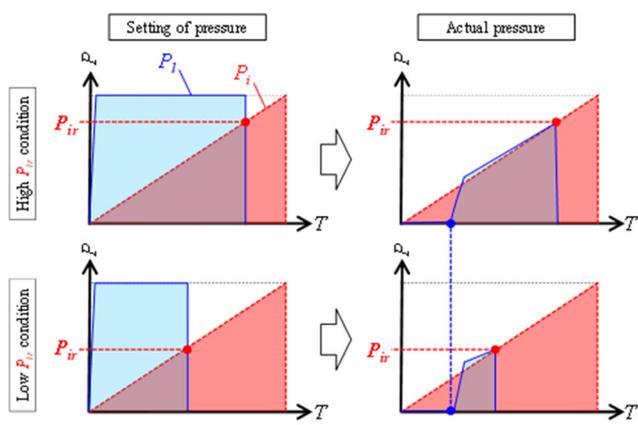


図2 時間差潤滑における油圧パターン

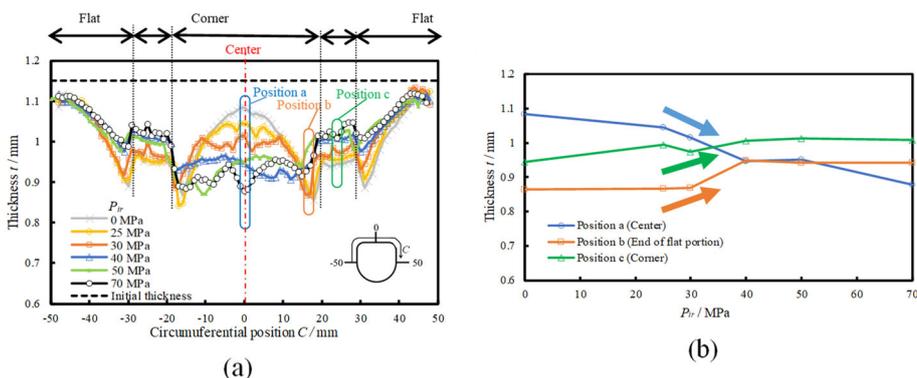


図3 時間差潤滑における実験結果 (a) 試験片中央断面における板厚分布, (b) P_{ir} と板厚 t の関係

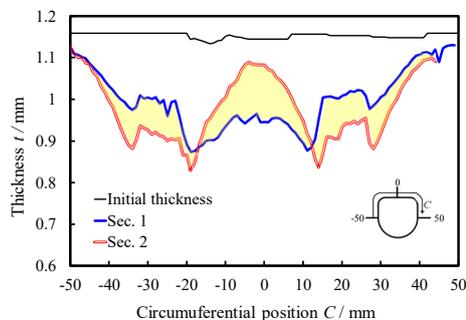


図4 域差潤滑における部位毎の肉厚分布

参考文献

1) Mikami T, Amano Y, Yoshida K and Kubota H (2022) Development of Forced Lubri-cation Technology in Tube Hydroforming, Proc. 10th Int. Conf. on Tube Hydroforming TUBEHYDR02022:133-140.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 窪田 紘明, 三上 拓徒, 吉田 一也
2. 発表標題 ハイドロフォーミングにおける強制潤滑技術の開発
3. 学会等名 第72回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天野由紀子, 三上 拓徒, 吉田 一也, 窪田 紘明
2. 発表標題 強制潤滑を用いたハイドロフォーミングにおける成形特性の検討
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 2022年春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井 英, 宮澤 翼, 三上 拓徒, 吉田 一也, 窪田 紘明
2. 発表標題 ハイドロフォーミングにおける域差・時間差強制潤滑技術の開発
3. 学会等名 第 73 回 塑性加工連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuto Mikami, Yukiko Amano, Kazunari Yoshida, Hiroaki Kubota
2. 発表標題 Development of Forced Lubrication Technology in Tube Hydroforming
3. 学会等名 Tube Hydroforming Technology 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Kubota, Takuto Mikami, Yukiko Amano, Suguru Ishii, Tsubasa Miyazawa, Kazunari Yoshida
2. 発表標題 Development of Time and Area Dependent Forced Lubrication Technology in Hydroforming
3. 学会等名 ICTP 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ハイドロフォーミングによる加工方法、金型、金型モジュールおよびハイドロフォーミングの加工装置	発明者 窪田紘明, 三上拓徒	権利者 学校法人東海大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-143672	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関