HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 機械学習を用いたプレス加工における加工状態認識とバリ高さ推定に関する研究［論文内容及び審査の要旨］ |
| Author(s) | 鶴谷, 知洋 |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(工学) |
| Dissertation Number | 甲第13992号 |
| Issue Date | 2020-03-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/78298 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | Tomohiro_Tsuruya__abstract.pdf, 論文内容の要旨 |

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　鶴谷　知洋

学　位　論　文　題　名

機械学習を用いたプレス加工における加工状態認識とバリ高さ推定に関する研究
(Study on forming state recognition and burr height estimation in press working using machine learning)

プレス加工は金型を用いた加工であることから, 他の機械加工法と比較して加工速度が大きく, 均一な製品を大量に生産できる. 加工コストが安く, 材料歩留まりも良いため, 自動車を中心に電気製品, 住宅関連製品, 日用品などの分野において量産加工技術として広く普及している. プレス加工における品質検査では, 加工速度が大きいことやコスト等の問題から全数検査ではなく, 目視検査や治具検査等の抜取り検査で行われるのが一般的であるが, 不良品の発生を見逃した場合, 加工速度が大きいことから大量の不良品が継続的に生産される恐れがある. このような不良品の大量発生を防止するには, 不良の発生そのものを回避すること, 抜取りではなく全数に対して加工中に不良が発生した時点で瞬時に加工を停止することなどが重要である. 不良の原因は多くの要因が複雑に関係していることから, 不良の発生を完全に抑制することは困難であり, 不良が発生した時点で瞬時に加工を停止することが理想的である. そのためには加工中の状態を監視するシステムが必要であり, インプロセスで加工状態を認識することが求められる. インプロセスで加工状態を認識するには, 被加工材の状態を直接認識するのが最良であるが, プレス加工は金型内部で行われるため直接のセンシングは困難である. そこで被加工材に接している金型から被加工材の状態に関する情報を得るため, 金型のセンシングが行われている. 金型のセンシングを行うには金型に直接センサを取り付けることになるが, 取り付けに追加工が必要な場合は金型の剛性や構造を考慮する必要があり, 金型の設計見直しや追加工によるコスト上昇や金型製作期間の増加が課題となる.

深絞り加工を対象とした加工状態の認識では, 金型のセンシングを行うにあたり, 金型構造に影響を与えず, 単一のセンサで割れの認識ができ, かつ延性のある被加工材を対象とした研究はほとんどない. 本研究では, センサの取り付けが簡便で金型構造に影響を与えない AE(Acoustic Emission) を測定対象とし, データ処理速度向上につながる AE 特徴量の選択と, ノイズおよび再現性の課題をクリアするため機械学習を用いて, 延性のある SPCC の深絞り加工における加工状態認識を行う.

打抜き加工を対象とした製品のバリ高さ推定では, 複数の測定データを多次元的に用いた推定精度向上や, ブランク形状として非線対称形状を対象にした研究はほとんどない. 本研究では, 金型のデータ測定対象として AE, 加工荷重, ひずみの 3 種類を用い, 複数のコーナ部を有する非線対称形状をブランク形状とし, 機械学習により多次元データからバリ高さ推定を行う. 本論文は全 6 章からなり, 各章の内容および得られた結果は以下のように要約される.

第 1 章では, プレス加工において不良品の大量発生を防止するには, インプロセスで加工状態を認識することが求められることを示した. しかし, プレス加工は金型内部で行われるため直接のセン

シングは困難であり, 金型のセンシングが行われていることを示した. 金型のセンシングでは, 閾値などの単純な手法の適用は加工状態の認識精度に不安があり, 機械学習を用いることにより高精度化が期待できることを示した.

第 2 章では, 本研究で適用する機械学習について, アルゴリズムの分類とそれぞれの特徴, 何度か現れたブームと現在に至るまでの変遷, 適用範囲や目的などの現在の状況, 本研究で適用を図る手法の概要について述べた.

第 3 章では, 引張試験における AE 信号を測定し, 応力ひずみ線図と得られた AE 信号から, 塑性変形時および破断時の波形データと周波数領域の特徴について明らかにするとともに, 試験片の状態判別の可能性について検討した. その結果, 塑性変形時は連続型 AE を, 破断発生時は突発型 AE を確認した. また, 塑性変形時および破断時に周波数領域での顕著なピークの存在を確認した. カウントレートにおいても塑性変形時は連続型 AE を, 破断発生時は突発型 AE を確認できたことで, 高速な処理で加工中に製品の割れなどの認識ができる可能性があることを明らかにした.

第 4 章では, 深絞りにおける AE 信号とカウントレートの測定とデータ解析を行い, 引張試験で得られた結果と比較し, 深絞りの加工状態の認識における AE の有効性を確認した. その上で, 機械学習を用いて深絞りにおける加工状態認識実験を行い, 手法の有効性を検証した. その結果, 深絞り中の AE 信号の測定と解析により, 引張試験中の AE 信号の周波数領域と同じ特徴を確認し, 深絞り中の加工状態認識の可能性を示した.AE データを用いたニューラルネットワークによる加工形状態認識実験を行ったところ, 認識率は最大で 97.3% となり, 本手法の有効性を明らかにした.

第 5 章では, 打抜きにおける AE, 加工荷重, ひずみのデータ測定と製品のバリ高さを測定し, ショット数の増加と測定データおよびバリ高さについて解析した. また, 機械学習を用いた打抜きにおけるバリ高さ推定実験を行い, 本手法の有効性を検証した. その結果, ショット数の増加にともないバリ高さが変化していることを確認し, 加工品の周囲のバリ高さの発生状況を解析したところ,R 部よりも直線部でバリ高さが大きくなる傾向があることを明らかにした. 加工実験前後のパンチ表面の観察と摩耗量の測定を行い, 摩耗が進行していることを確認した. 打抜き中の AE, 加工荷重, ひずみのデータ測定と得られたデータの解析を行った結果, ショット数の増加にともなうデータの変化が確認でき, バリ高さ推定の可能性を示した. 打抜き加工中の測定で得られたデータによるバリ高さ推定実験を行った結果, 最高で 2.61$\mu$m の精度で推定ができ, 本手法の有効性を明らかにした.

第 6 章では, 全体の統括と本研究より得られた結論について述べた.