

学位論文の要旨

| | |
|--------|---------------------|
| 氏名 | 松田 豪彦 |
| 学位論文題目 | 鍛造加工の加工プロセス設計に関する研究 |

本論文は、プレス成形加工法の一つである冷間軸対称側方押し鍛造加工の加工プロセス設計を研究対象に定めて、同加工法によりネットシェイプ加工（設計形状通りの成形品を得る加工）を実現する成形用型の構造とその最適化を実験・解析に基づいて解明した研究をまとめたものである。さらに、同鍛造加工法により回転ノブ、フライホイール等の軸付き回転体機能部品が円柱状金属素材から1工程で成形加工できる利点を活かし、研究の応用例として、低プレス荷重でネットシェイプ加工を実現するフライホイール成形加工の製品設計と型設計法を提示した。

第1章は、プレス機械と型を用いて金属素材の成形加工を行う鍛造加工に関連した社会のおよび技術的な情勢の説明ならびに本論文の研究対象について記述した章である。この中で、近年、金属成形加工の分野でも省エネルギー、低コストへの対応が強く要請されている情勢である事、鍛造加工の分野では加工精度の向上、金型寿命の延長が重要課題となっている事および型設計と加工条件設定における最適化作業において実験および計算機によるシミュレーション技術が有効な支援技術となっていることについて記述した。

第2章は、一般に使用されている型を用い2種類の型空間高さで冷間軸対称側方押し鍛造加工実験を行い、型内部における素材の成形過程を明らかにした実験・解析結果を記述した章である。この中で、一般に使用されている型を用いた場合、素材の塑性流れが加工過程終期に型壁との摩擦拘束により閉塞状態に陥り、パンチ荷重を上昇させても型内部外縁角部で素材の未充填が発生する事を明らかにした。同時に、同加工法によるネットシェイプ加工の実現には、型形状転写能の向上をはかる塑性流れを形成する型構造が必要であることを説明した。

第3章は、冷間軸対称側方押し鍛造加工において、成形品外縁部の型形状転写能を著しく向上させることができる型内部底面の段差空間の設置条件を成形加工実験シミュレーションにより明らかにした実験・解析結果を記述した章である。この中で、直径30mm、厚さ10.4mmの円板成形品形状を得る場合に、型形状転写能の向上に型内部底面に設ける段差空間が極めて有効に作用することを明らかにした。すなわち、段差空間を設けない型では、パン

チ荷重を125kNまで加圧しても成形品には型への未充填による欠肉が発生した状態であるが、適切な段差空間を設けるとパンチ荷重が105kNで型への充填がほぼ完了する。最も良好な型形状転写能が得られた条件は、段差空間溝幅が1.8mmで溝深さが3mmであり、成形品の外縁上角部分はC0.5の面取りの相当する優れた充填状態であった。また、型の下部縁部分には、段差空間の幅にかかわらず素材が完全に充填することがわかった。

第4章は、適切な段差空間を設けた型あるいは段差空間を設けない型を用いた成形加工実験シミュレーションを行い、両条件における成形過程の詳細なメタルフローを明らかにした実験・解析結果を記述した章である。この中で、適切な段差空間を設けた型による加工では、段差を設けない型で起こる成形過程終期における素材塑性流れの停止、すなわち閉塞状態が発生しないことを明らかにした。段差空間を設けた型による型内部壁面の塑性流れは、加工過程終期において段差空間と型壁面上角部空間を同時に満たす2つの流れが継続して起こることから、摩擦拘束による閉塞状態に陥ることなく、充填過程が持続することがわかった。相当ひずみ分布の解析では、段差空間無しの場合が成形品内部に大きなひずみが発生するのに対し、段差空間を設けた場合は成形品窪み面部や側面部といった表面部分に大きなひずみが発生することがわかった。

第5章は、冷間軸対称側方押し鍛造加工をフライホイールの成形加工に適用し、製品設計と型設計を連携させた統合最適化設計を行い、ネットシェイプ加工を実現した研究内容を記述した章である。すなわち、フライホイールの設計仕様書に適合する範囲内で型内部底面に段差空間を設け、設計仕様上の角部面取り寸法に達するまで塑性流れを維持し、完全充填前に成形加工を完了させることにより、過度にパンチ荷重を増大させることなくネットシェイプ加工を実現する手順を示した。

第6章は、本研究で得た知見をまとめた章である。以下に総括する。

- 冷間軸対称側方押し鍛造加工は、通常の段差空間の無い型構造で行うと摩擦拘束によるパンチ荷重の急激な上昇と型内部外縁角部で素材の未充填が発生する。
- 型内部底面に適切な段差空間を設けることで、素材の塑性流れの制御が可能となり、型形状転写能が向上する。また、閉塞状態を回避することができ、荷重の急激な上昇を抑えられ型への負担を軽減できる。
- 同加工法をフライホイール成形加工に適用した場合、実験シミュレーションを利用した製品設計と型構造設計の統合最適化を行うことで、低パンチ荷重によるネットシェイプ成形加工が達成できる。

論文審査の要旨

| | | | |
|------|-----------|-------|-------|
| 報告番号 | 理工研 第270号 | 氏名 | 松田 豪彦 |
| 審査委員 | 主査 | 中西 賢二 | |
| | 副査 | 末吉 秀一 | 近藤 英二 |
| | | 上谷 俊平 | |

学位論文題目 鍛造加工の加工プロセス設計に関する研究
(Experimental and Analytical Study on Forming Process Design of Forging)

審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。

本論文は円柱状金属素材をプレス1工程でフライホイール、ノブ、プーリー等の軸付き円板形状部品に成形加工する冷間軸対称側方押し鍛造加工法の加工プロセス設計、すなわち加工過程の最適化と型設計に関連する研究をまとめたもので、全文6章より構成されている。

第1章は緒論であり、様々な金属部品を高い生産効率で成形加工できる鍛造加工法と本論文の研究目的について記述している。この中で、鍛造加工の加工プロセス設計において、ネットシェイプ加工の実現と型寿命延長が重要課題であることを説明している。

第2章は冷間側方押し鍛造加工法の特徴と型設計上の問題点について記述した章である。この中で、成形品板厚に相当する型空間側壁高さを2種類に変えた金型を設計・製作して、同金型を用いた冷間軸対称側方押し鍛造加工実験を行い、型壁/素材間の拘束条件と加工過程終期に起こる塑性流れの閉塞現象ならびに素材未充填現象との関連を明らかにしている。

第3章は、冷間軸対称側方押し鍛造加工に用いる金型の型内部底面外縁部に適切な段差空間を設けることにより、型の形状転写能が著しく向上すること、並びに型寿命に関係する過大な荷重増加が抑止できることを明らかにした実験・解析結果及び考察を記述している。

第4章は、適切な段差空間を設けた型あるいは段差空間を設けない型を用いた成形加工実験を行い、それぞれについて、成形荷重の変化（パンチ荷重-パンチストローク曲線）および成形過程を明らかにした実験・解析結果を提示している。また、成形品内部のひずみ分布を、実験で得た成形品形状を参照して型/素材間の摩擦拘束条件を適正化した有限要素法成形加工シミュレーションにより推算している。

第5章は、冷間軸対称側方押し鍛造加工法を適用した小型機器用フライホイールの成形加工について記述している。この中で、型の形状転写能向上を目的として型内部底面外縁部に段差空間を設けた型設計とフライホイールの軽量化を目的とした形状設計を連携させた加工プロセス設計により実現した、加工終期のプレス荷重を過度に増大させないネットシェイプ成形加工法を明らかにした実験・解析結果及び考察が記述されている。

第6章は結論の章であり、研究成果の総括が記述されている。

以上、本論文には円柱状金属素材を軸付き円板形状部品に成形加工する冷間軸対称側方押し鍛造加工に関する加工過程の最適化及び形状転写能に優れた型構造を定めるとともに、加工終期のプレス荷重を過度に増大させないフライホイールのネットシェイプ成形加工法を提示した研究内容が丁寧にまとめられている。研究成果には生産工学及び生産技術の分野において極めて有用な内容が多く含まれている。よって、審査委員会は本論文を博士（工学）の学位論文として合格と判定した。

最終試験結果の要旨

| | | | |
|--|-----------|-------|-------|
| 報告番号 | 理工研 第270号 | 氏名 | 松田 豪彦 |
| 審査委員 | 主査 | 中西 賢二 | |
| | 副査 | 末吉 秀一 | 近藤 英二 |
| | | 上谷 俊平 | |
| <p>平成20年2月7日（木）午前10時から博士論文発表会を行った。なお、聴講者は審査委員4名を含む32名であった。同論文発表会では、申請者本人による1時間の論文発表後、30分程度の質疑応答を行った。論文発表では、研究内容について詳細な説明があり、論旨も明確であった。</p> <p>主な質疑応答を以下に記す。</p> <p>質問：型内部底面に形状転写能向上を目的とした段差空間を設けた場合と設けない場合で、成形品の内部ひずみが大きく異なり、段差空間がある場合のひずみが大きくなる理由はどう考えればよいか。</p> <p>回答：大きなひずみが発生したことは、変形が進んだことを表している。段差空間を設けると、段差空間部への塑性流れが発生し、素材の塑性流れ自体が止まることなく最後まで変形が進む。よって段差空間がない場合よりも変形が進んだ結果、ひずみが大きくなる。</p> <p>質問：型内部底面のフローガイドプレート半径を変えて段差空間の最適値を検討されているが、フローガイドプレートの高さ、つまり段差空間の深さや製品底面窪み部の深さが変わったときに、その高さを決める上でのガイドラインみたいなものは考えているか。</p> <p>回答：今回は、フローガイドプレートの高さを3mmに固定して行ったが、求める製品によって高さを変えることは必要である。仮に、段差空間の幅が変わって、充填がうまくいかなかったときに、このフローガイドプレートの高さ（段差空間の深さ）を変えることで充填が進むことが十分考えられる。</p> <p>質問：型形状との関係もあると思うが、製品の体積とパンチ荷重-変位曲線においてパンチ荷重が急上昇するパンチ位置との間になんらかの関係があると考えてよいか。</p> <p>回答：パンチを押し続けると、どこかで閉塞状態か完全密閉になるため、急激にパンチ荷重が上昇すると考える。類似の型形状で製品の体積もほとんど同じであれば、パンチ荷重-変位曲線は同様なカーブになる。</p> <p>質問：素材の材料物性が変われば型内部底面に設置するフローガイドプレートの最適設置条件は変わるのか。焼鈍したアルミを使用しているため、塑性流動が容易に起こる材料の場合ならこのような結果になるのか。</p> <p>回答：今回、焼鈍を行ったのは、素材内部にある余計なひずみを除去してデータを取得するためである。他に銅合金など、加工硬化型の材料物性であれば、同じような成形結果が得られる。</p> <p>質問：成形するとき、プレス成形工程を途中で一度止めてしまうとだめなのか。</p> <p>回答：一度止めると固着状態になってしまうため、摩擦が非常に大きい状態から再開されることになる。塑性流れを活かした成形のため、止めない方がよい。</p> <p>質問：生産性を上げるため早いパンチ速度にしたいときなど、素材の塑性流れが変わったりするのか。</p> <p>回答：今回のパンチ速度は平均で4.6mm/sだが、もっと早くしたいときでもあまり影響はない。今回は冷間鍛造で行っており、素材の変形抵抗に与えるひずみ速度の影響が少ないため。</p> <p>質疑応答では、上記の質疑を含む16問の質問に対して的確な回答があった。</p> <p>以上により審査委員会は申請者が大学院博士課程修了者として十分な学識を備えているものと判断し、最終試験を合格と判定した。</p> | | | |