

審査の結果の要旨

氏 名 井 口 貴 朗

塑性加工における成形不良すなわち、製品の割れ、しわ、座屈ならびに平坦度不良などの現象は、塑性加工工程の設計において最も注意深く検討され、回避されるべきものである。近年、塑性加工工程の設計のデジタル化が進み、実成形製品の成形過程における変形および応力の解析が盛んに行われるようになった。この塑性加工工程解析と、加工事例データベースや CAD との融合を図ることによってデジタルデザイン技術を確立しようとする研究が、実用化を目指して盛んに行われている。これを可能とするためには、成形不良の予測を併せて確立する必要があるが、従来提案されてきた成形不良予測手法はその適用範囲に制限があり、また実成形加工に適用するためには精度に問題があるなど、問題を抱えていた。また、素材の製造プロセスである圧延加工から部材の成形プロセスであるプレス成形までを対象として、成形不良予測を系統的に扱った研究は行われていなかった。

本論文は、「塑性加工のデジタルデザインのための成形不良予測の研究」と題し、素材の製造プロセスである圧延加工から部材の成形プロセスであるプレス成形までを対象として、成形不良予測手法を提案し、評価し、またデジタルデザインへの適用例を論じている。論文は 6 章から構成されている。第 1 章は序論であり、デジタルデザインと成形不良予測、変形および応力解析手法である FEM (有限要素法)、成形不良予測のための破断限界あるいは局所くびれ発生限界についての、過去の研究を総括している。第 2 章および第 3 章は素材の製造プロセスである圧延についての成形不良予測の研究である。代表的な圧延工程である H 形鋼圧延と薄板圧延を取り上げ、前者についてはウェブ座屈限界、後者については平坦度不良の発生限界あるいはキャンバー (圧延後曲がり) について論じ、座屈限界応力、座屈固有値解析等を利用することで成形不良を予測することができ、これをもとにした工程設計を行うことで健全な圧延による素材製造が行えることを示した。第 4 章では、非線形負荷および面外ひずみを含む鋼板の局所くびれ発生限界について論じている。局所くびれ発生限界は、延性破断を定量的に判断するために利用できる指標である。線形負荷、すなわち歪比が一定である負荷経路については、FLD (Forming Limit Diagram) が利用されており、ここに示されている FLC (Forming Limit Curve) を超える場合には破断する、すなわち成形不良に至るとの判断がされるが、実存の成形工程では線形負荷の条件が満足されていないために、FLD による成形不良予測には限界が存在していた。本研究では、主ひずみ平面について表示される FLD ではなく主応力平面について表示される FLSD (Forming Limit Stress Diagram) を利用することで、非線形負荷である実加工の成形不良についても精度良く予測でき

ることを明らかにした。また、FSLDに加えて Marciniak and Kuczynski によって提案された局所くびれ理論（MK 理論、1967）を利用することによって、非線形負荷および面外ひずみを含む鋼板の局所くびれ発生限界を求めることができることを明らかにした。第 5 章では、第 4 章の結果を多工程のプレス成形時の破断（局所くびれ発生）予測に適用し、妥当な結果を得た。第 6 章では、研究成果を総括し、今後の展望について検討し考察した。

以上に述べたとおり本研究は、素材の製造プロセスである圧延加工から部材の成形プロセスであるプレス成形までを対象として、成形不良予測手法を提案し、評価し、またデジタルデザインへの適用例を論じており、今後の塑性加工のデジタルデザインを実用化するために必須の成形不良予測について明らかにした点で工業的な価値は高い。また、局所くびれの発生限界について力学的な考察を行い、新たな手法を提示したこと、さらに本論文の内容が、6 編の原著論文（内 4 編は英文）として公表されていることは、工学的にも高く評価できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。

