

学位論文及び審査結果の要旨

氏名 志賀 聡^{しが あきら}

学位の種類 博士(工学)

学位記番号 工府博甲第602号

学位授与年月日 令和元年9月13日

学位授与の根拠 学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項

学府・専攻名 工学府 システム統合工学専攻

学位論文題目 機械構造用鋼の冷間成形における応力多軸度型延性破壊条件
Ductile fracture criteria at stress triaxiality in cold forming of steel for machine structural use

論文審査委員 主査 横浜国立大学 梅澤 修 教授
横浜国立大学 廣澤 涉一 教授
横浜国立大学 中尾 航 教授
横浜国立大学 長谷川 誠 准教授
横浜国立大学 前野 智美 准教授

論文及び審査結果の要旨

2019年8月2日(金)13:30より機械工学材料棟421室において、システム統合工学専攻博士課程後期3年志賀聡の学位論文発表会を実施した。引き続き14:40より同421室において審査委員全員出席のもとに審査会を開催した。提出された学位論文の内容、学位論文を構成する査読付き投稿論文、学位論文発表会での発表ならびに質疑応答についての審査を行った。本論文は特殊鋼棒線材の冷間成形時の応力多軸度型延性破壊条件の有効性を明らかとし、学術的価値は高い。そして、本論文の内容は、応力多軸度型延性破壊条件を用いた冷間成形時の割れ発生予測の工学的実用にご貢献するところが大きく、博士(工学)の学位論文として十分な価値がある。したがって、提出論文は学術的に十分価値のある内容を有しており合格と判定した。なお、著作権保護への配慮は十分であることを確認した。次に、学位論文に関連する分野の科目について博士(工学)の学位を得るにふさわしい学力を有するかについて審査し、合格と判定した。外国語については、国際会議発表の経験があることから十分な学力を有すると判定した。以上により、審査委員全員一致して最終試験は合格であると判定した。

本論文は、応力多軸度型延性破壊条件に着目し、特殊鋼棒線材の冷間成形時の延性破壊予測技術確立について一連の研究成果をまとめたものである。論文は全6章で構成される。

第1章では、これまでの延性破壊予測手法の課題を明確化し、本研究の目的を述べる。延性破壊の素過程はボイドの発生、成長、合体であり、これまで延性破壊素過程に基づく延性破壊条件が数多く提案されている。しかしながら、統一的な表現ができていないのが現状である。そこで、延性破壊予測手法として延性破壊の素過程に基づいた応力多軸度型延性破壊条件に着目した。

第2章では、応力多軸度型延性破壊条件を用いた冷間鍛造時の割れ評価適用可否検討を実施した。冷間据込み加工時の延性き裂発生条件（き裂長さ $50 \mu\text{m}$ ）および割れ発生条件（き裂長さ $200 \mu\text{m}$ ）は、相当塑性ひずみおよび応力多軸度で決定し、応力多軸度の増加と共に、小さな相当塑性ひずみでも延性き裂が生じることを明らかとした。これまでの延性破壊条件に関する研究は、応力多軸度が1.0を超えるような高応力多軸度状態で検討されてきた。本研究では、応力多軸度が0.4から1.0以下の低応力多軸度状態でも高応力多軸度状態と同様に延性き裂発生過程であるボイドの生成、ボイドの成長に対して応力多軸度が影響することを示した。

第3章では、「主応力型」の延性破壊条件および累積ひずみの影響を明確化し、応力多軸度型延性破壊条件の汎用性を確認するため、多段引抜き加工時のシェブロンクラック予測を行った。累積ひずみ付与にかかわらず、延性破壊限界の曲線は鋼材によって決定され、多段引抜き加工におけるシェブロンクラック発生パスと予測パス数が一致することを確認し、本予測手法の妥当性を示した。

第4章では、中空成形技術を適用する上で課題となる割れ発生位置の明確化および応力多軸度型延性破壊条件適用可否検討を実施した。中空試験片引抜き時の延性き裂発生位置は内表面から発生しており、中実試験片の延性破壊条件と異なることから中実試験片の応力多軸度型延性破壊条件を適用できないことが判明した。この要因は変形モードの違いであると推察され、変形モードの違いを表現できるLode角パラメータ ξ による整理を行った。Lode角パラメータ ξ が、 $0.4 \leq \xi < 0.8$ の領域ではせん断型および主応力型のボイド成長合体がせん断型優位で起き、 $0.8 \leq \xi < 1.0$ の領域ではせん断型および主応力型のボイド成長合体が混合しているが主応力型が優位であることを明らかとした。

第5章では、応力多軸度型延性破壊条件のさらなる適用拡大を目指し、切削時の延性破壊評価の基礎検討を行った。具体的には、急速工具抜き取り試験を行い、切りくず生成時の破壊現象解明を組織観察および数値解析を用いて行った。切りくず分離および切りくず一次せん断域でボイドが生じており、破面観察の結果と合わせて切りくず発生および分離は延性破壊であることが明らかとなった。数値解析にて切りくずの応力・ひずみ解析の結果、切りくず分離は「せん断型の延性破壊」であり、一次せん断域のき裂は「主応力型の延性破壊」であり、それぞれの破壊モードに応じた延性破壊条件で評価可能であることを導いた。

第6章では、各章で得られた成果を総括して述べ、応力多軸度型延性破壊条件を用いた鋼

材開発や加工条件導出のためのアプローチの一例を示した。今後、冷間鍛造技術を適用拡大していくためには、延性破壊予測をさらに高精度化していくことが重要であり、鋼材の化学成分やマイクロ組織、応力・ひずみ履歴、さらに加工条件（例えば温度やひずみ速度）を考慮した延性破壊条件を確立しなければならない。そのためには延性破壊素過程に及ぼす機械的因子および冶金因子を明確化することが必要である。