

氏名	キヨタ ヒロキ 清田 大樹
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博第971号
学位授与の日付	平成27年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	切削工具の刃先設計に関する研究 (Study on design of cutting tool edge)
論文審査委員	主査 准教授 糸魚川 文広 教授 中村 隆 教授 北村 憲彦 教授 社本 英二(名古屋大学)

論文内容の要旨

切削加工において「切れ味が良好な状態」とは、一般的に「生成される切りくずが薄く加工抵抗が小さい状態」を指す。それを決定する主要な外部因子は、工具のすくい角および工具・切りくず界面の摩擦係数であり、工具が変形場にもたらす形状拘束や摩擦拘束の緩和によって切れ味は向上する。これは結果として、加工抵抗の低減による発熱量の抑制、ばり発生の回避、さらには工具の長寿命化につながる。

しかし、すくい角の増大は刃先強度を低下させるため、韌性に乏しい高硬度工具の刃先には強度確保のためチャンファ処理が施されている。これは切れ味の低下を招き、特に加工硬化率が高いニッケル基合金インコネルの切削では、ばりが生成しやすくなり、境界摩擦が急速に進行する。このため、高韌性工具での低速切削を余儀なくされており、生産性が非常に低い。この問題に対し、工具材料や加工条件に関する多くの改善策が報告されている。また一方で、摩擦低減は油剤供給による潤滑特性の向上が主流であり、一部では低摩擦材料を工具表面に被覆する試みも行われている。

以上のように、切れ味の向上に対する既往のアプローチはその多くが工具材料の改良や加工条件の改善によるものである。これに対し、本研究では刃先設計による改善案を提示する。変形場の力学状態を把握しその上で適した刃先設計を行うことで、切れ味向上のための打開策を提示することに焦点を置く。具体的にはインコネル切削でのばり発生回避に

よる高硬度工具の刃先欠損抑止および炭素鋼切削における工具・切りくず界面に作用する付着拘束力の緩和を目的とした刃先設計について検討する。

本論文は全7章から構成される。

第1章では、本研究の背景および目的について述べる。

第2章では、インコネル切削において切れ味の向上によるバリ生成の抑止を目的として構成刃先の側方流動現象の積極利用に着目し、その妥当性を検証する。この現象はこれまでに炭素鋼切削において確認されているが、ばりの抑止効果やその詳細な刃先設計に関する知見はない。高速度ビデオカメラによる加工点近傍の観察を通し、インコネル切削においても側方流動が生じ、当現象がばりの抑制に効果的であることや流動の発生条件が刃先チャンファ形状に強く依存することを示す。

第3章では、第2章において確認した構成刃先による切れ味向上の効果を積極利用するための刃先設計について述べる。切りくず生成機構および構成刃先流動機構をそれぞれすべり線場解法およびスラブ法で記述した力学モデルから、切れ刃全体にわたる切れ味の確保には、チャンファ面摩擦係数に依存した最適なチャンファ角の設定が必要であることが示唆される。力学モデルの結果から設定したチャンファ角を有した設計工具は市販工具に比べて長寿命となることが確認される。

第4章では、工具・切りくず界面に作用する付着拘束力に着目し、これの低減によって切れ味を向上すべく表面テクスチャ付与工具を提案する。既往の研究において、切削油剤の供給経路として工具表面テクスチャが機能し、摩擦低減がなされることが報告されている。これに対し、ここでは数十マイクロメートルのディンプルをすくい面に付与した工具によって、ドライ加工条件下においても加工抵抗が低減する、すなわち切れ味が向上することが確認される。また、荷重の除荷過程を伴う摩擦試験を行い、接触界面に付着拘束力が作用することや表面テクスチャを付与することでそれが緩和されることを示す。これらの結果から、切削加工において表面テクスチャが工具・切りくず界面に作用する付着拘束力を緩和し、それが切れ味の向上をもたらすことが示唆される。

第5章では、工具・切りくず界面の付着拘束力を考慮した解析モデルを提示し、それが切削変形場の平衡状態に及ぼす影響について考察する。結果として、平衡状態は付着拘束力に由来する切りくず脱離点近傍の引張力に対して感度よく変化することがわかる。この結果とすくい面上の摩擦応力分布に関する既往研究の結果から、切れ味向上のためのテクスチャはすべり摩擦状態となる領域で真実接触部を強制的に分断するパターンを有すべきであることが示唆され、これは加工試験の結果と一致することが確認される。

第6章では、切れ味向上に対する上記の2つのアプローチについて総括を述べる。

第7章では、本研究の結論を述べる。

論文審査結果の要旨

切削加工に関する研究は、仕上げ面品質の改善や工具の長寿命化、加工能率の向上を目的とするものが多い。それらは往々にして切れ味の良好な切削状態の結果としてもたらされ、既往研究の多くは、工具材料の改良や加工液供給法の改善に着眼して、その解決策を提示している。しかし、そのようなアプローチには、材料物性における硬度と靱性の相反関係や、工具・切りくず界面への潤滑油の侵入限界といった課題が付きまとう。そうした中で、本論文は切削工具の刃先設計という切り口で切れ味の向上を図り、その打開を図っている。

第1章「序論」では、加工中の切れ味を左右する工具すくい角と工具・切りくず間の摩擦係数に関して、既往の研究をまとめ、その問題提起から本論文の位置づけと目的を述べている。

第2章「インコネル切削加工における構成刃先の側方流動現象と切れ味向上効果」では、高硬度工具の刃先チャンファ処理の弊害が如実に現れる耐熱合金インコネルの切削において、構成刃先の側方流動機構に着目し、その積極利用による切れ味向上とそれによる境界摩耗抑止効果を示している。また、その現象を左右する外部因子を明確化し、刃先設計において具備すべき事項を明示している。

第3章「切れ味向上を目的とした工具刃先チャンファ形状の設計」では、切れ味と流動性を両立させた構成刃先の側方流動を実現すべく、刃先形状設計のための力学モデルの構築を行っている。塑性加工学における初等解析法であるすべり線場法やスラブ法によって現象を記述し、実験結果との比較を通してその妥当性を評価している。その結果から選定された刃先形状を有する工具を用いて外周旋削加工を行い、その結果から欠損抑止に対するその有用性を示している。

第4章「ドライ切削加工におけるすくい面テクスチャの切れ味向上効果」では、工具・切りくず界面の付着拘束力に着目し、前章までとは異なるアプローチとして、工具すくい面の表面設計について論じている。摩擦試験や切削試験を通して、工具・切りくず界面に作用する付着拘束力が表面微細テクスチャによって低減されることや、それによって切れ味が向上することが示されている。

第5章「工具・切りくず界面の付着拘束力が変形場全体に及ぼす影響」では、付着拘束力の緩和によって、変形場全体の状態変化を力学モデルから解析的に検討し、そのための工具表面テクスチャリング処理とその切れ味向上効果に言及している。

第6章「総括」では、工具刃先設計による切れ味の向上について総括を述べている。加工条件の適正化や材料開発では成し得ない、切れ味と刃先強度、潤滑油の摩擦低減効果と加工能率といった各相反関係からの脱却に対する刃先設計の有効性を論じている。

第7章「結論」では、結論として、本研究で得られた知見をまとめている。

以上の研究成果は、学術論文5編（うち掲載予定1編含む）と査読付きの国際会議プロシーディングス2編に掲載されている。工具の刃先設計といった切り口で切れ味の向上を図り、現象をモデル化することで、刃先の適正化による長寿命化や加工力の低減のみではなく、構成刃先の挙動や切削油剤の効果に対する新たな解釈を与えている。

以上より、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。