

氏 名	尾 崎 勝 彦			
授 与 学 位	博 士 (工 学)			
学 位 授 与 年 月 日	平 成 8 年 3 月 26 日			
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項			
研 究 科 , 専 攻 の 名 称	東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 (博 士 課 程) 機 械 工 学 専 攻			
学 位 論 文 題 目	合 成 ダ イ ヤ モ ン ド 切 削 工 具 の 切 削 性 能 に 関 す る 研 究			
指 導 教 官	東 北 大 学 教 授 加 藤 康 司			
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 加 藤 康 司	東 北 大 学 教 授 関 根 英 樹		
	東 北 大 学 教 授 庄 司 克 雄	東 北 大 学 教 授 庄 子 哲 雄		

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

従来、アルミ合金の機械加工では、超硬工具が用いられてきたが、近年、生産効率を飛躍的に向上させることから焼結ダイヤモンド切削工具が注目を集めている。

焼結ダイヤモンド切削工具によりアルミ合金を加工する場合、工具摩耗の進展が超硬工具に比べて遅く工具寿命が長いばかりでなく、切削速度を高速に設定できるのが特徴である。そこで、難削材の中でも機械部品の計量化の為に実用化が望まれている粒子強化アルミ合金の高効率加工への応用が期待されている。一方、焼結ダイヤモンド切削工具は、耐チップング性に劣り、高価であり、複雑形状の工具の製作が困難であることから、耐チップング性の向上、更なる工具寿命の延長、製造コストの抑制および複雑形状の創成が容易なダイヤモンド薄膜工具の開発が望まれている。焼結ダイヤモンド切削工具の切削性能を向上させるためには材質、工具形状および工具粗さを最適化することが、また、製造コストの抑制には研削研磨工程を最適化することが設計上重要である。そこで本研究では、焼結ダイヤモンド切削工具の切削性能に及ぼす種々の因子を取り上げ、その中でもダイヤモンド粒径の耐チップング性および耐摩耗性に及ぼすすくい面粗さの切削性能に及ぼす影響を明らかにし、また、ダイヤモンド薄膜切削工具の寿命支配因子の解明について検討し、使用目的に応じた合成ダイヤモンド切削工具の開発のための基礎資料を得ると共にダイヤモンド粒径最適化、工具寿命の向上および製造コストを抑制する為の設計指針を得ることを目的とした。

第 2 章 合成ダイヤモンド切削工具の基本的切削性能

本章では、合成ダイヤモンド切削工具の基本的切削性能を把握するために、焼結ダイヤモンド切削工具およびダイヤモンド薄膜工具における切削実験を行い、焼結ダイヤモンド切削工具の耐チップング性および耐摩耗性に及ぼすダイヤモンド粒子の粒径の影響を明らかにし、粒径の最適化を行った。また、ダイヤモンド薄膜切削工具の工具寿命を比較した。

図1にダイヤモンド粒径とチップング幅の関係を示す。チップング幅は粒径が小さくなるにつれて減少する。図2に粒径と逃げ面摩耗速度の関係を示す。逃げ面摩耗速度は粒径が大きい程小さくなる。従って、焼結ダイヤモンド切削工具の耐チップング性は粒径が小さいほど良く、耐摩耗性は粒径が大きい程良い。ただし、初期欠損の問題から5~10 μmが適していると言える。焼結ダイヤモンドの材料特性との関係についても検討しており、耐摩耗性と硬さ、耐チップング性と抗折強度にはそれぞれ相関が認められ、硬さが大きいほど耐摩耗性が優れている。また、抗折強度が大きいほど耐チップング性に優れている。粒径が大きい程粒子間に内在する空隙が大きくなり、それが欠陥となって抗折強度

が低下し、耐チップング性が小さくなると考えられる。また、ダイヤモンド薄膜切削工具の寿命は膜の剥離により支配され、膜の剥離は内部に発生するき裂に起因していると言える。そしてアルミ合金を加工する場合、ダイヤモンド薄膜切削工具よりも焼結ダイヤモンド切削工具の方が寿命が長く適していると言える。

第3章 焼結ダイヤモンド切削工具のすくい面粗さの切削性能に及ぼす影響

本章では第2章で選定された焼結ダイヤモンド切削工具の製造工程簡略化の可能性について検討するとともに切削性能判定基準に対するすくい面粗さの設計指針を明らかにすることを最終目的として、すくい面研磨の各工程から抽出した工具を用いてすくい面粗さの切削性能、すなわち、切削抵抗、逃げ面摩耗幅、仕上げ面粗さ、切り屑形状および仕上げ面残留応力に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

図3にすくい面粗さと逃げ面摩耗幅および切り屑カール半径の関係を示す。すくい面粗さが $0.06\mu\text{mRmax}$ から約 $4\mu\text{mRmax}$ に大きくなるに従って逃げ面摩耗幅は小さくなり、逆に、すくい面粗さが小さいほど、切り屑カール半径は小さくなることが分かった。また、切削抵抗、仕上げ面粗さおよび仕上げ面残留応力は、切り屑カール半径と同様の傾向が見られた。工具寿命の向上の点から、すくい面粗さは約 $4\mu\text{mRmax}$ が適していると言える。また、切り屑処理性の点からはすくい面粗さは小さい程良いと言える。

第4章 すくい面粗さが切削性能に及ぼす影響の数値解析

本章では、熱伝導解析および剛塑性有限要素法による定常切削状態の変形解析を行い切刃近傍における被削材と工具の内部の温度、被削材内部の応力および変形に及ぼすすくい面粗さの影響について理論的考察を行った。

先ず切削実験により求めた切削抵抗、せん断角および切削条件を用いて熱伝導解析により切削温度を求めた。次に、その切削温度分布に基づいて変形解析における各要素毎に温度に依存した変形抵抗式を用いることにより温度を考慮した。すくい面粗さの影響を考慮する為に比切削抵抗値を用いてすくい面における摩擦係数を決定した。図4にすくい面粗さと切り屑カール半径の計算値は、実験値と同様にすくい面粗さが小さくなるに従って減少しており、計算結果が実験値の傾向と一致することが確認された。

第5章 逃げ面摩耗幅に及ぼす逃げ面温度の影響の数値解析

本章では、逃げ面摩耗幅に及ぼすすくい面粗さの影響について検討するために、切刃先端において生成される仕上げ面が工具逃げ面と擦過すると共に塑性変形を受け、界面温度が上昇することにより逃げ面摩耗が起きると仮定してモデルを用いて理論的考察を行った。

切刃先端にて生成される仕上げ面初期粗さは切刃稜粗さとノーズ半径、送り速度により決まる理論粗さから構成されるとし、その仕上げ面が逃げ面と擦過することにより仕上げ面の突起が塑性変形を受けると考え、その仕事量を計算した。図5に、仕上げ面の塑性仕事量と逃げ面摩耗幅の関係を示す。仕上げ面の塑性仕事量が大きくなるに従って逃げ面摩耗幅も増加している。逃げ面摩耗は逃げ面と仕上げ面の擦過による仕上げ面の受ける塑性仕事量により説明されると言える。

第6章 合成ダイヤモンド切削工具の設計と使用の指針

本章では、本研究で得られた結果を総合し、合成ダイヤモンド切削工具の工具寿命の延長方法、すくい面粗さの設計方法および研削研磨工程の短縮による製造コストの抑制方法にダイヤモンド粒径およびすくい面粗さの最適化の観点から述べている。

例えば、図6にすくい面粗さの最適化による工具寿命の向上について示した。耐チップング性はダイヤモンド粒径が小さい程($1.5\mu\text{m}$)良い性能を示すが、粗粒径($6.20\mu\text{m}$)に比べて耐摩耗性に劣り、工具寿命が短くなる。この点を向上する為に第3章で明らかにしたすくい面粗さの逃げ面摩耗幅の関係からすくい面粗さを約 $0.1\mu\text{mRmax}$ から約 $4\mu\text{mRmax}$ に設計することにより逃げ面摩耗幅を半分抑制し工具寿命を延長することができると言える。

第7章 結 論

本章は、本研究の主たる結果をまとめたものである。

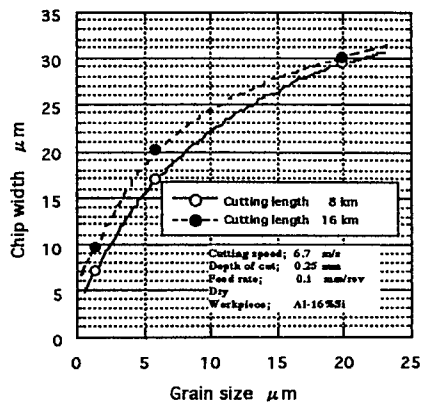


図1 ダイヤモンド粒径とチップ幅の関係

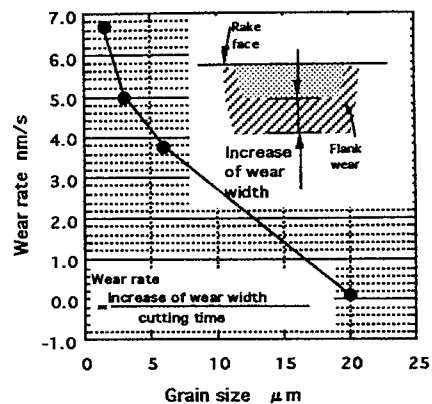


図2 ダイヤモンド粒径と摩耗速度の関係

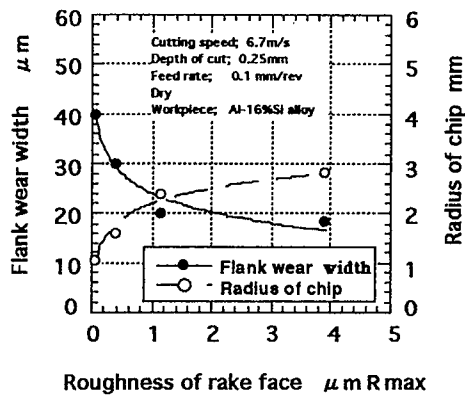


図3 すくい面粗さと逃げ面摩耗幅および切り肩カーブ半径の関係

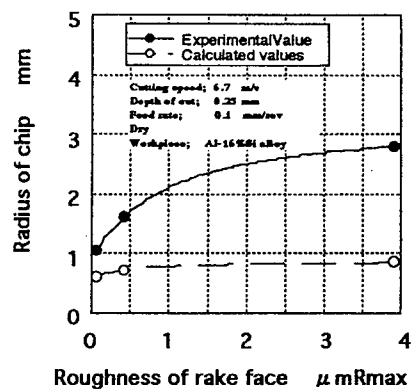


図4 切り肩カーブ半径の実験値と計算値の比較

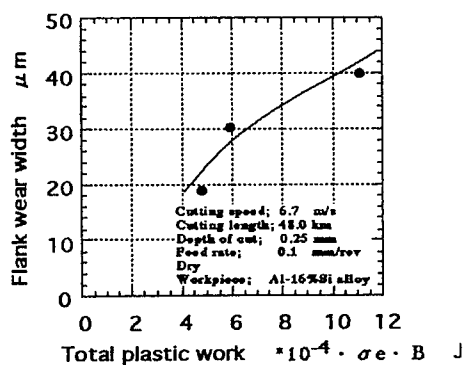


図5 仕上げ面の塑性仕事量と逃げ面摩耗幅の関係

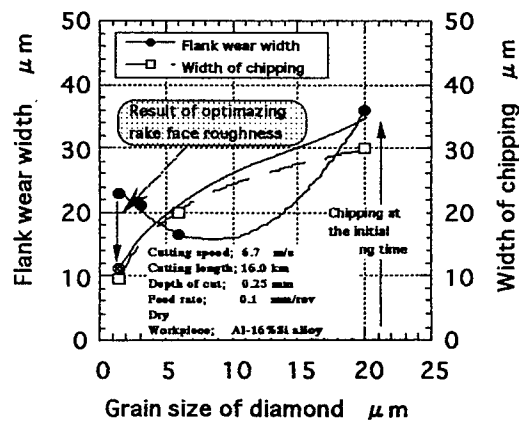


図6 すくい面粗さによる耐摩耗性の向上

審査結果の要旨

焼結ダイヤモンド切削工具は金属の切削加工における生産効率を飛躍的に向上させているが、耐チップング性の向上、工具費の抑制および複雑形状のダイヤモンド工具化が重要な課題になっている。そこで、本研究においては焼結ダイヤモンド切削工具のダイヤモンド粒径の耐チップング性と耐摩耗性に及ぼす影響及びダイヤモンド薄膜切削工具の寿命支配因子を明らかにし、焼結ダイヤモンド切削工具のすくい面粗さの切削性能に及ぼす影響を解明すると共に、工具寿命の向上および製造コストの抑制について検討した。本論文はこれらの成果をまとえたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、ダイヤモンド薄膜切削工具よりも焼結ダイヤモンド切削工具の方が寿命が長いことを明らかにしている。更に、焼結ダイヤモンド切削工具の耐摩耗性はダイヤモンド粒径が5~10 μ mの場合に最大となり、耐チップング性は粒径が小さいほど向上することを明らかにしている。また、ダイヤモンド薄膜切削工具の寿命は膜の剥離により支配され、膜の剥離は膜と下地の接触面に発生するき裂に起因することを明らかにしている。これらは、合成ダイヤモンド切削工具の開発の為に有効な知見である。

第3章では、焼結ダイヤモンド切削工具のすくい面粗さが大きいほど逃げ面摩耗幅は小さくなり、逆に、すくい面粗さが小さいほど、仕上げ面粗さと、切削抵抗及び切り屑カール半径は小さくなることを明らかにしている。これらは、すくい面粗さおよびすくい面研磨工程設計の為に貴重な知見である。

第4章では、すくい面粗さが切削温度および切削域の応力と変形におよぼす影響をモデルと計算により理論的に明らかにしている。これは、切り屑形状および切削温度を、材料特性値と切削条件から予測できることを示したものであり、工具設計に有用な結果である。

第5章では、工具の逃げ面摩耗が仕上げ面の受ける塑性仕事量により説明されることを理論的に初めて明らかにしている。逃げ面摩耗に関するこのような解析は現象の理論のために非常に有効である。

第6章では、本研究で得られた結果を総合し、合成ダイヤモンド切削工具の工具寿命の延長方法、すくい面粗さの設計方法および研削研磨工程の短縮による製造コストの抑制方法を提示している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、合成ダイヤモンド切削工具の切削性能を向上させ、製造コストを抑制するために切削機構と工具の摩耗機構を理論と実験により明らかにしたもので、機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。