

学位論文の要旨

氏名	岩本竜一
学位論文題目	Al合金の超精密切削加工過程に及ぼす工具摩耗の影響に関する研究

本論文は、単結晶ダイヤモンドバイトによるAl合金の超精密切削加工過程に及ぼす工具摩耗の影響をまとめたものである。単結晶ダイヤモンドを切削工具とする非鉄軟質金属の超精密切削加工は、数ナノ～数十ナノレベルとサブミクロンレベルの形状精度が得られるため、半導体部品や光学部品などの加工に広く用いられている。このような超精密切削加工においては、通常の切削加工に比べ加工面を鏡面に仕上げる目的のために、送り量を小さく抑えることが多く、結果として切削距離が長くなり摩耗した工具で長時間切削することとなる。この摩耗は非常に小さく一般的な方法では加工機内で確認することが困難であるにも関わらず、超精密切削加工においては工具刃先形状が高い精度で被削面に転写されるために、微細な摩耗であっても製品不良の原因になり生産性を低下させる。本研究では、このような工具摩耗が超精密切削加工過程に及ぼす影響を調べることを目的として、単結晶ダイヤモンドのRバイトを用い、Al合金の超精密正面切削を行い、工具摩耗が加工硬化層の深さ、仕上げ面の硬さ、残留応力、表面粗さ、切削抵抗およびAE信号に及ぼす影響を系統的に調べた。

第1章は、超精密切削加工の歴史的背景と今後求められる生産技術について総説した。超精密切削加工は、砥粒加工等に比べて加工能率が高く加工コストが低い、特に複雑形状において加工精度が高い、仕上げ面の性状が優れる等の利点を有する。しかし、このような利点を活かすためには工具刃先形状が高精度に被削材に転写されることが前提であり、加工中に進行する工具摩耗の影響によって転写性が低下し、形状精度や加工変質層などの仕上げ面性状に悪影響を及ぼすことは重大な問題である。このような背景における本研究の意義と目的について述べた。

第2章では、まず切削距離の増加に伴う工具摩耗を詳細に観察し、工具の摩耗進行状況を調べた。その結果、工具切れ刃にチップングなどは見られず工具摩耗の機構は逃げ面の摩耗を主とする機械的摩耗であることが分かった。逃げ面およびすくい面の摩耗状態のSEM写真から求めた摩耗幅は、逃げ面摩耗幅は切削初期では急激に増加するが、その後は単調に増加した。一方、すくい面摩耗幅は切削距離に対して単調に増加することが分かった。次に、このような工具摩耗が加工硬化層の深さ、仕上げ面の硬さおよび残留応力などの仕上げ面性状に及ぼす影響について調べた。加工硬化層の深さ、仕上げ面の硬さおよび残留応力は、切削距離に伴う逃げ面摩耗の増加傾向と良く一致した。新しい工具で加工した場合、加工硬化層の深さや仕上げ面の硬さの増加は小さく、切込みや送り量が増加してもほとんど変化しなかった。しかしながら、残留応力は工具送り量の増加に対して大きく変化した。この残留応力は、送り量が小さいと圧縮が発生し、送り量が大きくなるのに伴って小さくなり、やがて逆転して引張りの残留応力が発生した。一方、摩耗した工具で加工した場合、加工硬化層の深さ、仕上げ面の硬さおよび残留応力は、切込みが増加してもほとんど変化しなかったが、送り量が増加すると加工硬化層の深さ、仕上げ面の硬さおよび切削方向の残留応力は小さくなり、送り方向の残留応力は大きくなった。

第3章では、工具摩耗と仕上げ面粗さの関係を調べた。送り方向の2次元の仕上げ面粗さは、切削開始直後はやや変動はあるものの理論値に近いが、切削距離の増加とともに単調に大きくなり、切削距離が長くなると鏡面が得られなくなった。この時の加工面を光波干渉計で観察した結果、送りマークの底に小さな傷が発生していたため、工具寿命と判断した。切削方向の2次元仕上げ面粗さは、逃げ面摩耗幅に比例して大きくなった。この摩耗幅に比例して増加する粗さの主要成分の波長は、次章で述べる背分力方向の振動加速度の波長とほぼ一致した。3次元仕上げ面粗さは、送り方向と切削方向に測定した2次元表面粗さの和とほぼ同じ値を示した。

第4章では、工具摩耗が切削抵抗、AE信号に及ぼす影響について調べた。切削抵抗の静的成分については、切削初期では背分力は非常に小さかったが、主分力はある程度の大きさがあった。切削距離が長くなるのに伴って逃げ面摩耗部の面積は増加し、背分力と主分力の静的成分（静的切削抵抗）と動的成分の標準偏差は、ほぼ直線的に大きくなった。単位切削断面積当りの主分力と背分力の静的成分（静的切削抵抗）は、切削断面積を逃げ面摩耗部の面積で規準化した無次元量の指数関数で表わすことができた。また、スペクトル解析の結果、切削抵抗の動的成分のスペクトルは、200 Hz以下で大きく、逃げ面の摩耗面積の増加に伴って全体的に大きくなった。また、摩耗が過大になると約30 Hz以下の成分が大きくなった。

AE信号のRMS値は、すくい面摩耗部の面積の増加に伴い、ほぼ直線的に大きくなった。また、同じすくい面摩耗部の面積では、コーナ半径0.8 mmの工具で得られたAE信号のRMS値は、コーナ半径5 mmの工具よりも大きくなった。すくい面摩耗部の面積を切れ刃と被削材との接触弧の長さで規準化すれば、規準化されたすくい面摩耗部の面積に対し、コーナ半径0.8 mmと5 mmでAE信号のRMS値はほぼ同じになった。

第5章は、本論文の結論である。

論文審査の要旨

報告番号	理工論 第53号		氏名	岩本 竜一
審査委員	主査	近藤 英二		
	副査	中西 賢二	末吉 秀一	
		皮籠石 紀雄		

学位論文題目 AI合金の超精密切削加工過程に及ぼす工具摩耗の影響に関する研究
(Study on Influence of Tool Wear on Ultra-Precision Cutting Process of Aluminum Alloy)

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。本論文は単結晶ダイヤモンドRバイトによるAI合金の超精密切削加工の過程に及ぼす工具摩耗の影響を実験的に検討した結果をまとめたものであり、全文5章より構成されている。

第1章は(序章)であり、超精密切削加工の歴史的背景と今後求められる生産技術について総説し、本研究の意義と目的について述べている。

第2章ではまず切削距離の増加に伴う工具逃げ面とすくい面の摩耗状態の変化をSEMにより詳細に観察した結果が述べられている。次に、工具摩耗と仕上げ面の加工硬化層の深さ、硬さおよび残留応力の関係について実験的に調べた結果が述べられている。考察の結果として、仕上げ面の加工硬化層の深さと硬さの増分、残留応力の増分は、切削工具逃げ面の摩耗、特に仕上げ面を創成する切れ刃の摩耗と関係し、仕上げ面を創成する切れ刃の摩耗幅の増加に対し、指数関数的に大きくなることを明らかにしている。

第3章ではまず工具摩耗と仕上げ面の2次元および3次元の仕上げ面粗さとの関係を実験的に調べた結果が述べられている。次に、切削方向と工具送り方向の粗さの生成機構についてそれぞれ考察が述べられており、仕上げ面粗さは、仕上げ面を創成する切れ刃の逃げ面摩耗幅の増加に伴って大きくなることを明らかにしている。また切削方向の粗さが逃げ面の摩耗に伴って大きくなる原因は、逃げ面の摩耗に伴って仕上げ面が硬くなることに伴って誘起される、背分力方向への切削工具系の自励的な振動であることが述べられている。

第4章では工具摩耗と静的切削抵抗、動的切削抵抗、AE信号との関係について実験的に調べた結果が述べられている。動的切削抵抗についてはRMS値とスペクトル、AE信号についてはRMS値と工具摩耗との関係が調べられている。得られた実験結果と考察により、単位切削断面積当りの静的切削抵抗は、切削断面積を逃げ面摩耗部の面積で規準化した無次元量の増加に対し、指数関数的に減少すること、またAE信号のRMS値は、すくい面摩耗部の面積を被削材との接触弧の長さで基準化した値の増加に対し、直線的に大きくなることを明らかにしている。

第5章は(結論)であり、本論文で明らかになったことを総括している。

以上本論文はAI合金の超精密切削加工で創生される加工面の表面性状、超精密切削加工の過程で発生する切削抵抗、AE信号と工具摩耗との関係を調べて定量的な関係を明らかにし、また実験式を得ている。これは超精密切削加工の発展に大きく寄与する。よって、審査委員会は博士(工学)の学位論文として合格と判定する。

学 力 確 認 結 果 の 要 旨

報告番号	理工論 第 5 3 号		氏 名	岩本 竜一
審査委員	主 査	近藤 英二		
	副 査	中西 賢二		末吉 秀一
		皮籠石 紀雄		

平成21年2月4日15時から行われた学位論文発表会において、審査委員全員と他の聴講者からの種々の専門的な質疑に対し、いずれも以下に示すような的確な回答が得られ、審査委員は申請者が十分な専門知識と見識を有することを確認した。

質問：切削工具の摩耗の原因は何か、また切削温度は何度か。

回答：ダイヤモンド工具は900Kを超えると酸化などによる損耗が生じる。しかしAl合金の超精密切削加工での切削温度は600K以下と考えられ、化学的に安定しているので主として機械的摩耗が原因であると考えられる。また切削点での温度は測定が困難なためAl合金での実測値は得られていないが、銅の切削では700K近くまで上昇することが報告されている。

質問：切削工具逃げ面の摩耗部とすくい面の摩耗部の形状が違う理由は何か。

回答：切削の進行に伴ってすくい面の摩耗部の形状はほぼ三角形に収束しているが、これは切削断面形状とほぼ同じであり、すくい面での摩耗は工具と切屑の接触によるものであると推定される。また、逃げ面で弾性回復量による仕上げ面との接触部の形状は台形に近い形になると推定されるが、逃げ面の摩耗部の形状は台形に近い形状に収束しており、逃げ面の摩耗は工具と仕上げ面の接触によるものであると推定される。

質問：論文では焼なましをした被削材で実験式を得ているが、加工硬化した被削材についてはどうか。

回答：加工硬化した被削材の焼なまししたときの機械的性質がわかれば、実験式を用いて工具が摩耗したときの加工面の硬さ等は得られ、加工硬化した状態での機械的性質との差が、加工硬化した材料での工具摩耗による変化量になると考えている。

質問：本論文では最初は摩耗していない工具を使い、摩耗の増加に伴う切削抵抗の変化を調べ、切削抵抗による工具摩耗のモニタリングの可能性を示しているが、最初から摩耗している工具にも適用できるのか。

回答：本論文では比切削抵抗と切削断面積で規準化した逃げ面摩耗部の面積との関係を実験式として求めており、切削条件から切削断面積が得られれば最初から摩耗した工具であっても、切削抵抗による工具摩耗のモニタリングは可能であると考えている。

質問：仕上げ面の切削方向粗さには結晶粒の影響が見られないのはなぜか。

回答：切削工具切れ刃と被削材との接触弧の長さは結晶粒径の10倍以上あるため、結晶粒の影響が平均化され、個々の結晶粒の影響は現れなかったと考えられる。

質問：本論文で得られた実験式は他の材料にも適用できるのか。

回答：超精密切削加工で使われるAl合金の種類は少ないため、その範囲であれば適用できると考えているが、実験式の係数、指数は修正することが必要になる可能性はある。

国際会議において、申請者は英語による論文の執筆と発表を2回行い、十分な語学力があることを主査が確認しており、審査委員会は申請者が十分な語学力を有すると認定した。

以上のことから、審査委員会は申請者が博士（工学）の学位を与えるのに十分な学力と見識を有するものと認定した。