



鋼およびアルミニウム合金のドライならびにニアドライ加工に関する研究

吉村, 博仁

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2007-03-25

(Date of Publication)

2014-04-14

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3952

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003952>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 3 4 5 】

| | | |
|------------|--------------|---------|
| 氏 名・(本 籍) | 吉村 博仁 | (愛知県) |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士 (工学) | |
| 学 位 記 番 号 | 博い第436号 | |
| 学位授与の 要 件 | 学位規則第5条第1項該当 | |
| 学位授与の 日 付 | 平成19年3月25日 | |

【 学位論文題目 】

鋼およびアルミニウム合金のドライならびにニアドライ加工
に関する研究

審 査 委 員

| | | | |
|-----|-----|----|----|
| 主 査 | 教 授 | 森脇 | 俊道 |
| | 教 授 | 白瀬 | 敬一 |
| | 教 授 | 大前 | 伸夫 |
| | 助教授 | 柴坂 | 敏郎 |

(氏名： 吉村 博仁 NO. 1/2)

近年、地球規模での環境問題が大きくクローズアップされ、消費エネルギーを小さくし、環境負荷を軽減させる加工技術の確立が重要となっている。このためエネルギー消費、廃棄物に占める割合の大きい切削油を減らすことが重要となり、切削油を減らすためのドライおよびニアドライ加工技術が最近注目されている。鋼切削では一部の加工で具体的な応用が進んでいるものの、実績主導のコンセプトづくりと開発が先行し切削現象の解明が遅れている。一方、アルミニウム合金の切削においては、工具刃先に溶着が生成し、切りくず詰まりによる工具折損、加工精度の悪化を招くことによりニアドライ加工は進んでいない。そこで、本研究ではドライおよびニアドライ加工における切削現象そのものの解明に重点をおき、アルミニウム合金のニアドライ加工では、工具材質・切削条件などの各因子が溶着生成におよぼす影響、および溶着の発生ならびに成長機構を検討した上で溶着を抑制する加工法を提案している。鋼のドライ加工では、まずホブ切りのドライ加工における工具摩耗の減少、および加工歯面上の切りくず凝着の切削機構を明らかにし、さらに旋削のドライ加工における切りくず分断技術を提案している。

本論文は、全6章から構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

第1章「緒論」では、環境対応加工のためには、切削油を減らすことが重要であることを述べている。さらに、ドライおよびニアドライ加工に関する研究を概説し、まとめることで本研究の工学的、工業的な位置付けを行った上で本研究の目的について述べている。

第2章「アルミニウム合金のニアドライ加工の切削現象」では、自動車のシリンダーヘッド材に用いられているアルミニウム合金 AC2B-T6 相当を焼結ダイヤモンド工具、超硬工具、DLC (Diamond-Like Carbon) コーテッド工具など8種類の工具材質を用いてニアドライ潤滑条件下で二次元切削を行い、高速度カメラによる溶着生成状況や切りくず生成状況の観察、SEMによる工具のすくい面上の溶着の観察、オージェ電子分光装置 (AES) やエネルギー分散型分光器 (EDS) による工具のすくい面上の溶着部の化学分析、溶着生成におよぼす切削条件、工具のすくい角の影響について明らかにしている。焼結ダイヤモンド工具を用いた切削では広範囲な切削速度範囲で、工具のすくい角の大小、アルミニウム合金のシリコン含有量にかかわらず、溶着がほとんど生成しないことを明らかにしている。他方、超硬工具、DLC コーテッド工具を用いた切削では低切削速度領域で大きな溶着が生成するが、溶着量は切削速度の増加とともに減少すること、およびすくい角が大きいほど溶着量は少ないことを明らかにしている。被削材については、シリコン含有量の異なる3種類のアルミニウム合金 (AC2B-T6 相当, AC1A-T6, 純アルミニウム) について検討し、アルミニウム合金のシリコン含有量が多いほど溶着量が多いことを明らかにしている。さらに、アルミニウム合金 AC2B-T6 相当においては、切削抵抗の測定から算出される平均摩擦係数と溶着幅は工具材質、切削速度の影響を受けずにほぼ比例関係にあり、溶着がほとんど生成されない場合は、摩擦係数は0.5以下であることを明らかにしている。

(氏名： 吉村 博仁 NO. 2/2)

第3章「アルミニウム合金のニアドライ加工における溶着の発生および成長機構」では、溶着の成長機構に関しては、切りくずと溶着部の断面形状および断面組織について詳細に観察し、溶着が生成する場合の切りくずには、工具との擦過面側に切りくず流出方向へ凸形状を有したささくれ部、および塑性変形した加工硬化層の存在を明らかにしている。この加工硬化層が切りくずから分離し工具すくい面上の溶着部となり構成刃先として成長すること、および加工硬化層が切りくずから分離する際に、切りくずが工具のすくい面の溶着部に引っ張られることによりささくれ部が形成されることを示唆している。溶着の発生機構に関しては、溶着部と工具のすくい面との界面付近をミクロ的に観察、解析し、工具のすくい面と溶着部の界面にシリコン、マグネシウムなどのアルミニウム合金成分が偏在すること、および DLC コーテッド工具の DLC 膜表面にグラファイト構造が存在することを明らかにし、これらが溶着発生の核となる可能性を示唆している。

第4章「アルミニウム合金のニアドライ加工における溶着抑制加工法の提案」では、アルミニウム合金のニアドライ加工における溶着を抑制する加工法として、二次元切削において断続切削および切込み変動切削を、穴あけ加工においてステップ送り切削および高速切削を試みている。二次元切削における断続切削は連続切削に比べて溶着の発生および成長が遅くなることを明らかにしている。さらに、穴あけ加工においては、断続切削を実現するステップ送り切削、および高速切削を検討し、いずれの切削方式も効果があることを確認している。特にステップ送り切削では切削抵抗が低減し、切りくず排出性が良好なことを明らかにしている。

第5章「鋼のドライ加工」では、まずホブ切りのドライ加工に着目し、ホブのすくい面において、切りくずとの擦過面に生成する凝着物がホブのすくい面を保護しすくい面摩耗の進展を抑制していることを明らかにしている。また、ドライ加工における歯車の加工歯面上の切りくず凝着は、ホブセット角を変更し切りくず生成状態を変えることで抑制することができることを明らかにしている。さらに、切りくずの凝着発生状況は、歯丈係数と平均切りくず厚さにより識別することができることを明らかにしている。次に、旋削のドライ加工においては、切削送り方向に振動を付加しながら切削することで切りくずが分断できる技術を提案している。振動波形にのこぎり波形を用いることで、従来提案されていた振動波形に正弦波形を用いる場合に比べて、理論仕上面粗さは1/4へ向上し、振動を与えない場合の理論仕上面粗さと同等であることを明らかにしている。また、のこぎり波形が発生できる振動バイト装置を試作し、振動波形の山頂までの時間 t_1 と振動周期 T との比、すなわち、のこぎり形状係数 $\alpha = t_1/T$ が大きくなるに伴い加工仕上面粗さが向上し、振動周波数が大きくなるほど切りくず長さが短くなることを切削実験にて検証している。

第6章「結論」では、本研究により得られた成果をまとめるとともに、今後の課題を述べている。

| | | | |
|----------|-----------------------------------|-----|-------|
| 氏名 | 吉村 博仁 | | |
| 論文 題目 | 鋼およびアルミニウム合金のドライならびにニアドライ加工に関する研究 | | |
| 審査委員 | 区 分 | 職 名 | 氏 名 |
| | 主 査 | 教 授 | 森脇 俊道 |
| | 副 査 | 教 授 | 白瀬 敬一 |
| | 副 査 | 教 授 | 大前 伸夫 |
| | 副 査 | 助教授 | 柴坂 敏郎 |

要 旨

近年環境負荷を軽減させる加工技術の確立がますます重要となり、切削油の使用を減らすドライ、ニアドライ加工技術が注目され、関連する研究ならびに実用化が進んできている。こうした加工法は鋼材料の加工では実用化が進展しつつあるものの、アルミニウム合金加工では工具刃先にアルミニウム被削材の溶着が発生し、切りくず詰まりによる工具折損、加工精度の悪化を招くため、ドライ、ニアドライ加工は進んでおらず、大きな課題となっている。またこれまでのニアドライ加工技術は、応用開発が先行し切削現象の解明が遅れているという問題もある。

本研究では、ドライ、ニアドライ加工における切削現象を検討するとともに、アルミニウム合金の2次元切削において溶着の生成状況を観察し、工具材質、切削条件などの各因子が溶着生成におよぼす影響を明らかにするとともに、溶着の発生、成長機構を推定し、溶着を抑制する加工法を提案している。また鋼のドライ加工では、ホブ切りのドライ加工における工具摩耗の減少、加工歯面の精度悪化の機構を明らかにし、さらに旋削のドライ加工における切りくず分断技術を提案している。

本論文は、全6章から構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

先ず第1章「緒論」では、切削加工に関連してCO₂や廃棄物を削減するためには、エネルギー消費、廃棄物に占める割合の大きい切削油を減らすことが重要であり、そのために環境対応加工が必要になっている状況を述べている。特にドライ、ニアドライ加工に関する研究から、本研究の工学的・工業的な位置付けを行った上で、本研究の目的について述べている。

第2章「アルミニウム合金のニアドライ加工における切削現象」では、自動車用エンジンのシリンダーヘッド材としてのアルミニウム合金 AC2C-T6 (JIS AC2B 相当) を主対象とし、それとシリコン含有量の異なるアルミニウム合金 JIS AC1A-T6 および純アルミニウムについて、超硬合金工具、焼結ダイヤモンド工具、単結晶ダイヤモンド工具、DLC コーテッド工具、TiN コーテッド工具、TiAlN コーテッド工具、CVD コーテッド工具、CBN 工具の各工具材料を用いて2次元切削を行い、高速度カメラによる溶着生成状況の観察、走査型電子顕微鏡(SEM)による溶着部の観察、エネルギー分散型分光器 (EDS) やオージェ電子分光装置 (AES) による工具溶着部界面の成分分析によって切削現象を検討している。ここでは工具材料については、単結晶ダイヤモンド工具および焼結ダイヤモンド工具では溶着が全く生成されないこと、その他の工具材料では切削速度が低速領域で大きな溶着が発生し、溶着量は切削速度の増加とともに減少すること、工具形状については溶着はすくい角の増加に伴い減少すること、アルミニウム合金のシリコン含有量が多いほど溶着量が多いことなどを明らかにしている。さらにアルミニウム合金 JIS AC2B 相当の切削においては、溶着幅と切削抵抗の測定値から算出される平均摩擦係数は、工具材料、切削速度に無関係に溶着量とほぼ比例関係にあること、溶着がほとんど形成されない場合には摩擦係数は0.5以下であり、溶着が生成する場合でも切削開始直後においては、溶着の発生は観察されないことなどを確認している。

第3章「アルミニウム合金のニアドライ加工における溶着の発生、成長機構」では、溶着の成長機構に関連して、切りくずと溶着部の断面形状、断面組織を観察している。その結果、溶着が発生した場合には切りくず裏面にささくれが観察されること、アルミニウム合金 JIS AC2B 相当材料の切りくずと溶着部の断面から析出 Si 層の塑性変形による層状組織が観察されることなどを明らかにしている。さらに工具すくい面付近における大きな2次流動層の存在から、切りくずの一部が分断し溶着として成長し、切りくず裏面にささくれが発生するという溶着の成長機構を検討している。溶着の発生機構に関しては、溶着部と工具すくい面との界面付近をミクロ的に観察、解析し、溶着発生の起点となる物質の組成、および化学結合状態について検討し、工具すくい面と溶着部界面にアルミニウム合金成分が偏在すること、DLC コー

| | | | |
|----------|---|--|--|
| 氏名 | 吉村 博仁 | | |
| 論文 題目 | テッド工具では膜の極表面におけるグラファイト構造の存在を明らかにし、これらが溶着発生の核となる可能性があることを推察している。 | | |
| 審査委員 | 第4章「アルミニウム合金のニアドライ加工における溶着抑制加工法の提案」では、実用的観点からの溶着抑制法を提案している。具体的には、第2章においてアルミニウム合金のニアドライ加工では切削開始直後に溶着の発生が観察されないこと、および切削速度の増加に伴い溶着量は減少することを確認した結果に基づき、2次元切削においては断続切削および切削抵抗を変動させる切込み変動切削を、また穴あけ加工においては送り方向の加工を周期的に停止するステップ送り切削、および高速切削を提案している。2次元切削においては断続切削、切込み変動切削のいずれもが効果があり、特に断続切削が有効であること、さらに穴あけ加工においては高速切削、ステップ送り切削のいずれも効果があり、特にステップ送り切削は効果が大きく、切削抵抗が低減して切りくず排出性が良好であることを検証している。 | | |
| 要旨 | 第5章「鋼のドライ加工」では、ホブ切りのドライ加工、および旋削のドライ加工における切りくず分断について検討している。ホブ切りのドライ加工に関しては、工具摩耗、加工歯面への切りくず凝着に関して実験的に検討し、ホブ切りにおける切削現象を明らかにし、実用化への指針を提案している。また、高速度鋼ホブにて被削材 SCr420 をドライ加工する場合には、ホブすくい面における切りくずの凝着物がホブすくい面を保護し、すくい面における摩耗の発生、成長を抑制することで、ホブすくい面のクレータ深さがウエット加工に比べ小さくなることを明らかにしている。加工歯面への切りくず凝着は、ホブセット角の変更により切りくず生成過程を変えることで無くせること、さらに切りくず凝着は歯丈係数とピッチ円と歯元の間で発生する平均切りくず厚さから発生有無の識別が可能であることを明らかにしている。旋削のドライ加工における切りくず分断技術においては、送り方向の振動切削の振動波形をのこぎり波形とすることで、正弦波形的場合に比べて理論面粗さは1/4に改善されて、振動を与えない切削と同等にできることを示している。さらにピエゾアクチュエータを振動子としたのこぎり波形に振動する旋削用バイトホルダを試作し、バイトホルダ先端の刃先が切りくずを分断し、加工面粗さがRyで約6μm程度でドライ旋削が可能となること、振動周波数が大きくなるほど切りくずが短くなることなどを実証している。 | | |
| 結論 | 第6章「結論」では、本研究により得られた成果をまとめるとともに、今後の課題を述べている。 | | |
| 特記事項 | 以上、本研究は環境負荷を軽減させる加工技術として要望の高いニアドライ加工において課題となる溶着現象について、その発生要因、抑制手法を研究したものであり、ニアドライ加工の実用化に対して重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認められる。よって、学位申請者の吉村博仁は、博士(工学)の学位を得る資格があるものと認められる。 | | |
| 発表論文数 | 4編 | | |