

学位論文要旨

難削材料の穴加工における切りくず排出に関する研究 (Study on Chip Evacuation in Hole Machining of Difficult-to-Cut Materials)

小島 祐人

近年、航空宇宙産業や原子力産業などにおいて優れた材料特性を有するステンレス鋼、ニッケル基合金、コバルト基合金、チタン合金、複合材料などの使用量が増加してきている。これらの材料は機械加工時にはトラブルを生じやすく難削材料とされている。さらに、これらの材料は過酷な環境のもとで使用される場合もあり要求される製品の寸法精度や仕上げ面粗さなどが厳しく、加工時には適切な加工条件を選定しなければならない。また、機械加工のなかで比較的難しい加工方法に分類されているドリル加工やタップ加工などにおいては、他の加工方法と比べて切りくず排出の良否が被削性を向上させるためにより重要な問題となる。本研究では、難削材料とされているオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 および CFRP の穴加工において主に切りくず排出に着目しその被削性について検討した。

第2章「スパイラルタップを用いたオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 のタップ加工」においては、タップ加工における切りくず生成機構を考慮した新たなトルクの推定方法を提案した。また、タップ加工において必要とされている食付き性の改善する方法について検討を行った。タップ加工では、切りくずの排出状態が切削抵抗や工具寿命やねじ品質を大きく左右するため、切りくずを適切に排出できるような工具形状や切削条件を設定する重要性が従来から指摘されてきたが、複数の切れ刃が同時に作用するタップ加工の切削機構は複雑であり、これまでのトルク解析では切りくず排出に関する要素についてはほとんど検討されていなかった。本研究では、切りくず生成機構などをもとにタップ加工時のトルクを計算する方法を提案し、切りくず排出が問題となりやすいスパイラルタップを用いたオーステナイト系ステンレス鋼のタップ加工において検証した。提案する手法は、タップの食付き部のみが作用している間の全トルクを構成する各成分を計算すること、トルクに対する切りくずの排出状態の影響を含んでいることが従来の手法と異なっている。切りくず生成のためのトルクは、被削材をせん断面でせん断変形させるために必要なトルクであり、工具幾何形状および切りくず断面形状、推定したせん断面せん断応力値などから計算した。刃先力による付加的なトルクは、切れ刃の刃先丸みに起因しており、送りを変化させた旋削加工から推定した。また、本研究において用いたタップおよび被削材の組み合わせにおいては、逃げ面摩擦によるトルクはかなり小さいことを示した。これらの計算したトルクの合計値は実測したトルクと良く一致した。切りくず生成のためのトルクは全トルクの90%を占めており、刃先力は残りの10%であった。実測したトルクは、切削断面積が変化しない食付き部が全て作用した後の状態において増加した。このトルクの増加分は、加工穴深さと切りくず形状の関係から切りくず排出に起因していると予想され、切りくずの拘束状態を変化させた試験から切りくず排出に伴うトルクであることが明らかとなった。このトルクは、これまでに指摘されていた切りくず詰まりによって突発的に生じる“Chip packing load”ではなく、タップ溝径よりも大きい切りくずを溝内部に強制的に収容するために必要な曲げやねじり変形を与えている力による成分である。本研究においてはこの切りくず排出に伴うトルクの全トルクを占める割合は最大で20%ほどであった。切りくず生成機構として、切りくず断面形状および工具幾何形状からタップのそれぞれの切れ刃の有効せん断角を求め、有効せん断角が切れ刃幅方向に一定でないこと、主切れ刃長さと副切れ刃長さの比によって各切れ刃の有効せん断角がそれぞれ異なっていることを明らかにした。タップ工具の設計時には切りくず生成機構に基づいて切りくず形状の予測しつつ、切りくず排出に伴うトルクが小さくなるような工具形状および表面処理とする必要がある。

タップ加工では一般的に各ランド間で切削断面積の大きさはそれぞれ異なっており切削抵抗の軸断面内の成分には不釣り合いが生じている。さらに、加工初期には工具と被削材の接触点は少なく、機構上隙間が比較的大きいフローティングホルダを用いたタップ加工では食付き性の低さが問題となっていた。本研究では下穴の面取り角をタップの食付き角と同角に変更することで食付き性の改善が可能であること

を確認した。従来タップ加工の評価として用いられてきたトルクではその効果を確認することはできず、工具軸断面内の切削抵抗の推移に着目した。面取り角をタップの食付き角と同角にした場合、通常の面取り形状と比較して切削抵抗の軸断面内の成分のリサージュが円形に近くなり、試行回数に対して再現性が高くなった。食付き性が向上することで、切りくず形状が安定し切りくずの排出時のトラブルを抑制する効果があると思われる。

第3章「電着ダイヤモンドコアドリルによる CFRP の穴加工」では、近年需要量が増加している CFRP の穴加工において優れた加工特性を示す電着ダイヤモンドコアドリルの適用について述べた。ドリルを用いた CFRP の穴加工では激しい工具摩耗や穴内面および出口部の品質が問題となりやすく、一般的に用いられるツイストドリルにおいては工具形状の改良により対策がなされてきたが、近年、新しい加工法として電着コアドリルを用いることが提案されていた。ツイストドリルと比較して、加工穴の品位が良好となるとされているが、高能率加工のためには粉末状の切りくずの排出性を向上させることが課題とされていた。本研究では、切りくず排出性を向上させる方法としてエアアシストおよびクーラントスルー加工を提案した。また、切りくず排出性を向上させることのできる形状のコアドリルとして、偏心工具、偏心スリット工具偏心スリット面取り工具などを提案し、各種条件下でその効果を検証した。通常形状のコアドリルを用いて加工を行うとコア詰まりが生じ、同一の加工条件では切削抵抗はツイストドリルの3倍程度となり、切りくず排出性を向上させる必要があることが明らかとなった。また、コアドリルを用いた加工におけるコア詰まりはステップ加工を行うことで穴深さが 3mm を超えたところで生じていることが明らかとなった。ツイストドリルは切削抵抗の大きさは小さかったが、穴出口部に大きな切り残しやデラミネーションが認められた。コアドリルの切りくず排出性を向上させるため工具内部からエアの吐出または吸引を行うことができるシステムを構築した。工作機械の主軸を通してエアアシストを行うために、ドロボルトに貫通穴をあけてロータリージョイントを接続し、ロータリージョイントを介してコンプレッサまたは集塵機と接続した。通常形状のコアドリルを用いた加工においてエアを吐出すると、エアアシストなしでは加工できない条件においても、コア詰まりが抑制され切削抵抗はかなり減少した。しかしながら、穴出口部で大きな切り残しやデラミネーション生じることや、粉状の切りくずの飛散が激しいためエアの吐出は実用には適さない。エアの吸引を行った場合は、加工特性にほとんど影響をおよぼさなかった。一方で、提案した内面偏心工具やスリットを加えた偏心スリット工具を使用した場合、工具内部からエアの吸引を行うとコア詰まりがなく、切削抵抗および穴出口部の状態も改善された。工具への軸方向の電着長さが大きい場合、工具側面への切りくず付着量がやや増加し、穴内面粗さは増大した。ダイヤモンド砥粒の粒径を小さくすると穴内面粗さは小さくなるが、スラストを増加させるため、それに起因して穴出口部でデラミネーションなどの欠陥が生じてしまう。送りを増加させるとスラストおよび穴内面粗さは増加した。一方で、切削速度はクーラントが十分に供給され切りくずが除去されている範囲ではスラストにはほとんど影響しないことが明らかとなった。そのため、コアドリルを用いて高能率な加工を行う場合には、クーラント供給下で低送り高切削速度の条件に設定することが有効である。送り、工具の砥粒径および組織率は切りくず形状および生成量、チップポケットの大きさおよび切りくず排出量を決定するが、その最適値を与えることが今後の課題となる。本研究において行った範囲では、工具形状として粒度#100 の偏心スリット面取り形状のコアドリルを使用しクーラントスルーで油剤の供給を行った条件が最も良い加工特性を示し、切削速度 50m/min、送り 0.027mm/rev の加工条件が高能率かつ穴品質の観点から最適条件であった。このように、切りくず排出性の向上が課題となっていたコアドリルを用いた CFRP の穴加工において、工具形状やエアアシストおよびクーラントスルー加工によって被削性の改善を行った。さらなる高能率加工を行うためには、高切削速度の条件においてもクーラントを工具先端に確実に供給するシステムを構築し、工具の粒度や組織率を最適化する必要がある。