



機械加工における熱変形と加工精度に関する研究

横山, 和宏

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1986-03-18

(Date of Publication)

2008-05-12

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1011

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001011>

※ 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。



氏名・(本籍)	よこ 横	やま 山	かず 和	ひろ 宏	(香川県)
学位の種類	工 学 博 士				
学位記番号	工博ろ第6号				
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当				
学位授与の日付	昭和61年3月18日				
学位論文題目	機械加工における熱変形と加工精度に関する研究				
審 査 委 員	主査	教授	岩 田 一 明		
		教授	森 脇 俊 道	教授	松 本 隆 一

論 文 内 容 の 要 旨

機械工業の基幹ともいふべき製造業においては、機械加工が最も重要な位置をしめていることは明らかである。機械加工を含め他の各種加工法に課せられた最も重要な課題は加工精度の向上と生産能力の増大である。加工精度の向上は、高品位の製品を製造するという観点から、それ自体が重要な意義を有することは当然であるが、生産能力増大にも密接に関わるより基礎的な課題でもある。すなわち、加工速度の高速化を達成するためには、例えば工作機械の主軸が高速回転する条件下で正確な回転運動を行う必要があり、各種の滑り面は高速で正確な直線運動を行う必要がある。これらの正確な運動を実現するためには、機械部品およびそれらを統合した工作機械の精度が十分でなければならず、これはとりもなおさず工作機械、および構成部品を製造する際の加工精度の向上に負うところが大きいと言える。

上述の加工精度に影響を及ぼす要因は多数あるが、高精度加工を目指して検討された要因は時代とともに変遷し、初期の加工システムにおいては工作機械の幾何学的精度が、ついで加工のメカニズムと振動が取り上げられた。加工精度向上の歴史はこれらの要因を解析し、適切な対策を講じることによって創られてきたと言える。近年、幾何学的精度ならびに剛性が向上し、さらに高能率化、省力化をもたらすNC工作機械の導入およびコンピュータに代表されるエレクトロニクス産業の要請にもとづく加工精度の飛躍的向上が試みられるに及んで、工作機械、工作物および工具の熱変形が注目されるに至った。

そこで、本研究では、機械加工における主として工作物および工具の熱変形解析法を体系化し、熱

変形にもとづく加工精度の生成機構を解明するとともに、加工精度向上のための対策およびその有効性を明らかにしたものである。また、工作機械の熱変形にもとづく加工誤差の制御法についても検討を行った。

本論文における各章の要旨は次の通りである。

第1章の緒論では、機械加工における加工精度の重要性および加工精度の支配的要因の歴史の変遷について述べるとともに、これまでの研究を概観している。また、加工精度を向上させるには、工作機械、工作物および工具の熱変形現象を解析し、これらの結果にもとづく対策を講じることの必要性を指摘し、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、加工熱にもとづく温度上昇の理論解析および数値解析において必須である熱源の同定法について論じている。加工熱は加工領域における工作物、工具および切りくず間の摩擦および変形に要する仕事にもとづいて発生する。この仕事は加工抵抗と加工速度の積を積分することにより求められ、発生した熱は切削機構にもとづいた割合で工作物、工具および切りくずに伝導する。したがって、加工領域における全発生熱量は正確に求められるが、工作物、工具および切りくずへの熱の配分割合の決定が困難な問題である。そこで、これら熱源の発熱量の配分割合の決定方法について論じた。

第3章では、第2章において求められた熱源をもとに、熱変形ひいてはこれにもとづく加工精度に影響を及ぼす温度上昇について論じている。温度上昇の解析においては、解析対象の形状と加工に伴う形状の変化および境界条件により解析手法を選定する必要がある。これらの形状と境界条件およびそれに対応する理論解析もしくは数値解析の適用方法について論じるとともに、各解析法についても述べた。さらに、熱源の状態なかでも熱源の移動形態によっては、理論的に解析可能ではあるが現実に解を得ることが時間もしくは費用の点から容易でない場合が少なくないと考えられる。このような場合の解析方法についても論じている。さらに、以上の解析手法を実際の加工に適用した結果を示した。

第4章では、第3章で得られた温度上昇をもとにして、これにもとづく熱変形について論じている。また、熱変形の理論解析法とその適用について述べた。しかしながら、複雑な温度分布に直接対応する熱変形を理論的に解析するには、何らかの近似を行う必要があり、また理論的解析法自体が十分確立していない場合もある。このような場合には、実験的な解析法を併用することが効果的であることが少なくない。さらに、理論解析と比較するためには、これと独立して熱変形量を実験により測定することが重要である。このような場合における解析法の適用とその結果について考察した。

第5章では、第4章までの解析結果にもとづいて、加工精度のなかでもより基本的である寸法精度と熱変形の関連および寸法精度の制御法について論じている。一般に、工作機械は工作物および工具

に比較して寸法が大きいため、同一の温度上昇に対して、より大きな熱変形を示す。そこで、まず工作機械の熱変形を取り上げ、主として寸法精度を向上させるための対策について述べた。すなわち、熱源の除去、断熱および冷却の適用手法ならびに実際の加工において十分適用可能である主軸熱変位の実時間推定法と、それらの結果を明らかにした。つぎに、機械加工のなかでも高精度が要求され、最近とみに高速化および高能率化が指向されてきているホーニング加工を取り上げ、自動定寸法における寸法精度の生成機構と工作物および工具の熱変形との関連について検討を加えた。これらの結果をもとにして、熱変形にもとづく誤差をインプロセスで補正する新しい自動定寸法を提案するとともに、その実験結果を明らかにして、この自動定寸法が寸法精度の制御法として有効であることを示した。

第6章では、寸法精度と同様に重要である形状精度と熱変形との関連について論じている。十分な熱変形対策を施した工作機械を使用する場合においても、良好な加工精度が得られないことがある。そこで、本章では第4章までの解析結果をもとにして、工作物および工具の非定常な熱変形にもとづく形状精度の生成機構について述べた。すなわち、工作物の形状精度は工作物、工具の非定常な熱変形現象および非対称な変形に影響されることを明らかにした。また、工作物の形状が不均一な場合には、これにもとづく形状精度が低下すると考えられるので、工作物形状と形状精度との関連についても検討を行なった。

第7章の結論では本研究で得られた主な成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、機械加工の高精度化を実現する上で現在最も重要とされている機械加工系の熱変形に関して、工作機械、工作物および工具の熱変形解析法を体系化し、熱変形にもとづく加工精度の生成機構を解明するとともに、加工精度向上のための方策について検討を行ない、その有効性を明らかにしたものである。

第1章緒論では、機械加工における加工精度の重要性、熱変形に関する従来の研究について概説するとともに、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、加工熱にもとづく温度上昇の理論解析、および数値解析において必須となる熱源の強さの同定法について論じ、さらに工作物、工具および切りくずへの熱の配分割合の決定法を明らかにしている。具体的には、ドリルによる切削加工、平面研削加工、ホーニング加工など、様式が異なる各加工法についてこれらの方法を適用し、その有用性を明らかにしている。第3章では、第2章で求められた熱源の強さとともに、各部の温度上昇を解析する方法について論じている。ここでは特に熱伝導理論にもとづく理論解析に加えて、有限要素法、差分法による数値解析法を定式化し、各手法の特

徴と適用における問題点を明らかにしている。さらに、具体例としてドリル加工、平面研削加工、ホーニング加工における工具、工作物の温度上昇を求め、実験結果と比較して良好な一致を見ている。第4章では、加工熱による工作物および工具の熱変形を求める手法として、解析解による方法、解析解と実験値を併用する方法および実験値を独立して求める方法について検討を行っている。具体的な例としてドリル加工、平面研削加工、ホーニング加工における熱変形を求め、例えば加工に伴う工具、工作物の非定常な熱変形挙動、各種加工条件が熱変形に及ぼす影響などを明らかにしている。第5章では、工作物の寸法精度と熱変形の関係を明らかにし、より高い寸法精度を得るための方策について検討している。特にここでは工作機械の熱変形抑制対策として、熱源の除去と断熱化、潤滑油による冷却、空気による冷却について検討を行ない、それらの有効性を実証している。またホーニング加工における寸法精度を向上させる新たな方法として、熱変位補正型インプロセス自動寸法を提唱し、弾性変形の影響を除去するためのランアウトを付加することにより、従来の方法による寸法精度誤差を数分の1程度に低下させることに成功している。第6章では、非定常な熱変形、ならびに加工物形状が単純でないことによる不均一な熱変形が原因となる形状精度の低下について検討を行っている。特にドリル加工における加工穴の真直度、平面研削における加工面の平面度、ホーニング加工における加工穴の真円度について解析を行ない、加工条件をはじめとする各種要因がこれらの形状精度に及ぼす影響を明らかにしている。

以上、本研究は機械加工における熱的問題について、機械加工系に加えられる熱源の強さから、加工系の温度分布、加工物の寸法、形状精度が決定される過程および熱変形の制御方法を研究したものであり、機械加工における熱変形と加工精度につい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る。

よって、学位申請者横山和宏は、工学博士の学位を得る資格があると認める。