

氏 名	くりや がわ つねもと 厨 川 常 元
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 62 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 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) 精密工学専攻
学 位 論 文 題 目	クリープフィード研削に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 松井 正己
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 松井 正己 東北大学教授 加藤 正名 東北大学教授 北條 英典

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

クリープフィード研削 (Creep Feed Grinding) とは、砥石半径切込量を大きく、逆に工作物速度を小さくして行う高能率研削加工の総称である。クリープフィード研削は通常研削と比較した場合、多くの特長を持っている。その中で最も大きな特長は、粗加工から仕上げ加工までを 1 パスで行うことが可能なことで、加工能率の飛躍的な向上が期待される。しかも加工可能な工作物としては、普通鋼材はもちろん、切削加工、塑性加工が不可能なセラミックス、超硬合金、耐熱合金などの難削材までも含まれる。その上、研削仕上面粗さが良好で、砥石損耗、形くずれも小さく、加工精度の点でも問題がない。このようにクリープフィード研削は、従来の研削方式とは異なる高能率研削法であることがわかる。しかし、クリープフィード研削にも問題点が存在し、この研削法を加工工程に適用する場合の障害となっている。その中で最も大きな問題点は、工作物の熱損傷である。

本論文では、この最大の問題である熱損傷を防止し、良好なクリープフィード研削ができるように、②研削熱の発生を押さえる、①発生した研削熱を奪うという二つの方向から検討を行った。まず最初に、第 2 章において、クリープフィード研削の研削特性を通常研削と比較しながら実験的、理論的に明らかにした。次に②の観点から、第 3 章において極軟砥石のクリープフィード研削への適用を試みた。一方、①の観点から、第 4 章においてクリープフィード研削における研削油剤の供給状態を調べ、通液セグメント砥石のクリープフィード研削への適用を試みた。さらに第 5 章にお

いては、研削油剤高圧供給装置と特殊ノズルを用いて目づまり防止と研削油剤の供給量の向上を試みた。第6章、第7章では、第4章で示したセグメント砥石の研削性能について検討した。さらに第8章では、セグメント砥石をセラミック材料のクリープフィード研削へ応用することを試みた。以上の結果、クリープフィード研削にはセグメント砥石の使用が非常に効果的であることを明らかにした。

第2章 砥石・工作物接触弧内における最大研削力と砥石損耗

本章ではクリープフィード研削の研削特性、特に砥石損耗とそれに直接関与する砥粒切れ刃に作用する最大切削力を、通常研削と比較することにより明らかにした。そのために普通硬度の砥石を用いて研削を行ったときの全研削抵抗、研削力パルスおよび砥石損耗（砥石半径減耗量、砥石エッジのだれ）を測定し、これらに及ぼす砥石半径切込量の影響を調べた。また統計的手法により砥粒切れ刃1個に作用する切削力を計算し、砥石半径切込量の影響を理論的に検討した。

これらの実験的、理論的検討の結果、全砥削抵抗は砥石半径切込量の増加とともに増大し、クリープフィード研削では通常研削の場合の約1.5倍となるが、砥粒切れ刃1個に作用する最大切削力 f_m はクリープフィード研削の方が小さく、通常研削の場合の約2/3であることが明らかになった。そのためクリープフィード研削では、通常研削に比べ砥石半径減耗量、砥石エッジのだれなどの砥石損耗が小さいことを見出した。しかし本実験のように普通硬度の砥石を用いた場合は、 f_m が小さいために砥粒切れ刃の自生作用が良好ではなく、目つぶれしやすいこともわかった。

第3章 極軟砥石によるクリープフィード研削

本章では第2章で問題となった砥石の目つぶれを防止するために、砥粒切れ刃の自生作用を促し、切れ味を持続させることを試みた。そのために、砥粒切れ刃に作用する切削力を大きくする、あるいは極軟砥石を使用するという二つの方法について検討を行った。まず目つぶれ型摩耗を定量的に調べるために、砥石作業面の砥粒密度 D_s を測定する方法を考案した。この方法を用いて、研削時間に伴う砥粒密度変化を測定し、研削条件（砥石結合度、砥石周速度、工作物速度）の影響について検討した。また同時に、全砥削抵抗、砥石半径減耗量に及ぼす研削条件の影響も調べ、砥粒密度変化との関連について考察した。

その結果、種々の結合度の砥石に対して砥石摩耗を最小にする研削条件が存在し、全研削抵抗の変化の形態も研削条件に大きく左右されることがわかった。砥石摩耗が最小で、累積加工量に伴う全研削抵抗の増加割合が小さい研削条件では、 D_s はわずかな減少傾向を示し、砥粒は適当に自生していることが明らかになった。このような条件でクリープフィード研削を行うための有効な指針として、次の2点があげられる。

- (1) 結合度の高い砥石の場合は工作物速度 v を大きくする。この場合、全研削抵抗が大きくなるため研削焼けなどの熱損傷に注意する。
- (2) 極軟砥石を使用する。この場合、砥石摩耗を最小にする研削条件の領域が狭いので、 v などの選定に十分注意する。

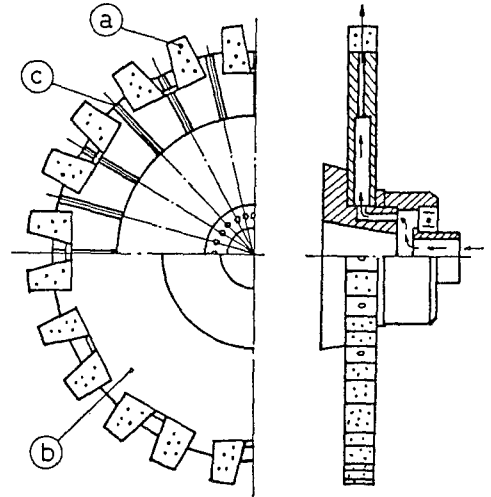
特に(2)の極軟砥石は、全砥削抵抗が小さく研削焼けが発生しにくいので、クリープフィード研削に有効であることが明らかになった。

第4章 砥石・工作物接触弧内における研削油剤の供給状態

本章では、クリープフィード研削時の砥石・工作物接触弧内への研削油剤供給量の向上を試みた。まず、工作物表面に存在する研削油剤の膜厚を測定する方法を開発した。この方法を用いて、クリープフィード研削を行ったときに砥石・工作物接触弧内に供給される研削油剤の膜厚を測定し、供給状態に及ぼす研削条件の影響を検討した。

その結果、砥石・工作物接触弧内の液膜厚さは、上向き研削、下向き研削いずれの場合も、研削油剤供給側で最も大きく、反対側の切削終了点付近で最も小さくなることがわかった。また接触弧内の液膜厚さは、工作物速度を変えてもほとんど変わらないが、砥石半径切込量を大きくすると減少することも明らかになった。

このようにクリープフィード研削では研削油剤の供給状態が悪い。そこで砥石研削点近傍への研削油剤供給の一改善策として図1に示すような通液セグメント砥石を試作し、その効果を調べた。その結果、通液セグメント砥石はクリープフィード研削の場合でも十分な研削油剤を供給でき、クリープフィード研削における研削油剤供給法として非常に有効であることがわかった。



- ① ; 砥石セグメント (24個)
- ② ; アルミニウム製ホルダ
- ③ ; 研削油剤噴射口
- ← ; 研削油剤の流れ

図1 通液セグメント砥石の構造

第5章 砥石目づまりに及ぼす研削条件の影響

本章では、砥石の研削性能を劣化させる要因の一つで、クリープフィード研削の場合に特に多くなる砥石目づまりについて検討した。砥石目づまりは全砥削抵抗、研削温度、砥石半径減耗量などの増加を引き起こし、第3、4章で示した熱損傷対策の効果を低減させる。そこで砥石目づまりを定量的に測定するとともに、目づまり除去対策についても検討した。

まず、砥石目づまりのインプロセス測定を行うために光学方式の砥石目づまりセンサを開発し、極軟砥石を用いてクリープフィード研削を行った場合の、砥石目づまりに及ぼす研削条件(砥石半径切込量、砥石結合度など)の影響を調べた。その結果、目づまり面積率は砥石半径切込量が大きいほど、砥石結合度が高いほど大きいことがわかった。

また目づまり除去対策の一つとして、研削油剤の高圧供給装置と特殊ノズルを考案し、これをクリープフィード研削に応用した。その結果、砥石目づまりが減少し、砥石半径減耗量の低下に効果

があることが明らかになった。

第6章 セグメント砥石の研削性能について

本章では、第3章で示した極軟砥石と第4章で示したセグメント砥石の二つの特長を生かす砥石として、極軟砥石を歯車状に配置したセグメント砥石を試作した。そして第5章で示した高圧供給装置と特殊ノズルを用いて研削油剤を供給してクリープフィード研削を行い、この砥石の研削性能について検討した。

まず、砥石セグメントに作用する研削力、全研削抵抗、研削温度および砥石摩耗を測定し、平形砥石と比較した。その結果、セグメント砥石は研削温度低下の点で優れている上、全研削抵抗も平形砥石の $2/3$ と小さく、良好な研削状態を持続させられることが明らかになった。またセグメント砥石は、全研削抵抗が小さいにもかかわらず、砥粒切れ刃に作用する切削力が平形砥石の約2倍であるため自生作用が良好で、目つぶれしにくいこともわかった。その上、研削比、仕上面粗さも平形砥石と比べて遜色がなく、クリープフィード研削に適した砥石であることを見出した。

第7章 セグメント砥石の研削性能に及ぼすランド数、ランド比の影響

本章では第6章に引き続き、セグメント砥石の研削性能、特にランド数、ランド比が研削性能に及ぼす影響について実験的、理論的に検討した。その結果、セグメント砥石のランド数、ランド比には、全研削抵抗が最小でしかも自生作用も良好となる最適数が存在することを見出した。そしてこれはボイドとランドの長さにより、あるいは同じランド上でもその前端部、後端部で砥粒切れ刃に作用する切削力の大きさが異なり、それに伴い砥粒切れ刃の摩耗形態も異なるためであることを明らかにした。さらに、砥粒切れ刃に作用する切削力およびその摩耗形態を理論計算によって予測し、与えられた研削条件に最適なランド数、ランド比を選定することが可能なることを示した。

第8章 Vidias 砥石によるセラミックス材料のクリープフィード研削

本章では、セグメント砥石をセラミックス材料のクリープフィード研削に応用した。まず、セラミックス材料のクリープフィード研削専用砥石、ビトリファイド・ダイヤモンド・セグメント砥石（Vitrified Diamond Segmental Wheel; Vidias 砥石）を試作開発し、この砥石の研削性能および研削機構について検討した。その結果、Vidias 砥石は、セラミックス材料（焼結アルミナ、ホットプレス窒化珪素）を高精度でクリープフィード研削でき、全研削抵抗は平形砥石の約 $2/5$ 、また研削比も平形砥石の約1.3~10倍になることが明らかになった。このようにVidias 砥石は、セラミックス材料を高精度でクリープフィード研削でき、セラミックス材料の高効率加工の分野に大きく貢献するものと思われる。

第9章 結 論

本章では、本研究によって得られた結果を総括して述べている。

審査結果の要旨

クリープフィード研削とは、砥石切込量を大きく、工作物速度を小さくして行う研削加工の総称である。このクリープフィード研削は、普通研削に比べ加工能率、加工精度がすぐれているが、作業条件によっては工作物が熱損傷を受けやすいという欠点をもっている。

本論文は、この工作物の熱損傷を防止し、良好なクリープフィード研削を行うためには、極軟砥石片を歯車状に配置したセグメント砥石（以後、極軟セグメント砥石と呼ぶ）の使用が非常に効果的であることを明らかにしたもので全編9章よりなる。

第1章は序論である。第2章では、クリープフィード研削の研削特性を普通研削と比較検討し、普通結合度の平形砥石を用いたクリープフィード研削の場合、砥石の目つぶれがおこりやすいことを示している。

第3章では、砥石の目つぶれを防止するため、結合度の非常に低い極軟平形砥石を使ってクリープフィード研削を行い良好な結果を得ている。

第4章では、砥石・工作物接触弧内への研削油剤の供給状態を定量的に調べ、セグメント砥石を用いると、クリープフィード研削の場合でも十分な研削油剤の供給が行われることを明らかにしている。これは有用な知見である。

第5章では、クリープフィード研削の場合におこりやすい砥石目づまりについて定量的な検討を行い、極軟平形砥石と研削油剤高圧供給装置を併用すると、砥石目づまり防止に非常に効果的であることを示している。

第6章では、極軟セグメント砥石の研削性能を極軟平形砥石と比較検討し、前者の方がクリープフィード研削により適した砥石であることを見出している。

第7章では、極軟セグメント砥石のランド数、ランド比がクリープフィード研削特性に及ぼす影響を調べ、ランド数、ランド比に最適値が存在することを明らかにしている。

第8章では、セラミックス材料のクリープフィード研削用として、ビトリファイドボンドのダイヤモンドセグメント砥石を開発し、この砥石によりセラミックス材料の高精度、高能率加工が可能であることを示している。これは重要な成果である。

第9章は結論である。

以上要するに本論文は、クリープフィード研削について理論的、実験的な考察を行い、極軟セグメント砥石を用いると良好なクリープフィード研削を行うことができることを明らかにしたもので、精密工学および精密工業に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。