

|             |  |
|-------------|--|
| 氏 名         | た 田 まき じゅん いち  |
| 授 与 学 位     | 工 学 博 士  |
| 学位授与年月日     | 昭和 62 年 12 月 9 日   |
| 学位授与の根拠法規   | 学位規則第 5 条第 2 項   |
| 最 終 学 歴     | 昭和 48 年 3 月<br>山形大学大学院工学研究科精密工学専攻<br>修士課程修了                  |
| 学 位 論 文 題 目 | 砥石表面トポグラフィの測定に関する研究  |
| 論 文 審 査 委 員 | 東北大学教授 松井 正己    東北大学教授 渡邊 眞<br>東北大学教授 永井 伸樹    東北大学助教授 庄司 克雄 |

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

研削加工法は「多数の切れ刃による高速度微小切り込み切削」を特徴とする精密加工法であり，その適用範囲は金属材料からセラミックスに至るまで幅広く，今後ともその発展が期待される加工法である。その工具としての研削砥石の特徴は「切れ刃が鉋物のへき開面で構成されておりその形状，配列状態が不規則である」という点であり，研削機構を正しく理解するためには砥石作業面性状をトポグラフィ（地形図）として三次元的に捕らえることが必要となる。砥石表面トポグラフィは研削性能を直接的に決定する工具の特性値であり目直しあるいは形直し作業によって容易に調整できるパラメータであるがその定量的制御が困難なことが研削加工上の重要な問題となっている。

本論文は，研削加工において砥石表面トポグラフィの果たす役割を総合的に明らかにすることを目的として行なわれたもので，その内容は次の 4 項目から成っている。

1. 各種トポグラフィ測定法についてトポグラフィ特性値と測定条件の関係，その特長および測定精度を明らかにする（第 2 章，第 3 章，第 4 章）。
2. 金属の研削に一般に用いられているアルミナ系砥石について各種目直し条件が砥石表面トポグラフィに及ぼす影響を明らかにする（第 5 章）。
3. 研削仕上面の幾何学的性質について研削条件，砥石表面トポグラフィ特性値との関係を明らかにする（第 6 章）。

4. セラミックスの研削に多用されているダイヤモンドのトポグラフィについてその特徴を明らかにする（第7章）。

## 第2章 間接法による砥石表面トポグラフィの測定

砥石表面トポグラフィの間接的測定法は砥石作業面と試験片を特殊条件下で干渉させその出力を解析することによってトポグラフィ特性値を推定する方法であり、この測定法は砥粒切れ刃の試験片に対する切削の関わり方を表わす「有効切れ刃」という概念によって「粗さ有効切れ刃測定法」「基準断面有効切れ刃測定法」「全体有効切れ刃測定法」の3種類に分類することができる。

粗さ有効切れ刃測定法は試験片に残る砥粒切れ刃の切削痕からトポグラフィ特性値を推定する方法であり、クラスタ法、引っかき転写法等がそれに該当する。

クラスタ法は砥石小片を回転円盤に取り付け微小工作物速度で研削する方法であり、試験片に残る砥粒切れ刃切削痕の深さ方向位置が砥石内の砥粒切れ刃深さ方向位置と一致する点が特徴である。引っかき転写法は回転しないように固定した砥石に試験片を押し付けて引っかく方法であり、クラスタ法と同様砥粒切れ刃相互の干渉が少ないという点が特徴である。これらの測定法について出力としての粗さ有効切れ刃密度と砥石内の砥粒切れ刃密度、測定条件との関係式を理論的に導くことができた。砥粒切れ刃の分布状態はこれらの関係式を用いることにより推定することができる。

基準断面有効切れ刃測定法は試験片内に設定した任意断面を切削する砥粒切れ刃の個数を測定する方法であり、砥粒切れ刃の切削によって発生する熱パルスを捕捉する熱電対法がこれに該当する。また、全体有効切れ刃測定法は試験片の切削に関与するすべての砥粒切れ刃の個数を測定する方法であり、砥粒切れ刃の切削力パルスを圧電動力計で捕捉するレーザーブレード法がこれに該当する。これらの測定法について捕捉される砥粒切れ刃数と研削条件、トポグラフィ特性値の関係式を理論的に求めその実験的検証を行なった。また、同時研削砥粒切れ刃数を1以下に抑え測定される熱パルス、切削力パルスの時間的重複を避けるための条件について理論的に検討した。

## 第3章 間接的測定法における弾塑性的挙動の影響

間接的測定法は砥粒切れ刃の転定作用を利用する方法であるから、幾何学的条件によって決定される砥粒切れ刃の運動軌跡が試験片に正しく転写されることが必要であり、この転写能力がトポグラフィ測定精度に影響を及ぼすことになる。本章では砥粒切れ刃と工作物の接触領域に発生する弾塑性的挙動がこのトポグラフィ測定精度に及ぼす影響をシミュレーションにより検討している。砥粒切れ刃・工作物間の接触領域における弾性的挙動には砥粒切れ刃支持部の弾性変位、砥粒切れ刃先端部の弾性変形、切削痕の弾性回復現象の3種類が存在し、塑性的挙動としては切削痕側面部への工作物盛り上がり現象が存在する。

さて、弾性的挙動による砥粒切れ刃位置の変動量は砥粒切込深さの数分の1というオーダーであるからシミュレーションを精度良く行なう必要がある。そこで工作物仕上面プロファイルを山頂、谷底点で構成される直線群として順次記憶する手法を新しく開発した。この手法によればシミュレーション精度を計算機で扱える有効数字の精度まで向上させることができる。

シミュレーションの結果、転写能力という観点から間接測定法の測定精度を評価した場合、基準断面有効切れ刃測定法（熱電対法）の測定精度が一番悪く、クラスタ法などの粗さ有効切れ刃測定法は他の方法に比べて優れていることが明らかとなった。

## 第4章 直接法による砥石表面トポグラフィの測定

直接法は間接法のような転写作用を用いずにトポグラフィに関する情報を砥石作業面から直接的に求める方法であり、その代表的なものとして触針法がある。触針法は砥石作業面の1直線上を走査する直線走査方式と直線走査を一定間隔で複数回繰り返す平面走査方式の2種類に分類できる。

直線走査方式について捕捉砥粒切れ刃密度に及ぼす触針形状の影響を検討した結果以下の点が明らかになった。1)円錐形触針を使用した場合、捕捉される砥粒切れ刃の分布状態は砥石内の砥粒切れ刃分布と一致せず、また砥粒切れ刃形状によっても変化する。2)ナイフエッジ形触針を使用した場合、捕捉砥粒切れ刃密度はナイフエッジ幅によって大きく変化するが触針幅が適正であれば砥石内の砥粒切れ刃密度とだいたい一致する。

平面走査方式によるトポグラフィの測定は測定に適した装置が開発されていないためほとんど行なわれていないのが現状である。そこで触針方式による三次元形状測定器を試作し等高線図から得られる情報を検討した。その結果、金属の研削に用いられる一般砥石の砥粒切れ刃形状は円錐形モデルで近似できることを確認できた。

## 第5章 砥石表面トポグラフィに及ぼす目直し条件の影響

研削砥石の目直し方法はその砥石に対する運動形態によってトラバース方式とプランジ方式に分類できる。トラバース方式はドレッサを砥石軸方向に移動させるもので、プランジ方式はドレッサを砥石半径方向に移動させるものである。

トラバース方式の目直しを行なう場合、その砥石表面トポグラフィに及ぼす効果には「ドレッサ形状の砥石作業面に対する転写効果」と「鋭利な砥粒切れ刃の生成効果」の二つが存在する。各種ダイヤモンドドレッサについてこの点を検討した結果、インプリドレッサなど形状転写性に優れたドレッサは鋭利な砥粒切れ刃を生成させる能力の点では劣ることがわかった。

プランジ方式の目直し方法として代表的なものでありながらその機構がほとんど解明されていないものにクラッシングがある。クラッシングは回転する鋼製のロールを一定速度で砥石に押し込む方法であり、砥石の回転はロールとの摩擦力によって与えられる。

このクラッシングについて目直し効果および形直し効果を検討した結果、目直し効果については砥石表面トポグラフィが砥石1回転あたりのロール押込量によって調整できること、形直し効果については砥石およびロールの回転数を一定値に固定する強制クラッシング方式をとることによりクラッシング時および研削時の砥石形状精度を改善できることが明らかとなった。

## 第6章 研削仕上面諸性質と砥石表面トポグラフィの関係

研削仕上面の幾何学的諸性質は加工製品の品質を決定する重要なパラメータであり、その砥石表

面トポグラフィ，研削条件との関係を理解しておくことは品質管理の面で重要な作業である。本章で解析対象に取り上げたパラメータは研削方向に直交する断面の仕上面プロフィールに関するもので，山頂高さおよび谷底高さの分布，山頂間および山頂・谷底間の間隔（全ピッチ，半ピッチ），粗さ曲線の中心線に平行な直線により切断されるプロフィールの長さおよびその回数である。これら諸性質の解析結果は実測値と理論値を比較することによってその有効性を検討した。

また，研削仕上面プロフィールのパワースペクトルから諸性質を評価する場合についてプロフィール離散化の際のサンプリング条件の及ぼす影響を明らかにした。

## 第7章 メタルボンドダイヤモンド砥石の表面トポグラフィ

ダイヤモンド砥石はセラミックス等の硬脆材料の研削工具として賞用されているにもかかわらずそのトポグラフィは未解明である。そこでメタルボンドダイヤモンド砥石について平面走査方式の触針法によりトポグラフィを測定した結果，以下に示す特徴を明らかにすることができた。1)砥粒切れ刃密度は砥石最外周面で最大値をとり砥石深さの増加とともに減少するような分布状態を示す。2)砥粒切れ刃形状は先端平坦部長さが砥石深さの増加にともない減少していくような截頭円錐形モデルで近似できる。3)砥粒突出量はドレッサ進行方向の影響を強く受ける。

## 第8章 結 論

本章は本研究で得られた成果の総括およびその工学的意義について述べている。

## 審 査 結 果 の 要 旨

研削加工機構を正しく理解するためには、工具である研削砥石の作業面性状をトポグラフィ（地形図）として三次元的に考察することが必要である。本論文は各種砥石表面トポグラフィ測定法について、トポグラフィ特性値、すなわち砥粒切れ刃の分布、密度、形状と測定砥粒切れ刃数の関係を理論的、実験的に解明したもので全編8章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、砥石表面トポグラフィの間接測定法、すなわち砥石作業面と試験片を特殊条件下で干渉させそのときの出力を解析する方法として、クラスタ法、引っかき転写法、熱電対法、レーザーブレード法をとりあげ、これらの測定法について、トポグラフィ特性値と測定砥粒切れ刃数の関係を統計的手法により理論的に求め更に実験的検証を行っている。

第3章では、砥粒切れ刃・工作物間の接触領域における弾性的挙動および塑性的挙動が、間接測定法の測定精度に悪い影響を与えることをシミュレーションにより明らかにしている。

第4章では、砥石表面トポグラフィの直接測定法として触針法をとりあげ、このときのトポグラフィ特性値と測定砥粒切れ刃数の関係を理論的、実験的に考察している。第2章、第4章で得られた結果は、測定砥粒切れ刃数からトポグラフィ特性値を推定できることを示したもので非常に有用な知見である。

第5章では、各種ダイヤモンド工具およびクラッシュロールによる普通砥石の目直し効果を、その砥石のトポグラフィ特性値で評価できることを示している。

第6章では、研削仕上面粗さ曲線の幾何学的諸性質、すなわち平均粗さ、山頂高さ、谷底高さ、山頂間ピッチなどは、使用砥石のトポグラフィ特性値を求めることにより推定できることを明らかにしている。

第7章では、メタルボンド・ダイヤモンド砥石のトポグラフィ特性値が、平面走査方式の触針法、すなわち円錐状触針を砥石作業面で二次元的に走査する方法で精度よく測定できることを示している。これは実用上有用な結果である。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、各種砥石表面トポグラフィ測定法について考察し、測定砥粒切れ刃数から、研削加工機構の解明に必要なトポグラフィ特性値が推定できることを明らかにしたもので、精密工学ならびに精密工業の発展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。