

氏 名	さくら い とし あき 櫻 井 俊 明
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 53 年 3 月 24 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	金属板材のせん断加工特性向上に必要な加工条件ならびに加工速度の特性に及ぼす影響に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 竹山 寿夫
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 竹山 寿夫 東北大学教授 戸部 俊美 東北大学教授 樋川 武男 東北大学教授 松井 正己

論 文 内 容 要 旨

緒 言

現在、板金部品、電気部品およびプレス用ブランクの製造などに多量に利用されている金属材料の穴あけ打抜きおよびせん断を総称してせん断加工と呼んでいる。せん断加工は塑性加工法の一つであり、きりくずを出さずに分離、分断するので切削加工と区別される。

従来のせん断加工に関する研究は Swift, 福井, 前田らによって行われた。彼らはポンチ刃とダイス刃の間隙(クリアランス)に注目し、クリアランスがせん断加工特性に及ぼす影響を調べた。また、せん断の際、加工製品にはだれ、かえりおよび破断面が形成されるので、これらを少なくしようとする研究報告がこれまで数多くある。この中で近藤は対向ダイス法という精密せん断加工法を開発し、せん断面の多い加工製品を得た。しかしながら、せん断変形機構がまだ明確にされないためだれおよびかえりを完全に消滅でき、100%せん断面をもつ加工製品は得られな

かった。

一方、最近、加工行程および加工時間の能率化をめざした高速せん断加工の研究がさかんである。Johnson, Davies, 斎藤らによって、高速せん断加工の特徴が報告された。この特徴は準静的せん断加工に比べてだれが減少し、破面が良好となる点にある。

そこで、本研究では従来行なわれてきたクリアランスがせん断加工特性に及ぼす影響についての結果を再確認し、だれおよびかえりの発生機構を微視的観点から明確にし、加工速度がせん断加工特性に及ぼす影響を調べ、だれおよびかえりのないせん断加工法の開発を主たる目的とする。

使用した実験装置は(i)複刃型せん断工具(準静的用, 高速用), (ii)丸刃型せん断工具, (iii)高速ハンマーおよび(iv)低温冷却槽である。

使用した材料は板材で工業用部品等によく用いられるものの中から(i)A1板(板厚0.8, 1.0, 1.2, 2.5, 5.0, 10.0 mm), (ii)銅板, 黄銅板(板厚0.5, 1.0, 2.5 mm), (iii)軟鋼板(板厚1.0, 4.3 mm), (iv)珪素鋼板(板厚4.3 mm), (v)パーマロイ(板厚0.05, 0.1, 2.5 mm)である。

第1章 せん断加工に関する基礎的研究

一般に、塑性加工において、(i)材料の機械的性質、(ii)材料の幾何学的形状、(iii)工具の幾何学的形状、(iv)被加工材料に与える拘束条件、(v)潤滑状態、(vi)加工速度、(vii)加工温度によって被加工材料の変形挙動が支配される。従来のせん断加工の研究は上述の項目について各々の研究者により報告されてきた。しかし、大部分の報告は巨視的観点から上述の項目がせん断加工特性に及ぼす影響について調べたものであり、これらの結晶粒等の微細組織の関係について述べたものは少ない。

本章では上述の7項目の中から、(i)、(ii)、(iii)、(iv)および(v)の5項目を選び、これらがせん断加工特性に及ぼす影響についてA1板(板厚1.0 mm)、軟鋼板(SPC材, 板厚1.0 mm)を実験材料とし、複刃型工具で実験を実施した。

この結果、微細組織から従来の研究結果を確認できた。すなわち、理想的せん断加工製品を得るためにはせん断時に発生するクラックの伝播を抑制することが必要である。さらに、クリアランス、板押え等がこのクラック発生、伝播の抑制に重要な役割をしている。

第2章 慣用せん断加工と精密せん断加工

クリアランス、板押え等が材料のせん断加工特性に及ぼす影響が大きいので、クリアランスをパラメータに選び、種々板材についてせん断加工を実施した。

一方、被加工材料に圧縮応力を加え、クラックの発生、伝播を抑制するための突記付板押え板を試作し、せん断加工を実施した。ここで前者を慣用せん断加工、後者を精密せん断加工という。

この結果、次のことが結論できた。(i)慣用せん断加工において、各種板材のせん断加工特性は

クリアランスに依存、(ii)精密せん断加工において、Al、黄銅、Cu、パーマロイのせん断加工特性は良好であるが、軟鋼、珪素鋼のせん断加工特性は不良である。(iii)せん断加工においてだれおよびかえりは不可避である。

第3章 せん断加工におけるせん断機構

第1章および第2章で明らかにされたように、せん断加工において必ずだれおよびかえりが形成される。

本章ではだれおよびかえりの形成を調べることを目的とする。実験方法は途中打抜き試験 (partial shearing test) で(i)格子ひずみ法、(ii)腐食法の2方法の併用である。

図3.1にポンチ行程とだれ高さの関係を示す。Al、軟鋼板のだれはポンチ行程が20%まで急激に形成され、60%でだれのはば80~90%が形成される。

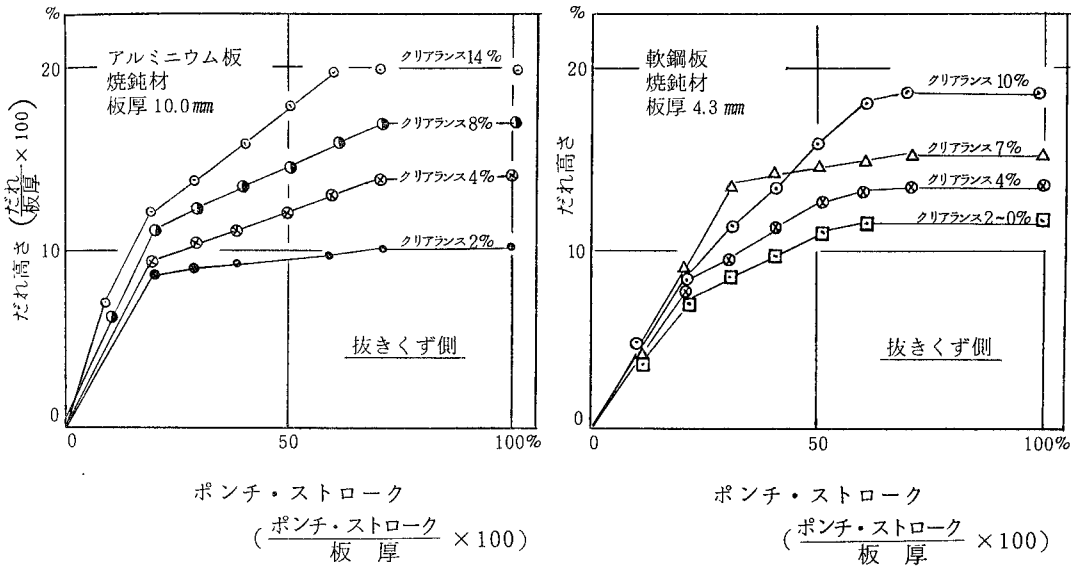


図3.1 だれの形成過程

一方、かえりは初期クラックが工具刃先よりわずか側面上部から発生するため、試料の一部として残存する。クリアランスを小さくするとこの初期クラックは工具刃先により近いところで発生するためかえりは小さくなる。この傾向はAl、軟鋼材とも類似している。

しかしながら、クラックの伝播に関してAl、軟鋼板では異なる。Alの場合には、初期クラックが発生するとこの初期クラックが相手工具へ向って進行するが、軟鋼の場合には、初期クラックの他に材料内部にも微細クラックが発生し、これらが連結する。

この結果、Al、軟鋼のだれおよびかえりの形成過程を詳細に議論できた。

第4章 高速せん断および低温せん断加工

加工速度および温度がせん断加工特性に及ぼす影響について調べた。加工速度は 1.6×10^{-5} , 6.2, 7.5, 9.2 m/sec 加工速度は 15, -25, -50, -100°C である。

この結果、Alのせん断加工特性は加工速度および加工温度の影響を受けないが、軟鋼のそれはこれらの影響を顕著に受け、高速・室温と低速・低温において類似の傾向があった。

第5章 組合せ・せん断加工

(だれおよびかえりなしせん断加工法)

せん断加工を精密加工法として使用する精密せん断加工法の研究が国内外を問わず行われてきた。上下打抜き法、対向ダイス法等はせん断製品を理想の幾何学形状に加工するために考案された精密せん断加工法の一つである。これらの加工法でせん断を実施すれば、以前の慣用せん断に比べて、寸法精度は改善される。しかしながら、だれやかえりを完全に消滅できたという報告はまだない。

本章において、第3章でだれおよびかえりの形成過程を調べた際、だれは変形の初期段階で60%以上形成されること、かえりは工具刃先近傍で形成されることがわかったので、まず、だれ形成を抑制するため試片に切り欠きを入れ、さらにかえり形成を抑制するた切り欠き底形状を工夫した。

この結果、だれおよびかえりの発生を抑制し、理想的な幾何学形状をもつ加工製品を得ることができた。この加工法を組合せ・せん断加工法と呼ぶ。

第6章 せん断加工特性向上に必要な潤滑条件および工具表面性状

工具と素材の初期表面性状、潤滑剤の粘度に注目し、これらがせん断加工特性に及ぼす影響を調べた。とくに、(i)潤滑剤使用の場合と無潤滑の場合において、打抜き枚数と工具表面性状の変化を金属顕微鏡およびあらさ試験機で調べた。(ii)せん断加工特性に及ぼす工具表面性状(仕上げ面あらさ $Ra = 0.12 \mu$, 0.35μ)と粘度(40, 80, 130, 300, 500 cSt/20°C)の関係を調べた。(iii)工具の表面性状とくに工具の仕上げ方向とせん断加工特性を調べた。

この結果、次のことを明らかにできた。(i)無潤滑の場合には工具表面に構成刃面が形成され、この構成刃面がせん断製品切断面を不良なものとする。(ii)潤滑剤使用の場合には 10^3 程度の打抜き回数でも構成刃面は形成されない。(iii)せん断加工特性を良好にする適正な粘度をもつ潤滑剤がある。(iv)工具の仕上げ方向にはせん断加工特性(とくにせん断面)を良好にする仕上げ方向がある。この理由は、研削面が多重刃となってバニシ効果を助長したためであると考えられる。

第7章 結 論

金属板材のせん断加工特性向上に必要な加工条件および加工速度の特性に及ぼす影響を明らかにできた。とくに、これまでにせん断加工においてだれおよびかえりは不可避であったが、せん断変形機構を微視的観点から詳細に調べた結果、クラックの発生、伝播を抑制した組合せせん断加工を開発するに至り、だれおよびかえりのない理想的幾何学形状をもつせん断製品を得ることができた。

終りに本研究を行うにあたり、終始適切な御助言により御指導賜わった竹山寿夫教授に心から感謝の意を表します。

審査結果の要旨

剪断変形を主体とした加工は従来よく用いられ研究も多いが、近年精密な成形が要求されこの方面の研究が発展しつつある。著者は精密な剪断加工特にだれ・かえり・破断面を生じない加工を目的として加工に伴う基本的現象を解明し、良好な製品を得る加工法を得た。本論文はその成果をまとめたもので、序章および6章より成る。

序章では従来の研究と本研究の概略を述べ実験の方法と精度について精細な説明を行っている。

第1章は主として現行の加工法の再検討である。板厚が1mmのAl板、軟鋼板の圧延材、焼鈍材を用いて複刃型工具により加工を行い、圧延方向の影響、潤滑剤の効果、粒子径と加工後の粗さ、クリアランスと剪断領域高さ・だれ・かえりとの関係、板押え・側圧の効果等を解明した。そしてクリアランスが小さい程剪断領域高さ、圧延材のだれ高さ・かえりが小さくなることを明らかにしている。

第2章では、種々の厚さをもつAl、軟鋼、珪素鋼、銅、黄銅の板について複刃型・丸刃型の工具を用い、従来の剪断加工と精密剪断加工の一つである突起付板押え使用の加工について、クリアランスを変えて実験を行い破断面・剪断面等について後者の優越性を認めた上でなおだれの形成は避けられないことを述べている。

第3章は途中打抜き法による剪断機構の解明である。Al板の断面に描いた1mm間隔の格子の変形、それ以外の材料では試片の断面を腐蝕することにより、加工の各段階での変形と繊維流れを観察しAl板ではき裂の発生・進行・破断にいたる経過、軟鋼板におけるき裂の進行の特徴を解明しき裂の開始点がかえりの形成を支配するとの結論を得た。これは重要な成果である。

第4章ではAlおよび軟鋼の板について速度および-100℃までの低温度の加工に対する影響を研究している。Al板（焼鈍、圧延材）と軟鋼板（圧延材）では大きい加工速度でだれが減少し切断面が平面に近付くこと、またAl板は加工温度の影響を受けないのに反し、軟鋼板はその影響を受け易く、低温になるに従いだれ高さ、だれ幅が著しく減少するとの結果を得た。

第5章では、以上の結果従来の剪断加工ではだれ・かえりはその剪断機構上不可避との結論に到達したので、ダイス側に切欠きをもつ板の剪断加工を実施し2～4%のクリアランスでだれ・かえりのない全域剪断面の製品が得られることを示し、その加工条件を各材料について与えた。

第6章では潤滑剤の粘度と繰返し使用後の工具面の状況、剪断面の性状を観察し工具研削方向に対する改良を述べ実証している。

最後は総括である。

これを要するに本研究は最良の製品形状と全断面を剪断面とする製品を得るため、精密剪断加工を含めた従来の研究を再検討し新たな事実を示すと共に、独自の実験法により新しい知見を加え所期の目的を実現する加工法を得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。