

ステンレス鋼のドリル加工

青山英樹*・菊地千之**

Drilling of Stainless Steel

Hideki AOYAMA and Kazuyuki KIKUCHI

要 旨

難削材といわれるオーステナイト系ステンレス鋼のドリル加工に関して、スラスト、トルク、切削温度の観点から、送り速度、切削速度、ねじれ角、先端角の影響について検討した。

Abstract

This paper reports the effects of feed rate, cutting speed, helix angle and point angle from the viewpoint of thrust, torque or cutting temperature about drilling of stainless steel (SUS304) which is hard to cut.

1. 緒 言

ステンレス鋼は各種機械から家庭の中まで、いたるところで広く利用されている。しかしステンレス鋼の持つ性質から、ドリル加工においては難削材といわれている。ステンレス鋼はその組織上マルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系に分類されるが、特に難削材といわれているのはオーステナイト系ステンレス鋼である。

ステンレス鋼が難削材といわれる理由は⁽¹⁾、

- ・加工硬化が大きい（特にオーステナイト系）
- ・熱伝導率が低いため刃先に熱が蓄積する
- ・線膨張率が大きいため切くずが連続してドリルにからみつく
- ・切くずの一部が切刃に溶着しやすい

などである。

本研究は送り速度、切削速度、先端角、ねじれ角をそれぞれ変化させ、スラスト、トルク、切削温度および加工硬化性の面からオーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 の被削性の検討を行なうものである。

2. 実 験 方 法

2-1 ドリル動力計の製作

スラスト 500 kg, トルク 400 kg-cm を最大として動力計を設計した。したがって直径 15 mm のドリルまで使用可能である。製作した動力計の概略図を図 1 に示す。また、写真 1 に外観を示す。ひずみゲージによりスラストとトルクを検出しているが、スラストベアリングとボールベアリングを用いているため、それらの力が互いに干渉しない点が本動力計の特徴である。

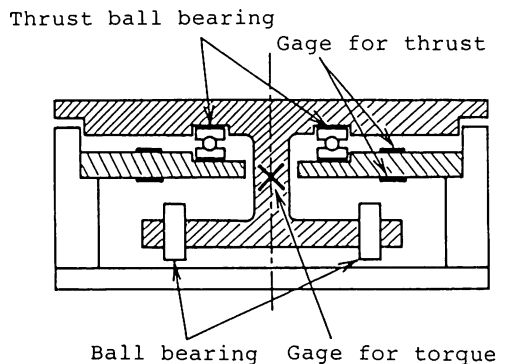


Fig. 1 Geometry of dynamometer

* 助手 機械工学科

** 教授 室蘭工業大学 産業機械工学科

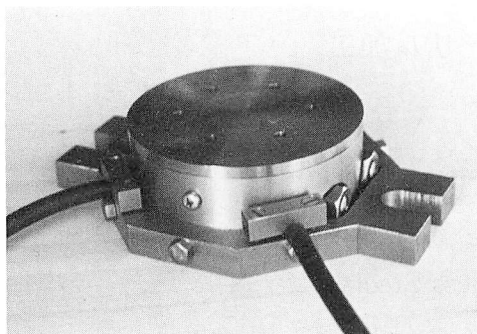


写真 1

2-2 切削温度の測定法

切削温度の測定はドリル-被削材熱電対法を用いる。この測定法は切刃の平均温度が測定される。切削が開始されると絶縁された被削材とドリルが一对の熱電対となり、切刃の温度に応じた起電力がドリル-被削材間に生じる。ドリル自身は回転しているのでスリップリングを介して起電力を検出する。

2-3 実験方法および実験条件

図2に実験の概略図を示す。工作機械はドリルからスリップリングへ導線で結びやすいフライス盤を使用した。フライス盤テーブル上に動力計を固定し、被削材は絶縁してバイスにより固定する。スラスト、トルク、切削温度はペンレコーダにより記録する。

被削材はオーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 である。厚さ 15 mm の試験片を完全に貫通するまで切削を行なった。本報におけるデータはすべて貫通前の安定した切削状態における値である。

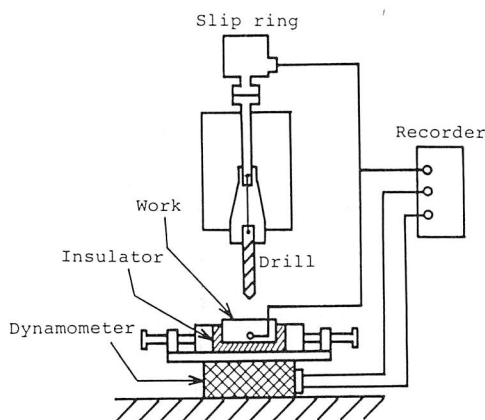


Fig. 2 Schematic diagram of the apparatus

使用したドリルはストレートツイストドリルであり、直径 10 mm、材質 SKH 9 である。ドリルのねじれ角 (HA; Helix Angle) を 22° , 32° , 40° の 3 種、先端角 (PA; Point Angle) を 100° , 118° , 136° の 3 種にそれぞれ設定した。ステンレス鋼の穴あけ加工はスラストが大きくなるため通常のチゼルエッジでは切削が困難である。したがってステンレス鋼加工に有利なクロスシンニングを施しチゼルエッジ長さを 0.3 mm と短くした。

切削条件は、送り速度を 0.10, 0.15, 0.20 mm/rev の 3 種、回転数を 240, 325, 440 r. p. m. の 3 種とした。

切削はすべて湿式切削とし、切削油剤は水溶性切削油剤を用い、流量は約 1 l/min とした。

ドリル (SKH 9) - 被削材 (SUS 304) 熱電対の校正曲線を図 3 に示す。この図は溶融半田の中にドリルと被削材を入れ、温度と起電力の関係から得られたものである。

加工硬化の影響を調べるため、微小硬度計により穴あけ後の被削材の硬さを測定した。

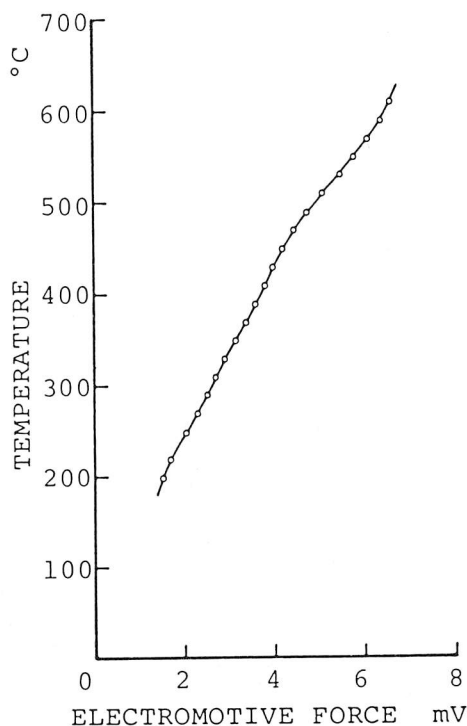


Fig. 3 Calibration curve for Tool (SKH9) - Work (SUS304) Thermocouple

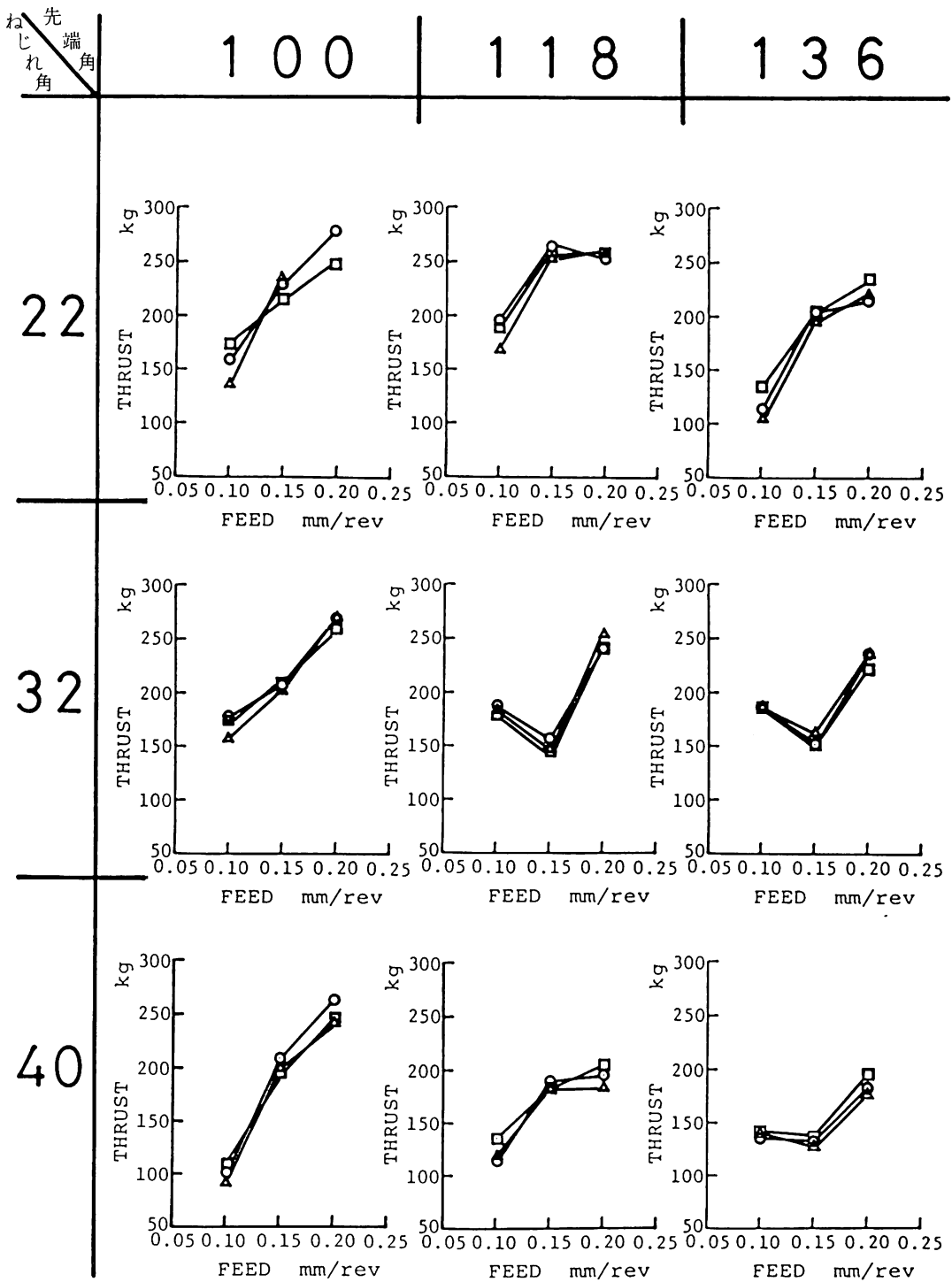


Fig. 4 Relationship between thrust and feed

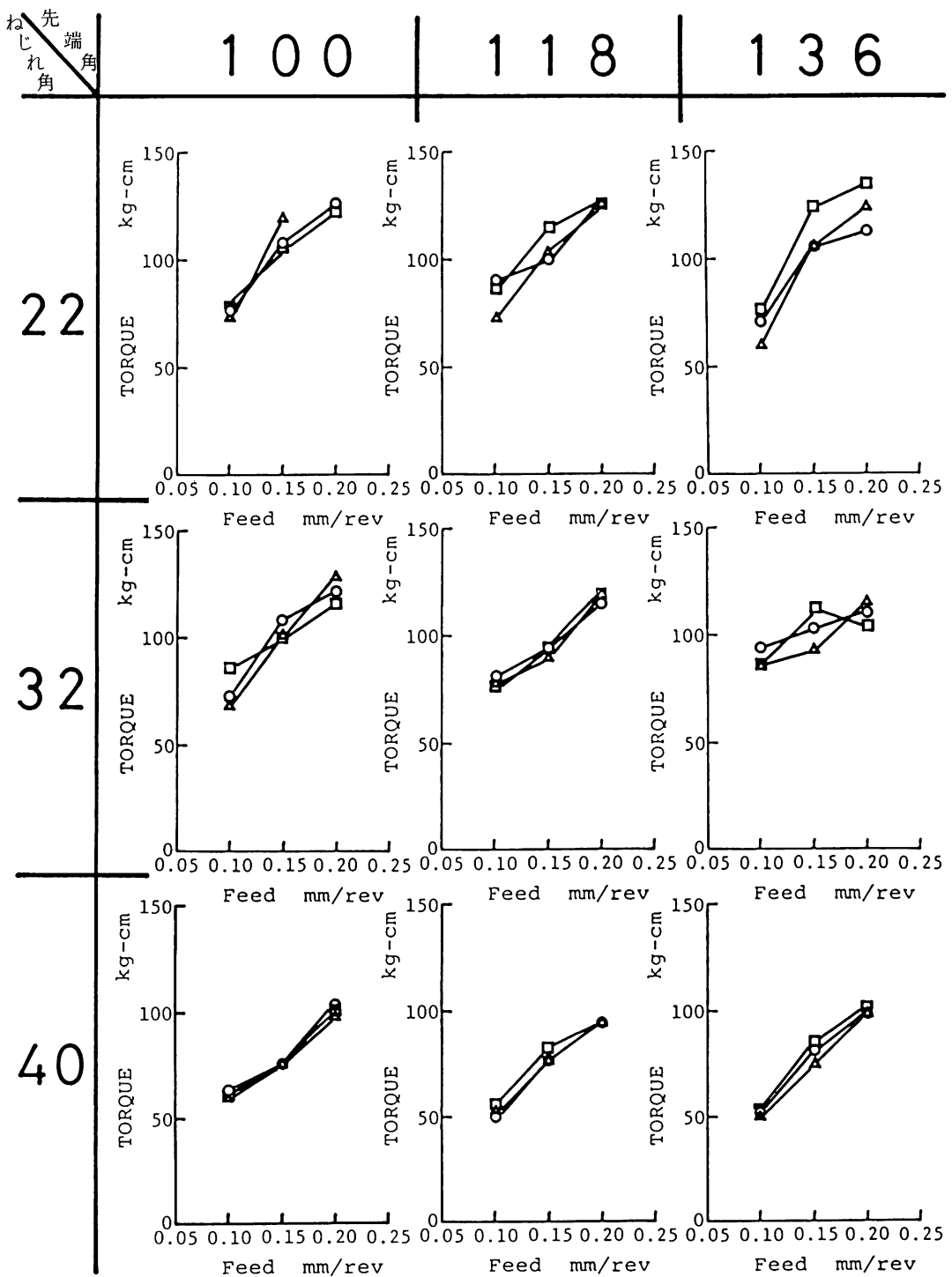


Fig. 5 Relationship between torque and feed

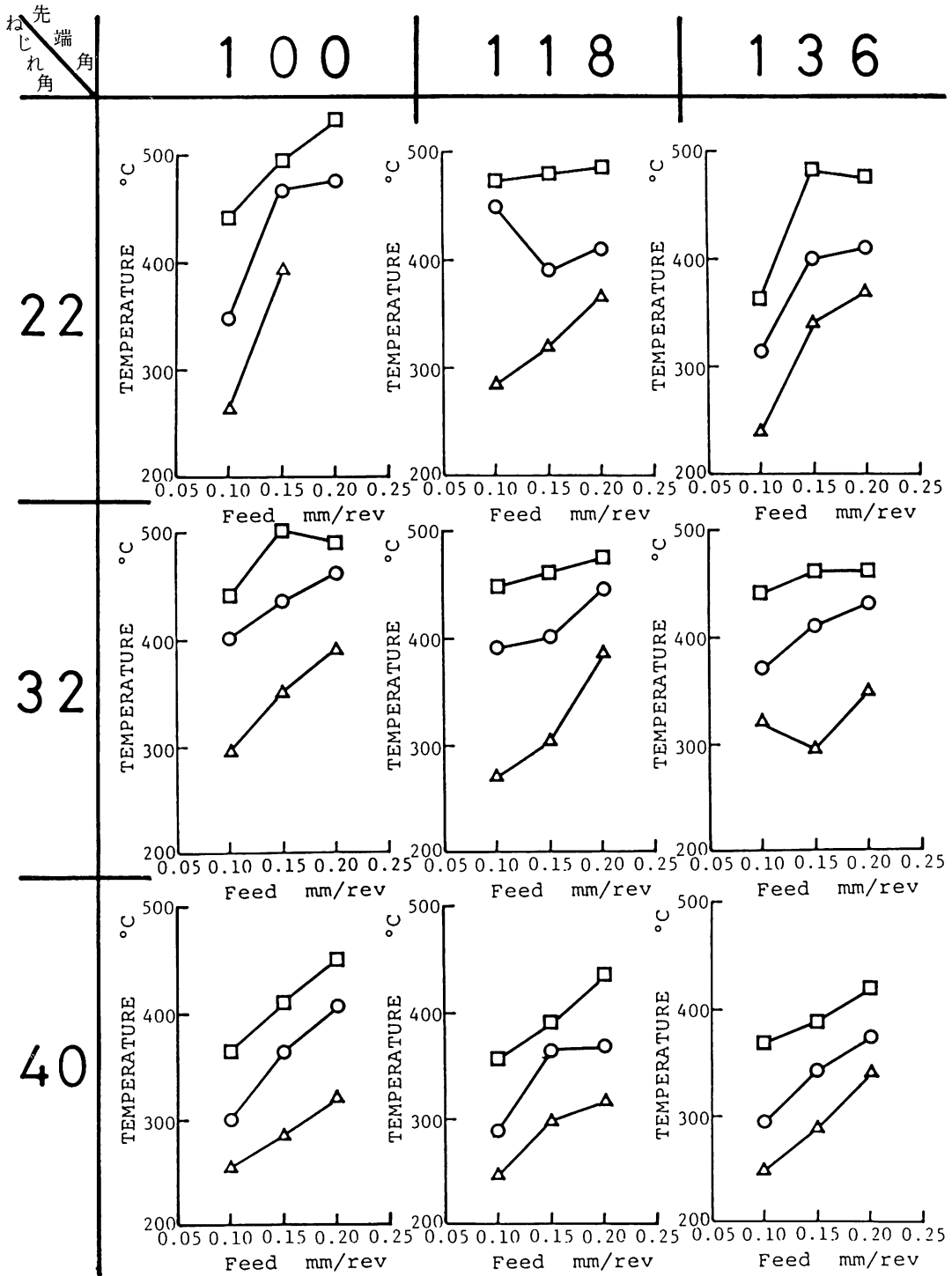


Fig. 6 Relationship between temperature and feed

3. 実験結果および考察

図4にスラストと送りの関係を、図5にトルクと送りの関係を、図6に切削温度と送りの関係を示す。それぞれ先端角 (100° , 118° , 136°) とねじれ角 (22° , 32° , 40°) を区別して示しており、図中の口印は回転数 440 r.p.m., $\circ$ 印は 325 r.p.m., $\triangle$ 印は 240 r.p.m. を表わす。

図4～6からも読み取ることができるが、スラスト、トルク、切削温度に対する切削速度 (回転数) の影響を図7に、ねじれ角の影響を図8に、先端角の影響を図9に示す。図中、Nは回転数、fは送り速度、HAはねじれ角、PAは先端角を表わしている。

3-1 送り速度の影響

(1) スラストに対して

図4より全体的には送りの増加とともにスラストも大きくなる。しかし、 $PA=118^\circ$ で $HA=32^\circ$, $PA=136^\circ$ で $HA=32^\circ$, $PA=136^\circ$ で $HA=40^\circ$ の場合は送りが 0.15 mm/rev においてスラストが減少している。つまり、ステンレス鋼は加工硬化が大きいいため送りが小さすぎると加工硬化した硬い層を切削するためにスラストが大きくなり、また送りが大きすぎると加工硬化層の影響は少なくなるが結果的に深く切削することになりスラストが大きくなる。したがってスラストが最小になる適当な送り速度が存在する。

(2) トルク・切削温度に対して

図5より送りの増加とともにトルクも大きくなる。図6より送りの増加とともに切削温度も上昇する。どちらに対しても送り速度の影響は強く表われている。

3-2 切削速度 (回転数) の影響

図7よりスラストとトルクは切削速度の変化に対して影響が少なくほとんど変わっていない。切削温度は切削速度の影響が強く、切削速度の増加とともに大きく上昇している。このことは図4, 5において $\square$, $\circ$, $\triangle$ 印がほとんど同じところに表われ、図6では大きく間隔が開いていることから読み取ることができる。

3-3 ねじれ角の影響

図8, 図4～6より、ねじれ角が大きくなるとスラスト、トルクは小さくなり、切削温度は低くなる。ドリルのねじれ角はそれ自体すくい角と考

$$f=0.15, HA=32, PA=118$$

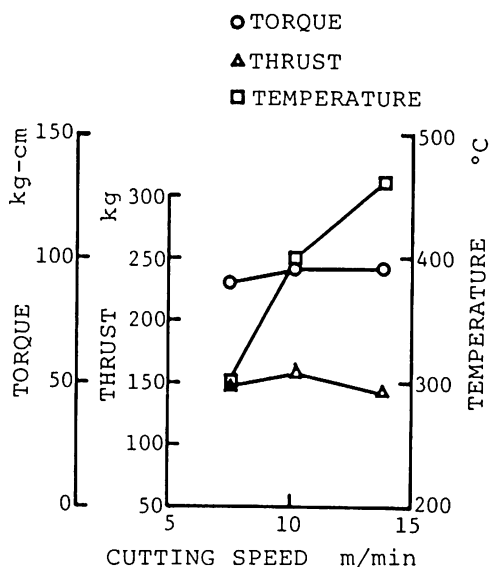


Fig. 7 The effect of the variation in cutting speed

$$N=325, f=0.15, PA=118$$

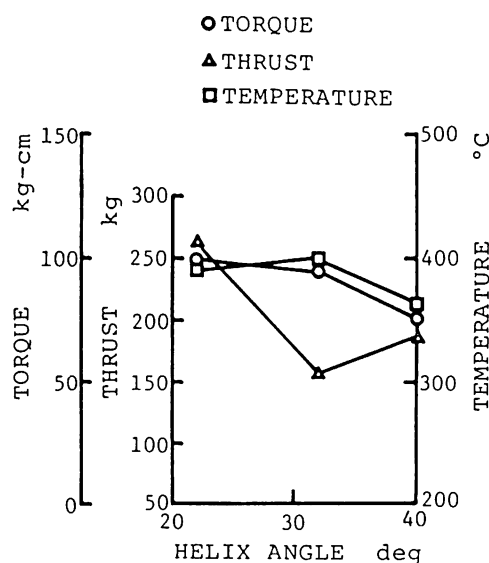


Fig. 8 The effect of the variation in helix angle

えられる⁽²⁾。したがって、ねじれ角が大きいほど切削状態は良く、スラスト、トルクが小さくなり、切削温度が低くなる。しかし、ねじれ角を大きくしすぎると刃先が弱くなり切くずも排出しにくく

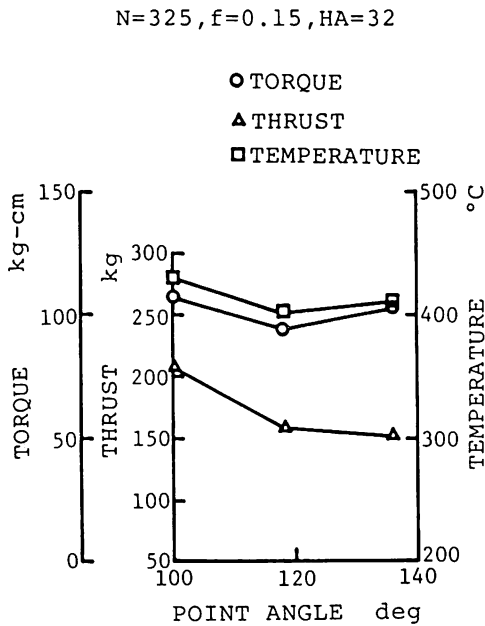


Fig. 9 The effect of the variation in point angle

なる⁽³⁾。

また、図8においてスラストが $HA=32^\circ$ にて小さく表われているが、これは図4でみられるように送り速度が0.15 mm/revで小さく表われていることによるものである。

3-4 先端角の影響

図9より先端角が 100° においてスラスト、トルク、切削温度とも大きな値を示している。先端角が変わることにより変化する要素はいくつかあるが、切削状態に一番大きく影響を及ぼすと考えられる要素は切刃長さである。先端角が小さくなることにより切刃が長くなり、ステンレス鋼のように加工硬化の大きい材料に対しては不利な条件となる。

3-5 加工硬化について

図10に切削面(加工面)からの距離とビッカース硬さの関係を示す。切削条件により多少差が見られるが、図10に表われているように加工硬化は切削面より0.4 mm程度にまで及んでいる。また、母材硬さが $H_v=150$ に対して切削面では $H_v=300$ にまで達している。このことより送り速度が小さすぎると不利な切削条件となることが説明される。

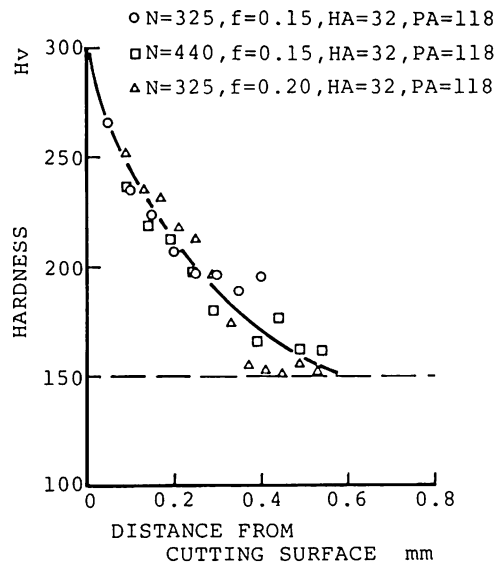


Fig. 10A figure showing the distribution of hardness

4. 結 言

以上をまとめると

- ①送り速度の増加とともにスラスト、トルクは大きくなり切削温度は上昇する。その影響は大きい。スラストは条件によっては送り速度0.10 mm/revよりも0.15 mm/revのほうが小さくなる場合がある。
- ②切削速度(回転数)はスラスト、トルクへの影響は少ないが、切削温度には大きく影響し、切削速度の増加とともに切削温度も上昇する。
- ③ねじれ角は大きいほうが切削状態は良く、スラスト、トルクは小さく、切削温度は低い。しかし、ねじれ角が大きくなると切刃強度、切くず排出の点で不利になる。
- ④先端角は大きいほうがスラスト、トルクは小さく、切削温度は低い、 $120^\circ \sim 140^\circ$ では大きな差はみられない。

スラスト、トルクは工具強度や工具摩耗の観点から小さいほうが望ましい。また切削温度は工具摩耗速度に直接に結びつく重要な要因であるのでできるだけ低いほうが良い。しかし加工能率のことも考慮して加工条件は決められる。オーステナイト系ステンレス鋼(SUS 304)のドリル($\phi 10$

mm) 加工条件を次に示す。

送り速度=0.15 mm/rev

切削速度=10 m/min 前後

ねじれ角=32°~40°

先端角=118°~136°

参考文献

- (1) 脇平, 勝田; 被削材からみた穴加工, 機械技術, 30-8, 11
- (2)(3) 佐久間敬三; 穴加工と穴加工用工具の設計, 大河出版 (昭40)。

(昭和59年11月30日受理)