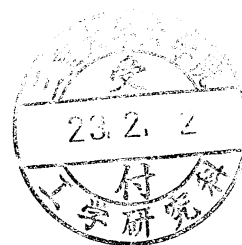


修士論文

傾斜切削機構を取り入れた外周旋削時におけるバリ発生抑制

指導教員 牧 清二郎 教授

平成 22 年度



三重大学大学院工学研究科

博士前期課程機械工学専攻

大屋 真浩

目次

第1章	緒論	01
第2章	傾斜切削加工理論	03
2.1	傾斜切削機構	03
2.2	幾何学的表面粗さについて	06
2.3	バリ形成の幾何学的解析	10
第3章	実切削を行った際の加工品質	16
3.1	実験方法	16
3.1.1	実験条件	16
3.1.2	実験装置	19
3.1.3	切削工具	22
3.2	結果及び考察	23
3.2.1	加工面観察	23
3.2.2	送り量による表面粗さへの影響	36
3.2.3	バリ測定	42
第4章	実切削を行った際の工具への影響	48
4.1	工具摩耗観察	48
4.1.1	実験条件	48
4.1.2	測定装置	49
4.1.3	切削工具	50
4.2	結果及び考察	51
第5章	結論	56
参考文献		
謝辞		

第1章 緒論

現在、地球環境の保護がさまざまな分野で叫ばれている。切削加工においても、環境負荷の低減に取り組むことが重要な課題となっており、エミッションフリーで地球環境と調和する切削加工技術を確立することは、新しい技術革新の必須条件である。

切削加工における環境負荷の低減に際し、改善すべき点として切削油剤の低減や切削工具の再利用などが考えられる。

従来、切削加工における切削油剤は工具摩耗を抑制することにより工具寿命を延ばすことや加工精度の向上、加工系の振動を抑制するための潤滑剤などの目的のために使用されてきた。しかし、その中には焼却処理時に環境汚染物質であるダイオキシンが発生する可能性のある塩素系極圧添加剤も使用されてきた¹⁾。現在、切削油剤は濃度・性状を厳しく管理し、腐敗しにくい切削油剤を使用することによってロングライフ化が図られ、使用量の削減が促進されている。しかし、一部はコストをかけて廃棄処理されている。この切削油剤問題に対する解決策として、切削油剤を使用しない完全ドライ切削などが考えられる。

しかし、切削油剤を用いずに切削を行うと切削抵抗が大きくなるなど切削性に問題が生じる。特に加工対象として多く用いられる材料の中で、通常の鋼と比較して加工硬化性や伸びが大きく、熱伝導性が小さい、更に工具への溶着や圧着が発生しやすいという特徴を持つステンレス鋼や、その他の難削材と呼ばれる材料においてもその問題は大きいと考えられる。

切削性の改善法として工具のすくい角を正方向に大きく設定することが有効であると考えられるが、刃先のくさび角が小さくなるために刃先部の剛性が低下してしまう。剛性を保持するために刃先部にランド処理を施す²⁾などが考えられるが、刃先部に精密な加工を施すのは非常に困難であると考えられる。

そこで、一般的に広く用いられ基礎的である外周旋削加工に傾斜切削機構を導入することで工具の剛性を保ったまま、実質的なすくい角である有効すくい角を正方向に大きくする^{3,4)}ことを試みた。

しかし、従来の傾斜切削機構の理論では旋盤による外周旋削加工における被削材の直径や加工時の工具の送り量が考慮されていない。また、通常切削で生じる切屑に比べ、傾斜切削機構を用い加工を行った際に生じる切屑は非常に薄く帯状になるという現象についても原因が明らかなものにされていない。

また、切削工具においても多くの未使用部を残し破棄されており、環境負荷の低減を考える際に無視できないものの一つと言える。そこで、現在は使用された工具の再利用が行われている。しかし、この再利用に関しても多大なコストがかかるため工具の再生率は約50%と完全な対策とは言いきれない。

以上のことから本研究では、この工具の未使用部となる直線エッジ部に着目し、この部分を用いた新たな切削法の提案を行う。しかし、通常の切削法と異なり工具の直線部を用いることから工具と被削材の接触長さの増大が考えられる。そのため、これまでの通常切削以上に切削油剤による恩恵が重要となると考えられ、切削油剤の低減を考えた際に切削性において懸念される。そこで、旋盤による外周旋削加工に傾斜切削機構を導入し、有効すくい角を大きくすることで切削性の向上を試みた。本研究における切削法の切削性能を加工面の観察及び表面粗さを測定することで検証した。さらに、切屑が薄くなるという観点から切り込み量が小さくなっていると考え、旋削加工を行った際に被削材端部に発生するバリの抑制を試みた。また、本研究における旋削法を用いた際の工具への影響を検証するために、工具摩耗の観察を行った。

第2章 傾斜切削加工理論

2.1 傾斜切削機構

実際の切削加工のほとんどが三次元切削であり，純粋な二次元切削(厳密な平面塑性流れ)の行われる例は皆無に等しい．しかし，三次元切削加工は，被削材の変形が三次元的な相互作用によって生じた歪みの問題となっているため，降伏条件や塑性流動則は二次元切削とはかなり異なるものとなる．よって，厳密な解析を目指すと，工具形状や切削条件により切削機構が極めて複雑なものとなるため解析も非常に困難になる．

そこで，現在行われている三次元切削の理論的解析の多くは，二次元切削の理論を応用しており，それらの切削過程がさまざまな二次元切削機構の組み合わせと考える解析を行っているのがほとんどである．

本研究においても二次元切削における理論を用い，三次元切削である傾斜切削について実験及び考察を行った．

図 2.1 (a), (b)に刃先が被削材に直交した状態における切削と，傾斜角がついた状態における切削を模式的に示す．図 2.1(a)に示した切刃が直交した二次元的な切削に対し，図 2.1(b)に示した切刃に傾斜角をつけた三次元的な切削形式を本研究では傾斜切削機構と呼称する．また，図中に示す角度 i を切刃傾斜角(Inclination angle)とする．

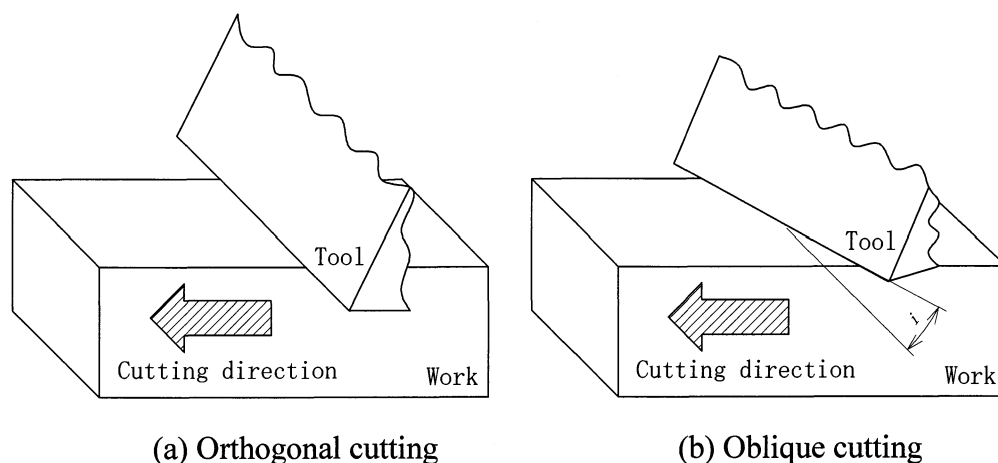


Fig. 2.1 Schematic illustration of orthogonal cutting and oblique cutting

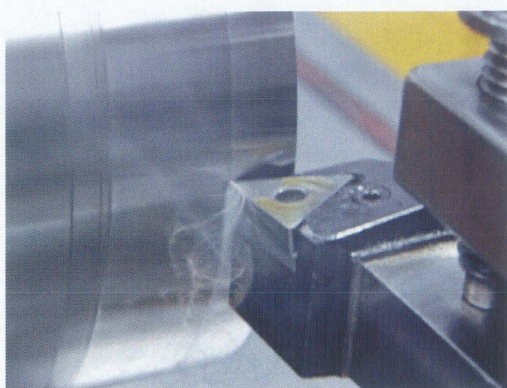
通常切削と傾斜切削の違いを明瞭にするために、図 2.2 (a), (b)に通常の旋削法と本研究における旋削法を用い実際に加工を行っている様子を示す。

図 2.2 (a)では、三角形スローアウェイチップの頂点の部分を使って切削している様子がわかる。これが三角形チップによる通常の外周旋削加工である。これに対し図 2.2 (b)では、三角形スローアウェイチップの頂点ではなく、辺の部分を使って切削している様子がわかる。これが傾斜切削機構を取り入れた本研究における切削法である。

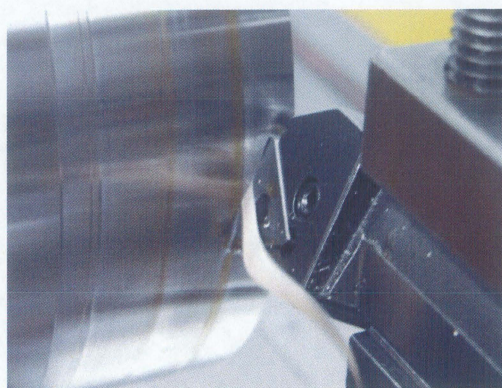
また、本研究における旋削法では、図 2.2 (b)に見られるような帯状の切屑が生成される。これは図 2.3 に示すように本研究における旋削法では通常の旋削法に比べ、横切れ刃角が非常に大きくなるためであると考えられる。ここで、送り量を f 、切屑厚さを t 、横切れ刃角を α とすると、図 2.3 から通常旋削時と本研究における旋削法を用いた際の切屑厚さはそれぞれ式(2.1)、式(2.2)で表される。式(2.1)、式(2.2)より本研究における旋削法を用いると切屑厚さが小さくなることがわかる⁵⁾。また横切れ刃角が大きいことから、薄いだけでなく幅の大きい切屑が発生すると言える。さらに、横切れ刃角が非常に大きいことから加工時の実質的な送り量が小さくなるため通常旋削では不可能と考えられる高送りにも対応できると考えられる⁶⁾。これも通常切削では見られない傾斜切削の大きな特徴である。

$$t_N = f \quad (2.1)$$

$$t_O = f \cos \alpha \quad (2.2)$$

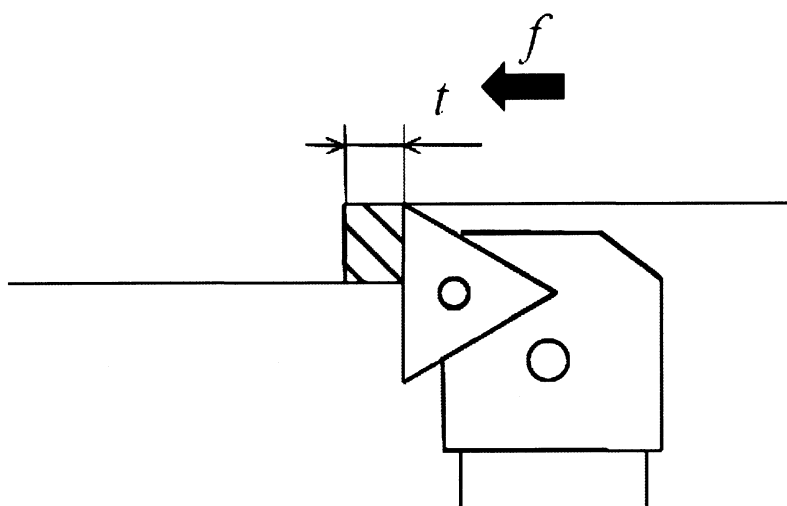


(a) Normal cutting

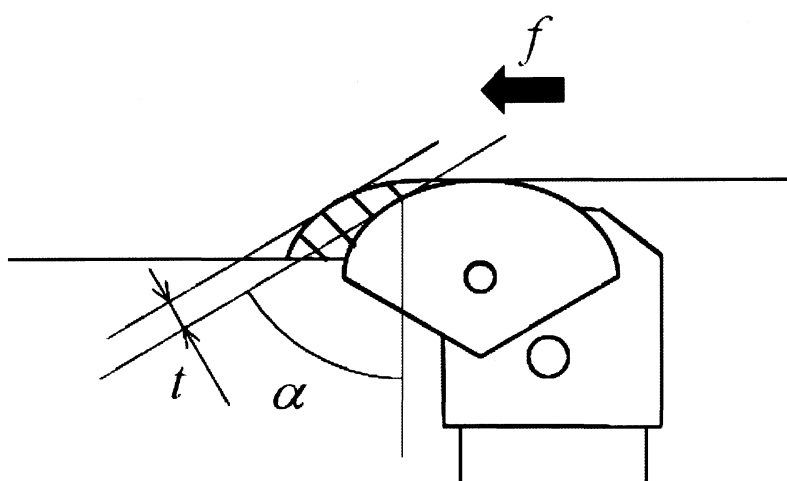


(b) Oblique cutting

Fig. 2.2 Pictures of normal cutting and oblique cutting



(a) Normal cutting



(b) Oblique cutting

Fig. 2.3 Pictures of normal cutting and oblique cutting

2.2 幾何学的表面粗さについて

図 2.4 に傾斜切削時における幾何学的モデルを示す。

図 2.4(a)中の D は被削材直径, d は切り込み, 同図(b)中の L は三角スローアウェイバイトと被削材との接触長さ, i は切刃傾斜角である。切刃稜エッジには微視的に丸みがあるのだが, 今回の解析では鋭いエッジ線で無限大の長さがあるものとしている。

工具の切刃稜がそのまま被削材に転写される理想状態を仮定すると, 図 2.4(b)より, 切刃ライン中心から点 B までの距離を l , 点 A を含む平面 M から点 B を含む平面 N までの距離を x_l とすると (ただし l, x_l は変数),

$$x_l = \overline{AC} = \overline{AB} \cos i \quad (2.3)$$

$$l^2 = \frac{x_l^2}{\cos^2 i} \quad (2.4)$$

となる。また,

$$\overline{BC} = \overline{AB} \sin i \quad (2.5)$$

$$= l \sin i \quad (2.6)$$

となる。図 2.4(c)より $\triangle O'BC$ と式(2.4)から,

$$\overline{O'B}^2 = \left(\frac{D}{2} - d \right)^2 + \overline{BC}^2 \quad (2.7)$$

$$= \left(\frac{D}{2} - d \right)^2 + l^2 \sin^2 i \quad (2.8)$$

となる。よって, 点 B における位置でのカーブの切込量 y_l は,

$$y_l = \frac{D}{2} - \overline{O'B} \quad (2.9)$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ D - \sqrt{(D-2d)^2 + 4l^2 \sin^2 i} \right\} \quad (2.10)$$

となる。式(2.4)を式(2.10)に代入して整理すると,

$$y_l = \frac{1}{2} \left\{ D - \sqrt{(D-2d)^2 + 4x_l^2 \tan^2 i} \right\} \quad (2.11)$$

が得られる。式(2.11)の $x_l = x$, $y_l = y$ と置き換えると,

$$y = \frac{1}{2} \left\{ D - \sqrt{(D-2d)^2 + 4x^2 \tan^2 i} \right\} \quad (2.12)$$

が得られる。式(2.12)は、図 2.4(d)の①に示すような切削の際にできるカッターマークを方程式化したものである。式(2.12)から x 方向に送り量 f 送った場合の切込量は、

$$y = \frac{1}{2} \left\{ D - \sqrt{(D-2d)^2 + 4(x-f)^2 \tan^2 i} \right\} \quad (2.13)$$

となり、それを図 2.4(d)の②に示す。送り量 f 送ったことにより、式(2.12)と式(2.13)に交点 P ができる。この交点の座標を求めると、

$$x = \frac{f}{2} \quad (2.14)$$

$$y = \frac{1}{2} \left\{ D - \sqrt{(D-2d)^2 + f^2 \tan^2 i} \right\} \quad (2.15)$$

が得られる。ゆえに、交点 $P(P_1, P_2) = \left(\frac{f}{2}, \frac{1}{2} \left\{ D - \sqrt{(D-2d)^2 + f^2 \tan^2 i} \right\} \right)$ となる。

よって、幾何学的表面粗さ R_z は、図 2.4(d)より、

$$R_z = d - P_2 \quad (2.16)$$

$$= -\frac{1}{2} \left\{ D - 2d - \sqrt{(D-2d)^2 + f^2 \tan^2 i} \right\} \quad (2.17)$$

となる。また、式(2.17)を近似することにより、式(2.16)を得る。

$$R_z = -\frac{f^2 \tan^2 i}{4(D-2d)} \quad (2.18)$$

なお、通常切削時の幾何学的表面粗さ R_z は、

$$R_z = \frac{f^2}{8r_n} \times 1000 \quad (2.19)$$

で求められる。ただし、 f は送り量、 r_n はチップノーズ半径である。

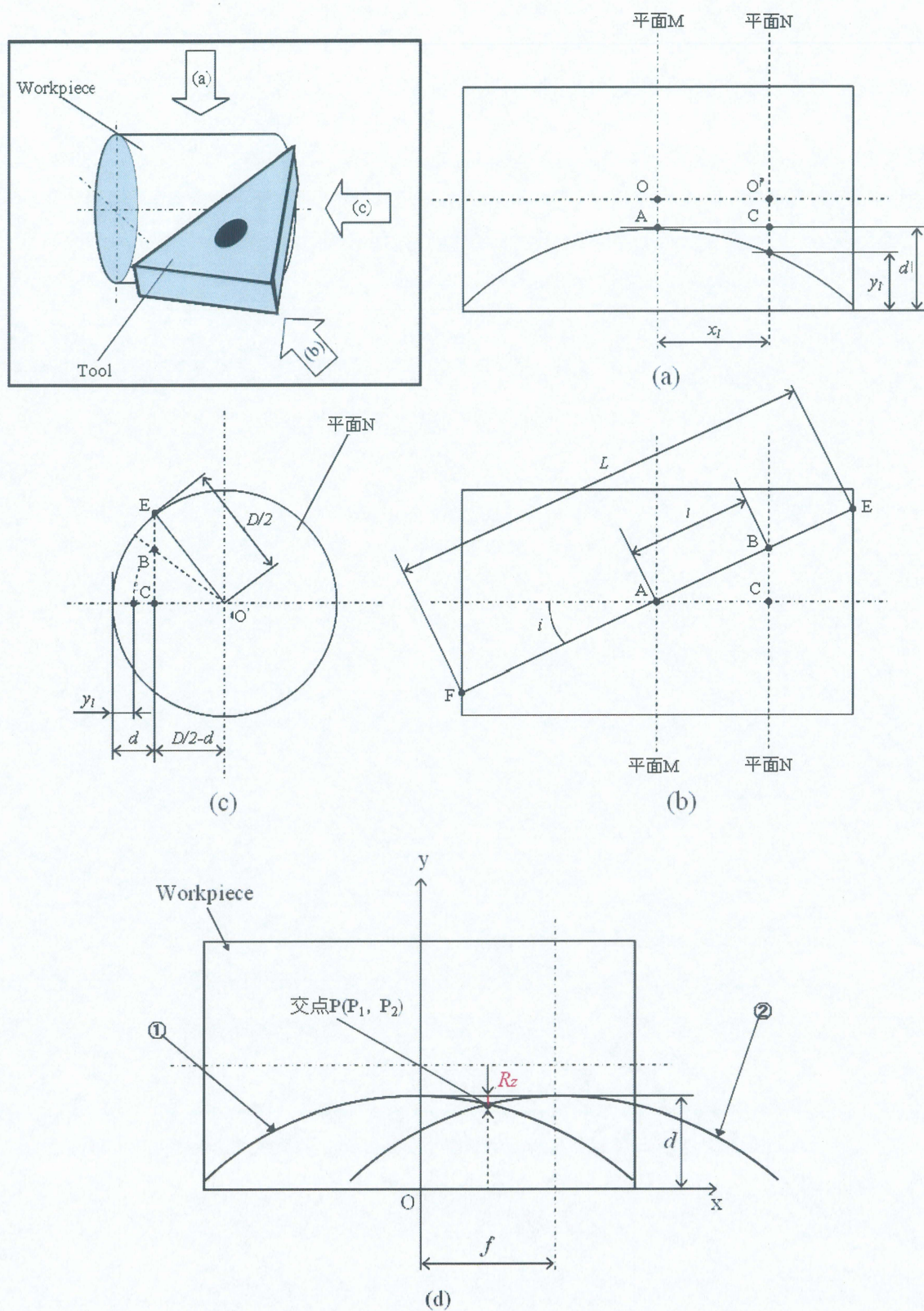


Fig. 2.4 Geometrical model of oblique cutting

式(2.18), 式(2.19)より, 被削材直径 D を 150mm, 切込量 d を 0.15mm, 傾斜角 i を 25° と 65° , チップノーズ半径 r_n を 0.8mm とし, 送り量 f を 0mm/rev. から 0.50mm/rev. に変化させたときのそれぞれの幾何学的表面粗さ R_z の変化の様子を図 2.5 に示す. 図 2.5 をみると, 通常の旋削法に比べ本研究における旋削法を用い加工を行った際の理論表面粗さは非常に小さくなっていることがわかる. また, 本研究における旋削法の中でも傾斜角 $i=25^\circ$ と $i=65^\circ$ を比較すると, 傾斜角 $i=25^\circ$ において理論表面粗さは非常に小さくなっており, 送り量 0.50mm/rev. においても理論表面粗さ R_z は約 $0.10\ \mu\text{m}$ と非常に小さくすることができることがわかった. 以上のことから本研究における旋削法を用い, 更に工具の傾斜角を小さくすることにより表面粗さを小さくすることが可能であると考えられる.

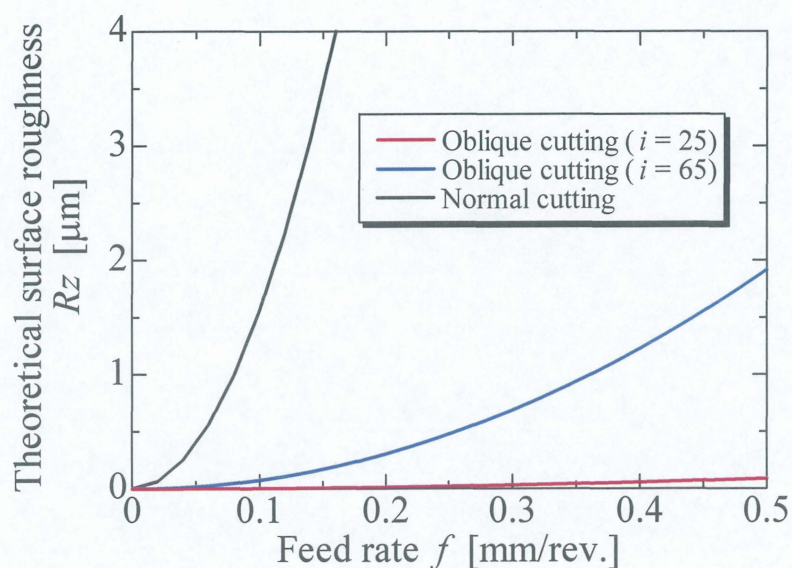


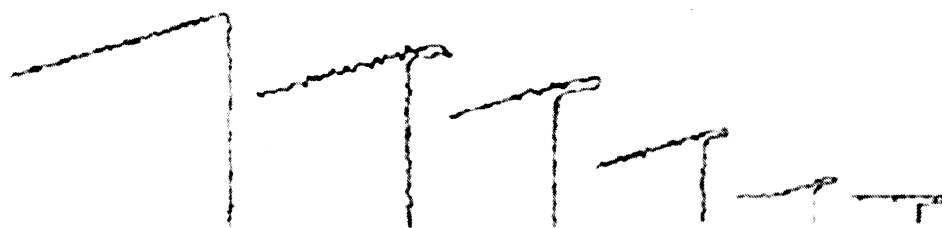
Fig. 2.5 Theoretical surface roughness

2.3 バリ形成の幾何学的解析

加工中のバリの形成に際し、バリの形状に起因しているものの 1 つとして工具のリード角が挙げられる。図 2.6(a)-(c)にリード角の違いによるバリ形成のプロセスを示す。バリ形成のプロセスとして以下の 3 つが挙げられる⁷⁾。図 2.6(a)に示したようにリード角が非常に小さい場合、図に示したように形成されるバリは非常に小さいものとなる。これは、加工が進み工具が送られる際に、以前の加工により形成されたバリを除去するため、バリの成長が起きない。これにより加工後に形成されるバリが非常に小さくなると考えられる。ただし、この場合リード角以外にも以前のバリを除去するためにある程度の送り量が必要となる。次に一般的な旋削加工を行う際のリード角の場合のプロセスを図 2.7(b)に示す。この場合、加工が進むにつれ被削材端部でまだ加工されていない部分が塑性変形を起こしている様子がうかがえる。そして加工が進み工具が被削材から離れたときに被削材端部で迫り出した部分がバリとなっている事がわかる。このことから形成されるバリの大きさに切り込み量が大きく関連している事がわかる。最後に、図 2.6(c)にリード角を非常に大きく取った場合を示す。この場合、バリ形成の経過が前述のものと類似しているが、加工が終了した際に形成されたバリに大きな違いが見られる。これは、リード角が非常に大きい事により、バリとして形成された部分が大きくなりすぎ、加工終了時の被削材端部における変形に耐えきれず破断したためこのような形状になると考えられる。またこの現象が起きた場合、エッジ欠損などが起きる可能性も考えられる。

次にバリ形成のプロセスの中でも最も一般的と考えられる場合のメカニズムについて図 2.7(a)-(c)に示す。図 2.7(a)においてバリ形成の開始の様子が示されている⁸⁾⁹⁾。加工中に被削材から切屑が発生する際、点 A から点 C に向けせん断加工される方向に亀裂が生じる。また、同時にまだ加工の行われていない面 CE が見られる。次に図 2.7(b)をみると、面 AB を基準として加工が進むにつれ加工されていない面 CE が被削材端部を超えて変形していくことがわかる。最終的に図 2.7(c)に示すように、加工されず変形を起こした部分が被削材端部にバリとして残る事が分かる。

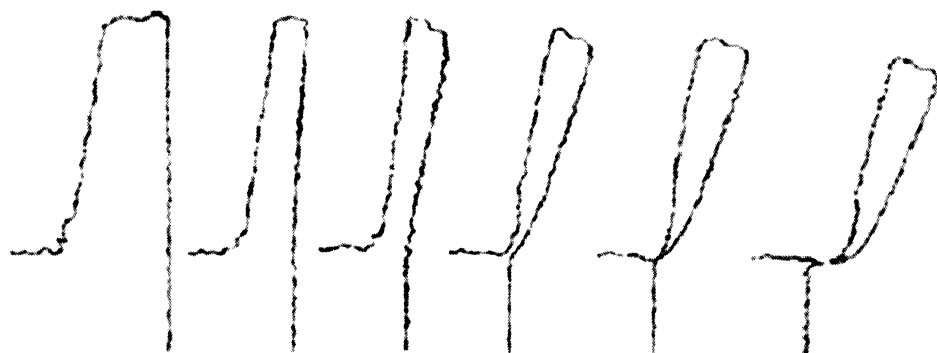
以上のことから、バリが形成される要因としてせん断変形が大きく関与していると言える。このことから、せん断応力の低減がバリ抑制につながると考えられる。



(a) Stages of burr formation for lead angle $\phi = 16^\circ$

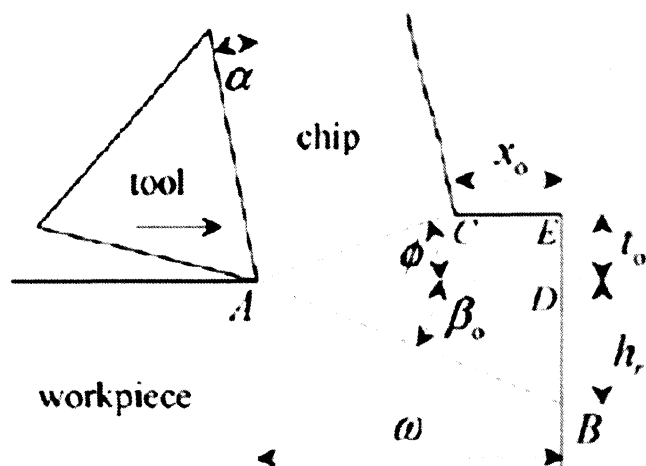


(b) Stages of burr formation for lead angle $\phi = 66^\circ$

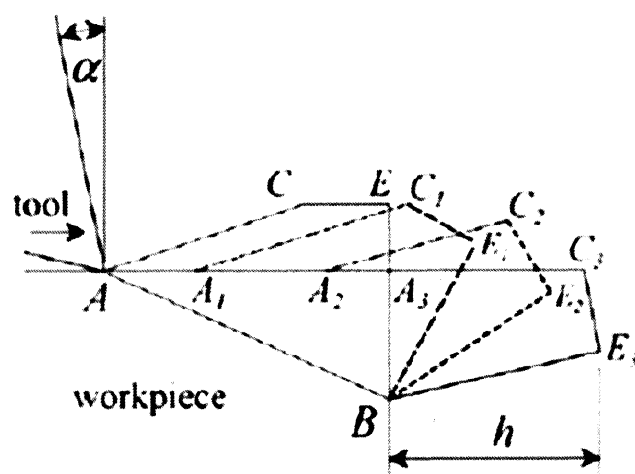


(c) Stages of burr formation for lead angle $\phi = 66^\circ$

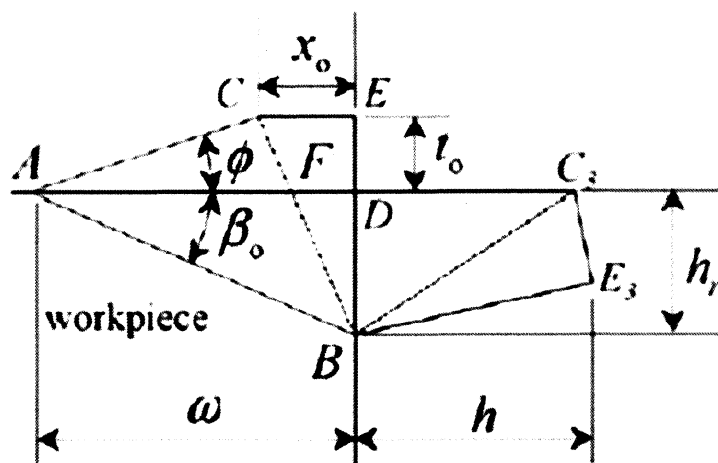
Fig.2.6 Stage of burr formation for each lead angle



(a) Initiation



(b) Development



(c) Final burr formation

Fig.2.7 Burr formation model

そこで、本研究ではバリ発生の原因と考えられるせん断応力の低減に当たり、切り込み量を小さくすることでせん断応力を小さくしバリの抑制を試みた。

図 2.8 に本研究における旋削法の旋削過程を 2 次元に投影した図を示す。本研究における切削法を用いると前節 2.2 の式(2.12)にあるようにカッターパスは図 2.8 における円弧 AC に示したような放物線を描くことになる。さらに加工を行い送り量 f が送られた場合カッターパスは円弧 A'C' となる。この際、送り量 f が送られた場合円弧 AC の内部は加工が終わっているため、加工が円弧 A'C' に進んだ時に加工される部分は点 DCC' で囲まれた部分となる。また、この部分を工具と被削材の各接触部で加工していくことになるので、工具における単位長さ当たりの切り込み量は図に示した Δd_1 , Δd_2 のように非常に小さくなることがわかる。さらにこの場合の最大切り込み量となる以前の切削が関与してこない点 C 部における切り込み量 Δd_1 においても、本来の切り込み量 d と比べ非常に小さくなっている事がわかる。

次に、本研究における旋削法を用い加工を行った際の単位当たりの切り込み量 Δd の算出を行う。本研究における旋削法の切り込み量 Δd は図から点 DCC' に囲まれた部分であることから、送り量 f を送られたカッターパスを示す円弧 C'D から基準となるカッターマーク円弧 CD を引いたものとなることになる。以上の事から本研究における旋削法の切り込み量 Δd は、式(2.13)から式(2.12)を引いた式(2.20)となる。

$$y = \frac{1}{2} \left\{ D - \sqrt{(D-2d)^2 + 4(x-f)^2 \tan^2 i} \right\} - \frac{1}{2} \left\{ D - \sqrt{(D-2d)^2 + 4x^2 \tan^2 i} \right\} \quad (2.20)$$

この式(2.20)を整理すると

$$y = -\frac{1}{2} \sqrt{(D-2d)^2 + 4(x-f)^2 \tan^2 i} + \frac{1}{2} \sqrt{(D-2d)^2 + 4x^2 \tan^2 i} \quad (2.21)$$

となる。ただし、被削材との接触部における切り込み量であることから送り方向における範囲は、切り込み量 $\Delta d = 0$ の場合である。よって

$$y = 0 \quad (2.22)$$

$$x = \pm \sqrt{\frac{dD - d^2}{\tan^2 i}} \quad (2.23)$$

となる。しかし、切り込まれる範囲は図 2.8 より C'D' の範囲となる。よって送り方向の範囲は、

$$\frac{f}{2} < x < f + \sqrt{\frac{dD - d^2}{\tan^2 i}} \quad (2.24)$$

となる。

以上のことから本研究における切削法での工具と被削材の接触長さ L は、これらを 3 次元に戻した距離となるので、

$$L = \left(\frac{f}{2} + \sqrt{\frac{dD - d^2}{\tan^2 i}} \right) \frac{1}{\cos i} \quad (2.25)$$

となる。また、本研究における旋削法において最大の切り込み量となる点 C における切り込み量は、

$$x = \sqrt{\frac{dD - d^2}{\tan^2 i}} \quad (2.26)$$

$$y = \frac{1}{2}D - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - 8f\sqrt{\frac{dD - d^2}{\tan^2 i}}\tan^2 i + 4f^2\tan^2 i} \quad (2.27)$$

となる。

式(2.25)、式(2.27)より、被削材直径 D を 150mm、切込量 d を 0.15mm、送り量 f を 0.42mm/rev. とし、傾斜角 i を 0° から 90° に変化させたときの接触長さと切り込み量 Δd の変化の様子を図 2.9 及び図 2.10 に示す。図 2.9 をみると、本研究における切削法を用い加工を行った際の工具と被削材の接触長さは非常に大きくなっていることがわかる。また、実際に切削が可能であると考えられる傾斜角 $i=30^\circ$ から $i=60^\circ$ においても接触長さは約 3mm から 8mm となっており、通常の切削法に比べ非常に大きくなっていると言える。次に図 2.10 をみると、傾斜角の増加とともに切り込み量も増加している様子がうかがえる。また、傾斜角 $i=70^\circ$ を境に切り込み量が著しく増加している事がわかる。しかし、先ほどと同様に実切削が可能であると考えられる傾斜角 $i=30^\circ$ から $i=60^\circ$ においては、切り込み量は約 0.015mm から 0.042mm と通常の旋削法の 30%以下になっている事がわかる。

以上のことから、本研究における切削法は切り込み量を小さくすることができると言える。さらに、切り込み量を小さくしたことにより被削材端部でのせん断応力の低減ができると考えられ、バリの抑制が可能であると考えられる。

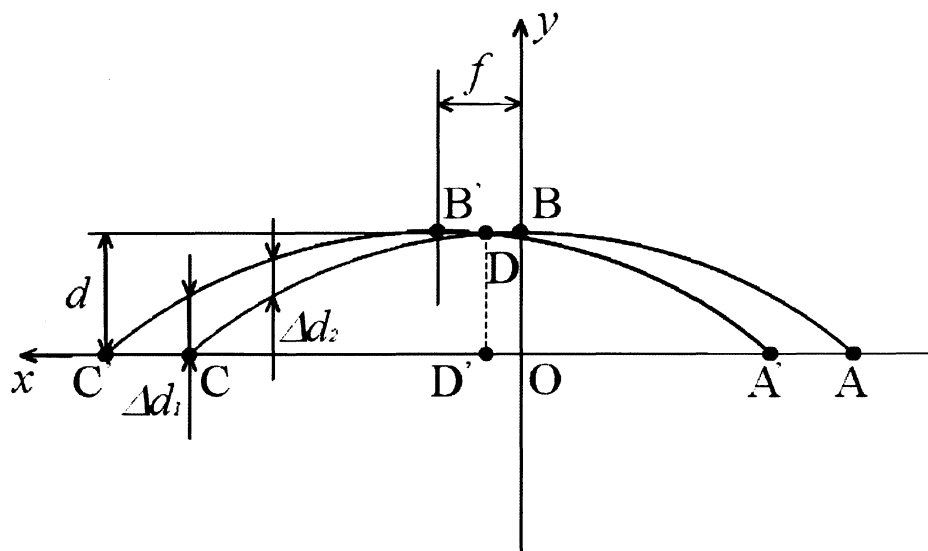


Fig.2.8 Geometrical model of cutting depth in oblique cutting

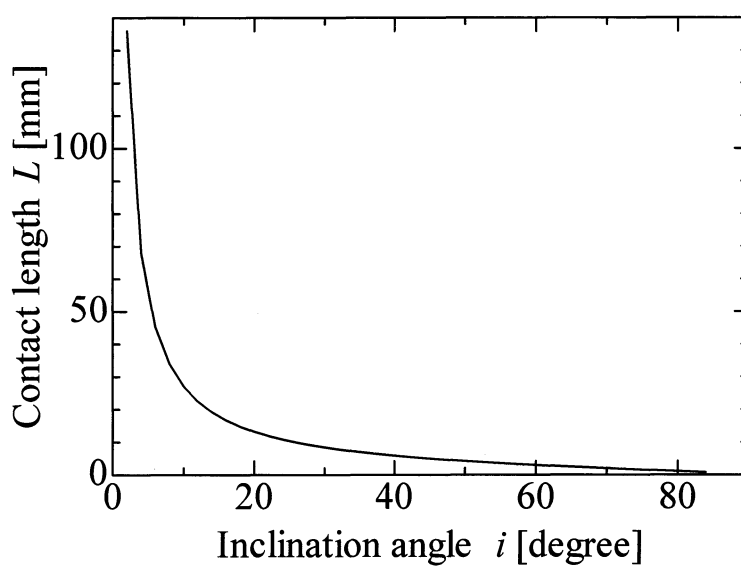


Fig.2.9 Contact length in oblique cutting

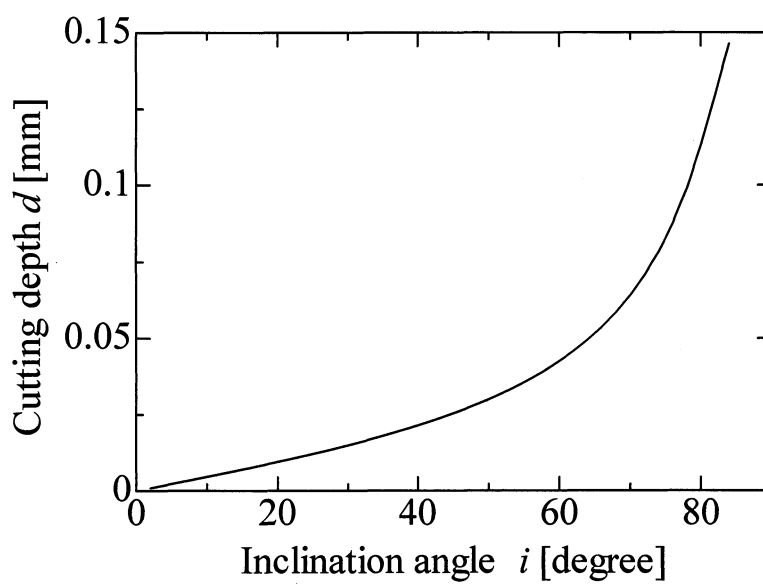


Fig.2.10 Cutting depth in oblique cutting

第3章 実切削における加工品質

本章では、本研究で提案した切削法を用い実切削を行うことで、加工表面の観察及び表面粗さから切削性能を検証すると共に、バリのサイズの測定からバリの抑制を試みる。

3.1 実験方法

3.1.1 実験条件

本研究における切削法の有効性を検証するため、ステンレス鋼 SUS303、炭素鋼 S50C 及びアルミニウム合金 A5052 に対し、本研究における切削法を用い外周旋削加工を行う。これらの被削材は円盤状のものを寸法、形状を図 3.1 に示す。次に、実験条件を表 3.1 に示す。傾斜角度を 3 段階、切り込み量を 2 段階、送り量を 3 段階、に変化させ、各被削材に対して 18 条件の実験を行う。なお、送り量 0.73mm/rev は、本実験で用いた旋盤の最大送り量である。

また本実験では、図 3.8 に示す MQL(Minimum Quantity Lubrication)装置を用いたセミドライ加工を行う。この装置は、切削油材を工具または被削材にミスト状にして吹き付けるもので、微量ではあるが広範囲に油材を付着させる事ができるものである。本研究における切削法では、工具と被削材の接触長さが大きくなることから、通常の切削法と比べ切削時に発生する摩擦熱が大きくなると考えられる。そのため、広範囲にわたり潤滑、冷却の効果が期待できる MQL 装置を採用した。また MQL 装置のノズル位置を図 3.2 に示す。ノズル位置は工具に対して約 45° となるように設定し¹⁰⁾、ノズル先端を工具のエッジ付近に向けた。

さらに、バリのサイズの測定にあたり、実験開始時に被削材端部にバリ測定に影響を及ぼすものがないよう図 3.3 に示すように送り方向を本実験とは逆向きにし、通常切削を行った後に本実験を行った。

実験後は、表面粗さ測定器を用い被削材表面の粗さを測定し、マイクロスコープで被削材表面の様子を観察する。また、3次元レーザー測定器を用い加工の際に発生したバリのサイズを測定した。これらの実験結果から、各傾斜角間の表面粗さ、バリのサイズを比較し傾斜角度の影響を検証する。さらに、本実験における条件のうち、切り込み量 0.20mm 、送り量 0.73mm/rev の時の金属除去量を算出し、これと同等の金属除去量をもつ条件で通常切削を行い、本研究における切削法と通常の切削法の比較を行った。

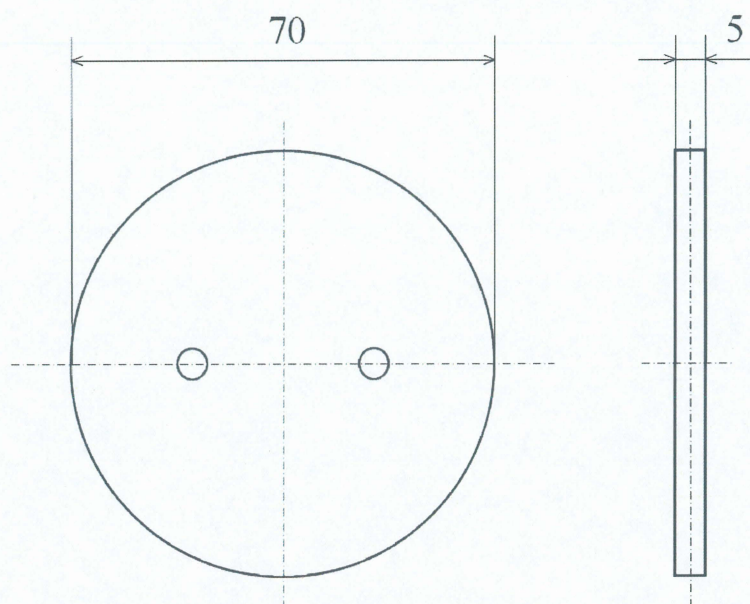


Fig.3.1 Workpiece

Table 3.1 Cutting condition with oblique cutting

Workpiece	SUS303 , S50C , A5052
Cutting Speed [m/min]	45
Feed rate [mm/rev.]	0.42 , 0.58 , 0.73
Cutting depth [mm]	0.10 , 0.20
Inclination angle [degree]	25 , 45 , 65
Quantity of oil mist [ml/h]	1.7

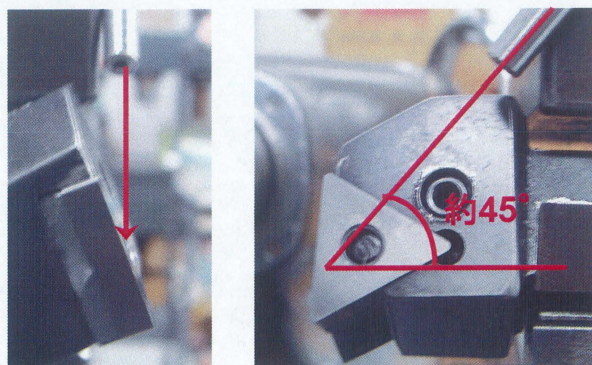


Fig.3.2 Position of nozzle

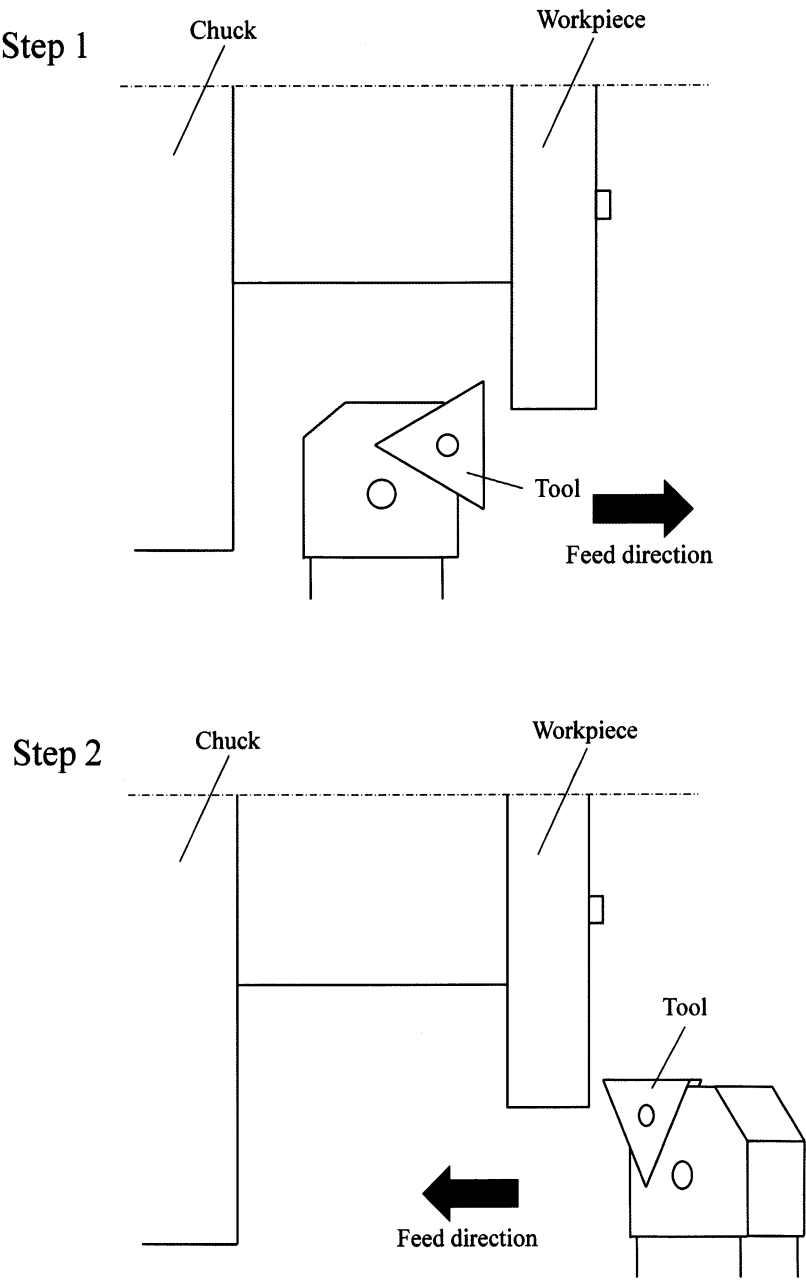


Fig.3.3 experimental methodology

3.1.2 実験装置

- ・ 旋盤

実験に用いた旋盤は、図 3.4 に示す大隈鐵工所製 LS 型実用高速旋盤 (ベッド上の振り 450 mm, 両センター間の最大距離 585 mm) である。

- ・ マイクロスコープ

実験後の被削材表面の様子を観察するために用いたマイクロスコープは、図 3.5 に示す Micro Square 株式会社製 DS-3N である。

- ・ 表面粗さ測定器

実験後の被削材の表面粗さを測定するため、図 3.6 に示す Mitutoyo 製 SURFTEST SV-500 を用い、JIS 規格 (JIS B0633 : 2001) に従って測定を行った。

- ・ レーザー測定器

実験後の被削材端部におけるバリの測定を行うため、図 3.7 に示す Keyence 製 LT-8010 を用い測定を行った。

- ・ MQL (Minimum Quantity Lubrication)装置

実験に用いた MQL 装置は、図 3.8 に示す扶桑精機株式会社製セミドライ式給油冷却機(マジックカット e-ミスト)である。また切削油剤は、パルス化学株式会社 CUT AM-50(植物性)である。この油剤は、生成天然植物油脂であり、人体及び環境に無害という特徴を持つ。

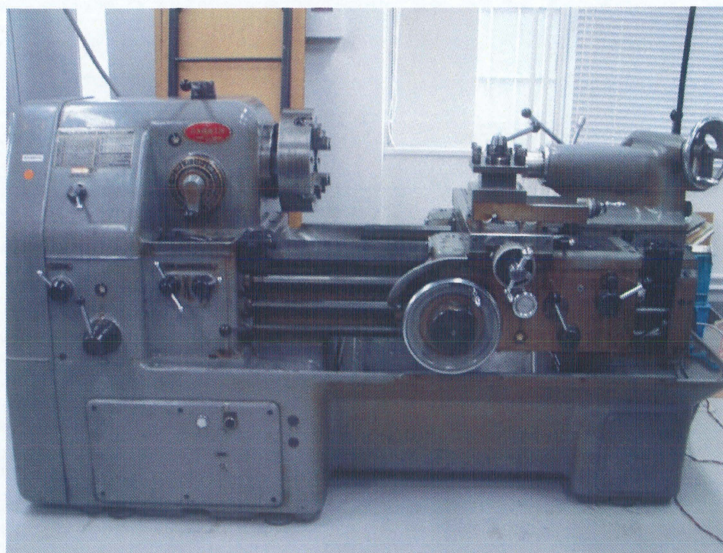


Fig.3.4 Lathe machine

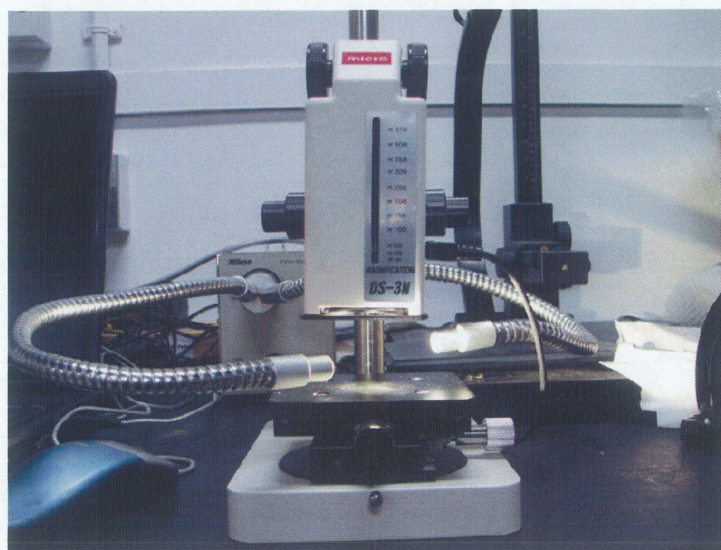


Fig.3.5 Micro scope

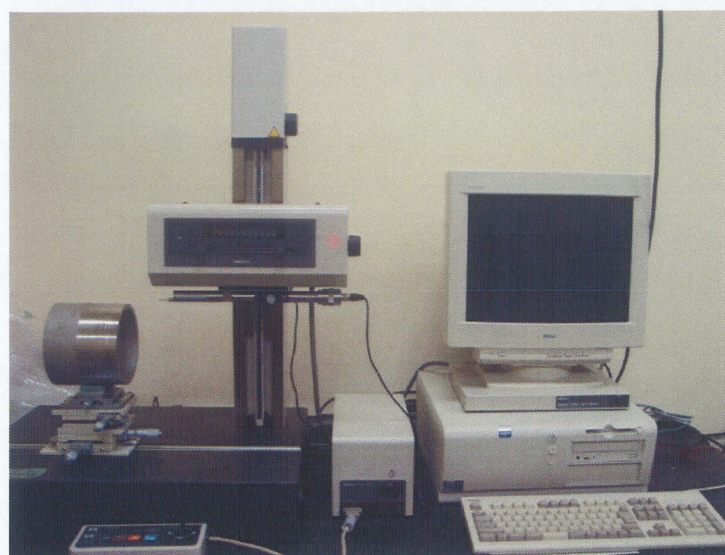


Fig.3.6 Surface roughness measuring instrument

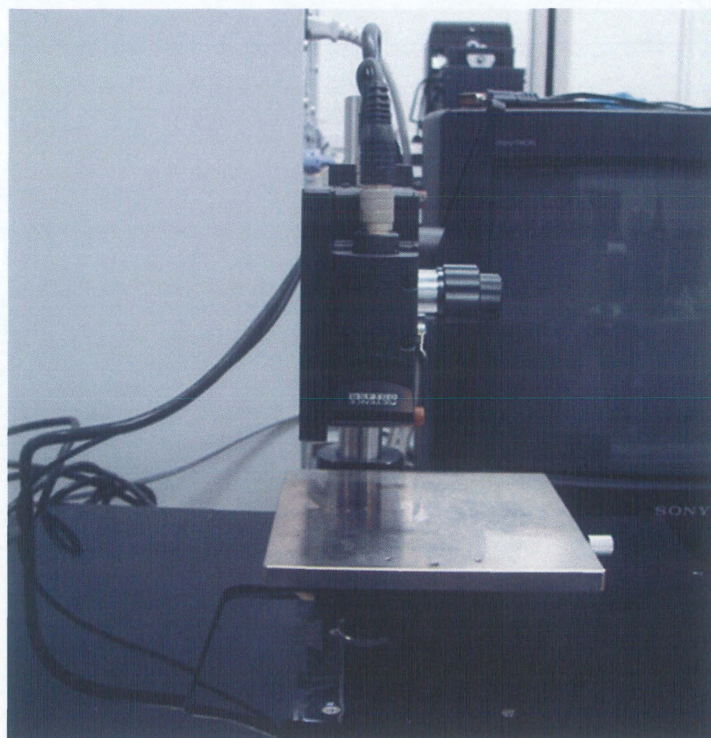


Fig.3.7 Laser measuring instrument

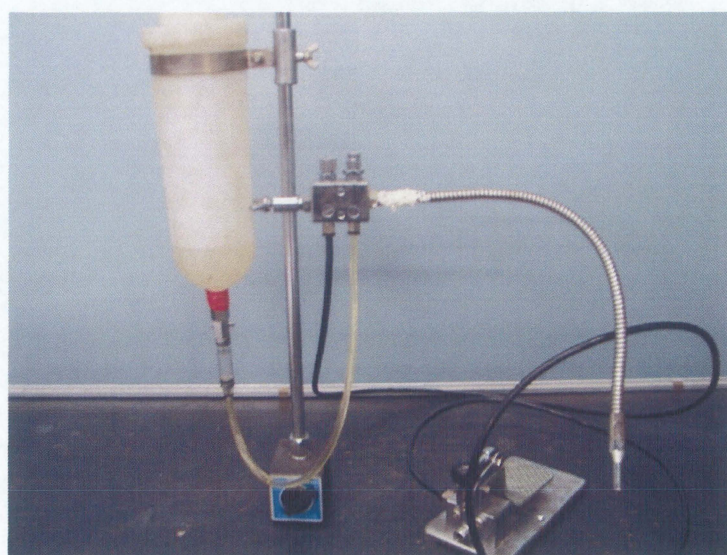


Fig.3.8 MQL(Minimum Quantity Lubrication) system

3.1.3 切削工具

実験に使用した工具は、三菱マテリアル株式会社製のチップ(TNGA160408 UTi20T 及び TNGA160408 HTi10)を住友電工ハードメタル株式会社製チップホルダー(DTFNR2525M16)に取り付けたものである。図 3.9 に使用したチップ形状を示す。また、図 3.10 には、図 3.9 にて示した三角形チップをチップホルダーに取り付けた状態を示しており、各チップホルダーは本実験で用いた実験条件である $i = 25, 45, 65^\circ$ の傾斜角を持つように加工を施してある。

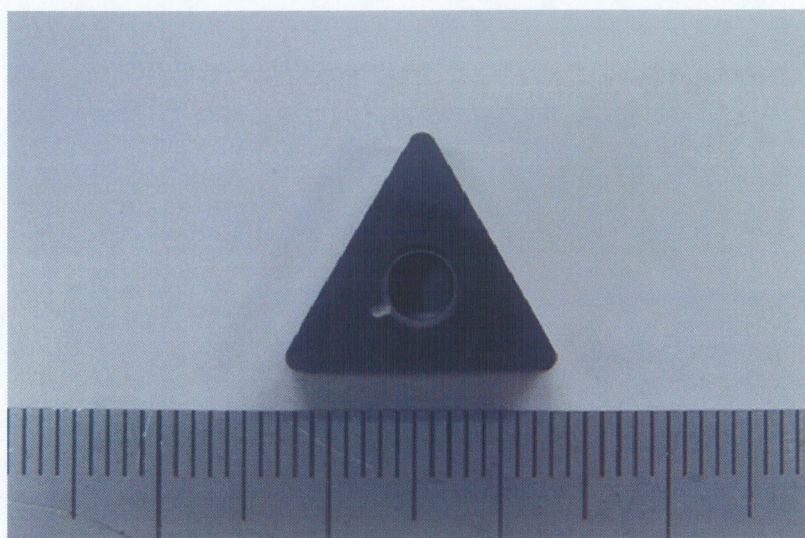


Fig.3.9 Photograph of using chip on oblique cutting

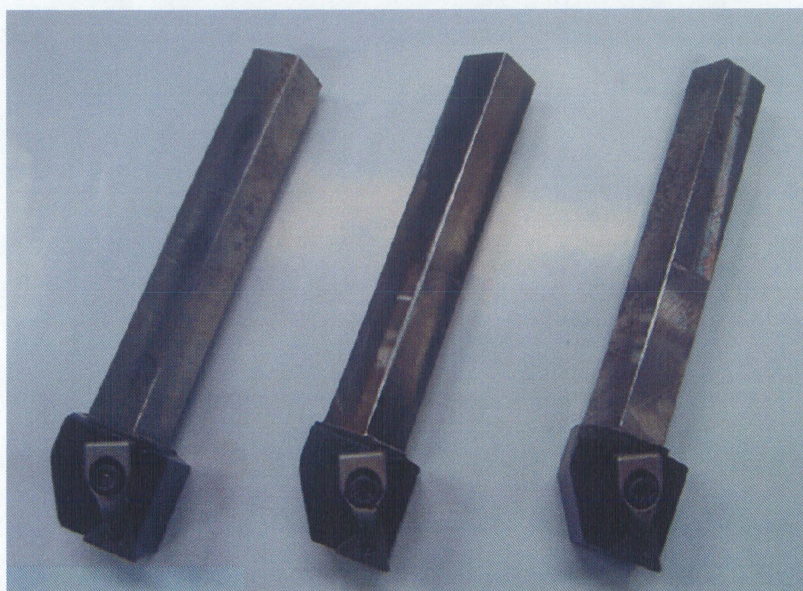


Fig.3.10 Photograph of oblique cutting tools

3.2 実験結果及び考察

3.2.1 加工面観察

実験により加工した際の加工表面の画像を図 3.11(a)-(f), 図 3.12(a)-(f), 図 3.13(a)-(f), 図 3.14(a)-(f), 図 3.15(a)-(f), 図 3.16(a)-(f), 図 3.17(a)-(f), 図 3.18(a)-(f), 図 3.19(a)-(f)及び図 3.20(a)-(c)に示す. 図 3.11(a)-(f)から図 3.19(a)-(f)には, 本研究における旋削法を用いて実験を行った際の加工表面を表す画像である. また, 図 3.20(a)-(c)に関しては, 本研究による旋削法と通常の旋削法の加工表面の比較を行うため, 通常の旋削加工を行った際の加工表面を示す. なお, 表面粗さの比較に際し, 本実験で用いた実験条件のうち最も重切削である切り込み量 0.20mm, 送り量 0.73mm/rev.と同等の金属除去量を式(3.1)により算出し, 通常の旋削法の切削条件を決定した. 以下の表 3.2 に通常の旋削法を用いた加工実験の実験条件を示す.

$$Z_w = \pi D d f n \quad (3.1)$$

Table 3.2 Cutting condition with normal cutting

Workpiece	SUS303 , S50C , A5052
Cutting Speed [m/min]	160
Feed rate [mm/rev.]	0.20
Cutting depth [mm]	0.20
Inclination angle [degree]	0
Quantity of oil mist [ml/h]	1.7

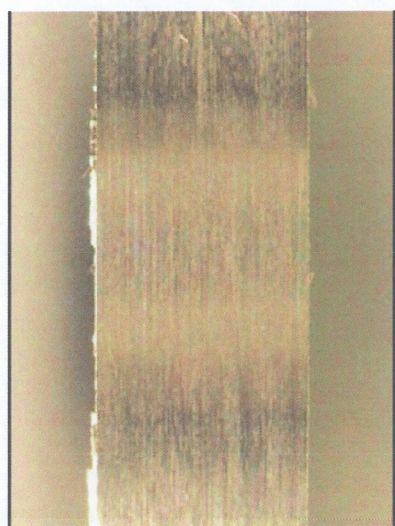
始めに SUS303 を表した図 3.11(a)-(f), 図 3.12(a)-(f)及び図 3.13(a)-(f)を見ると, 傾斜角 25° においては切り込み量, 送り量に関わらずカッターマークもほぼ見られず非常にきれいな加工面がみられた. 傾斜角 45° においても加工表面に若干のカッターマーク見られるものの十分にきれいな加工面の様子がうかがえる. 傾斜角 65° においては, すべての切り込み量, 送り量において鮮明にカッターマークが見られるものの, 本研究における切削法では薄く幅の大きな帯状切屑が発生することから, 通常旋削時に比べ幅の大きなカッターマークが確認できると考えられる. 図 3.13 からはこの傾向が認められ, 非常に良好な旋削加工

が行えたと言える。またこのカッターマークは、切り込み量、送り量の増加に伴い鮮明に見えるようになる様子がうかがえる。次に図 3.14(a)-(f)、図 3.15(a)-(f)及び図 3.16(a)-(f)に示す S50C をみると、全ての傾斜角においてカッターマークのようなものがうかがえるものの、加工面に加工の際に生じたと考えられる多数の欠損が見られる。この欠損は切り込み量、送り量を増加させ切削条件を厳しくするとより多く見られる。また、この欠損は本研究においてコーティングの施されていないチップを用いたために工具摩耗が大きくなったことや、本実験条件が S50C の旋削加工に適さなかったためにできたと考えられる。最後に図 3.17(a)-(f)、図 3.18(a)-(f)及び図 3.19(a)-(f)に示した A5052 について述べる。図 3.17(a)-(f)、図 3.18(a)-(f)に示した傾斜角 25、45° においては、加工表面全域にわたり多数の欠損が見られる。しかし、この欠損のない範囲では SUS303 のようにきれいに加工が行われた様子がうかがえる。この欠損は、A5052 を用いた実験において加工の際に工具への溶着がみられ、非常に大きな構成刃先を確認しており、この構成刃先の影響により図に示したような欠損が生じたと考えられる。またこれらの欠損も切り込み量、送り量の増加に伴いより広範囲にわたっている様子がうかがえる。さらに、切り込み量の増加に伴う影響と送り量の増加に伴う影響を比較すると、切り込み量の増加に伴う影響の方が大きいことがわかる。なお、図 3.17(f)においては、A5052 の加工に当たり最大の構成刃先を確認しており、その構成刃先により被削材がえぐられたため加工表面に大きな溝ができたと考えられる。一方、図 3.19(a)-(f)に示す傾斜角 65° においては、傾斜角 25、45° とは異なり非常に工具への溶着による影響が少なく、加工によるカッターマークも鮮明に確認することができる。これは、傾斜角を大きくしたことにより、接触長さが小さくなったことにより加工の際に発生する摩擦熱が小さくなったことにより、工具への溶着が少なくなったためであると考えられる。

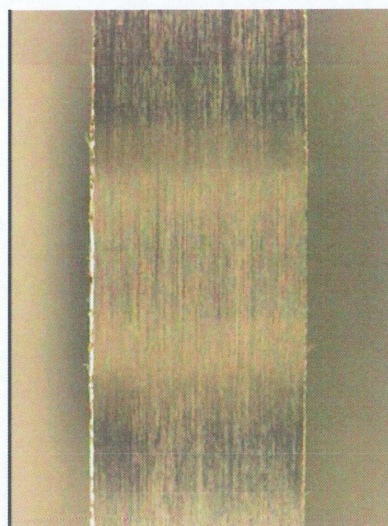
次に本実験において最も重切削である切削条件切り込み量 0.20mm、送り量 0.73mm/rev. と同等の金属除去量を持つ条件下(表 3.2 参照)で行った通常旋削時の加工表面と本研究における切削法の加工表面の比較を行う。図 3.20(a)-(c)をみると全ての被削材において通常旋削を行った際に生じたカッターマークが見られ、また欠損も見られず非常に良好な旋削加工が行えている様子がうかがえる。始めに図 3.20(a)に示した SUS303 を見ると、SUS303 においては全ての傾斜角において通常旋削時と同様に加工表面はきれいに仕上がっている様子がうかがえる。一方 S50C 及び A5052 に関しては、通常の旋削と比べ本研究における切削法では加工表面に多数の欠損が見られ、通常旋削時に比べ加工表面の仕上がりが悪いことが

わかる. しかし, 比較的工工具への溶着の影響が少ないと考えられる図 3.19(e), (f)に示す A5052 傾斜角 65° では通常旋削時と非常に近い加工面となっている.

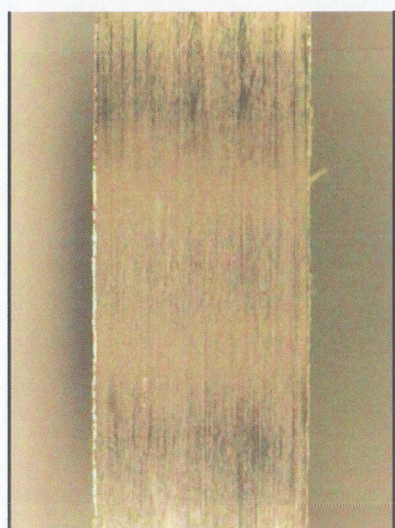
以上の加工面の観察の結果, SUS303 においては本実験の条件下でも十分に本研究による旋削法が有効であると言える. 一方 S50C 及び A5052 に関しては, 図 3.14~図 3.19 に示すよう多数の欠損が見られたため本実験における切削条件には適さないと考えられる. しかし, S50C においては工具の最適化や切削条件の絞り込み, A5052 においては潤滑剤の調節や傾斜角の最適化によって十分に旋削加工が行えるようになると考えられる.



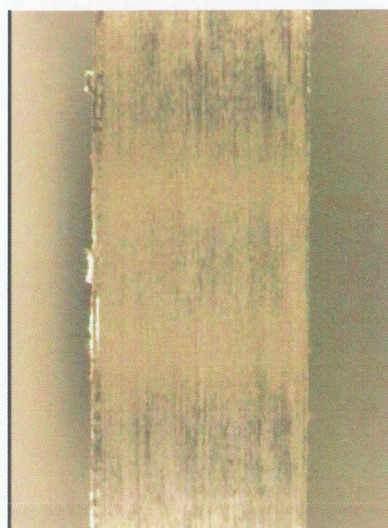
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



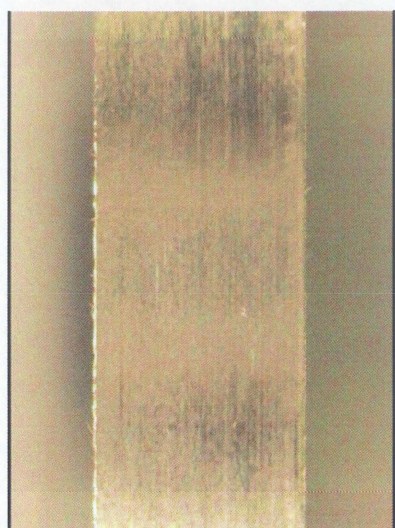
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



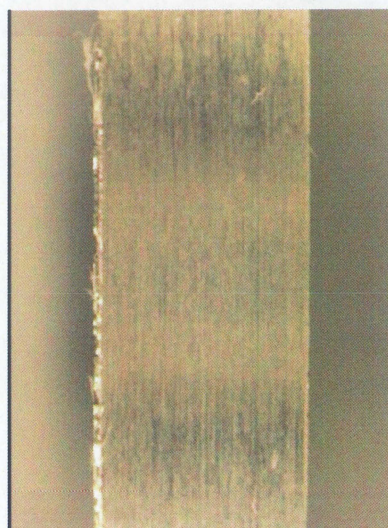
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

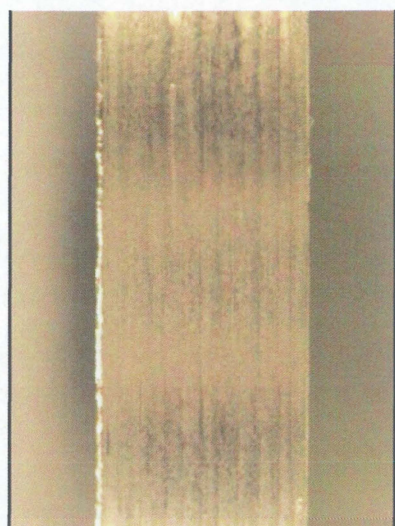


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

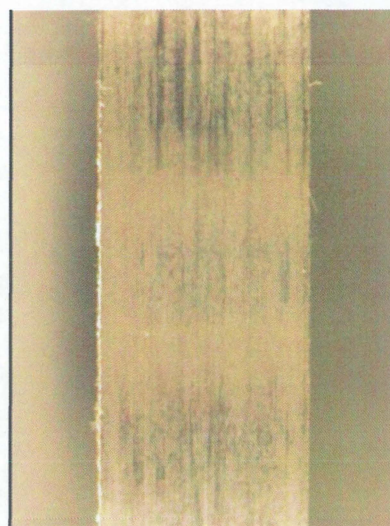


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

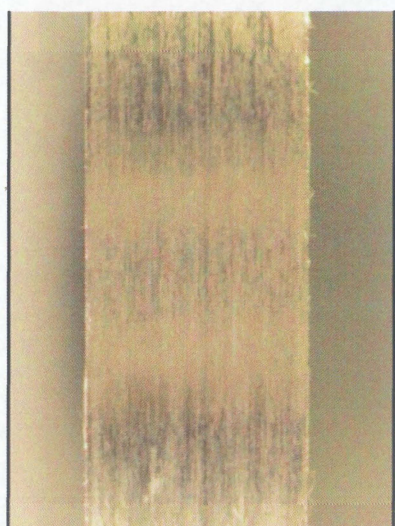
Fig.3.11 Examine of machined surface for SUS303 in inclination angle $i = 25$



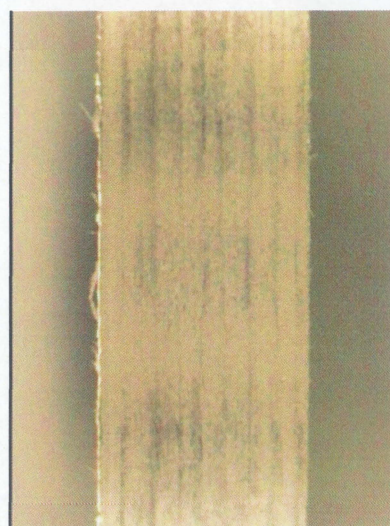
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



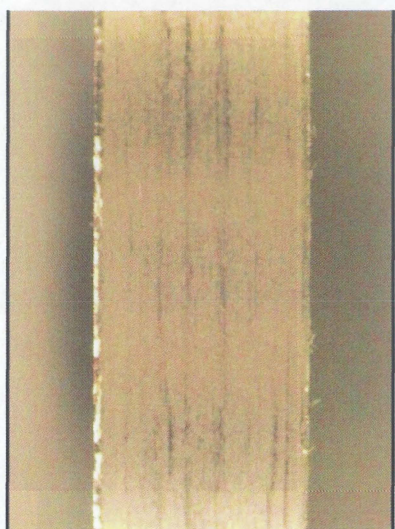
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



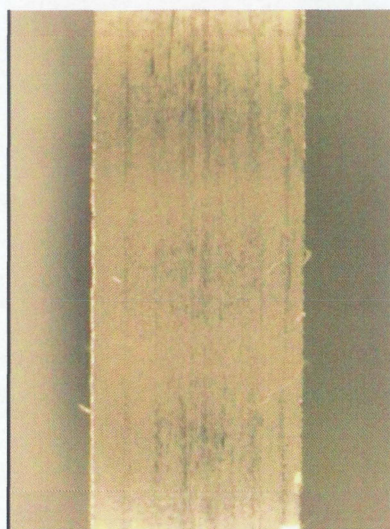
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

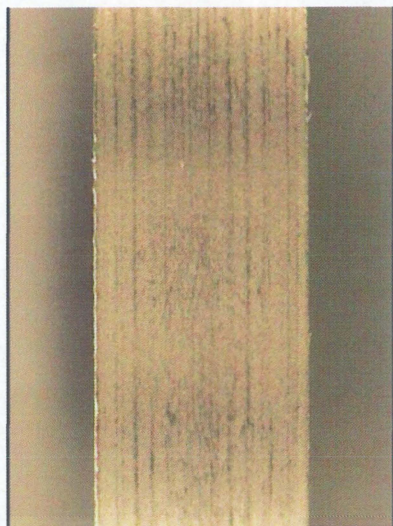


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

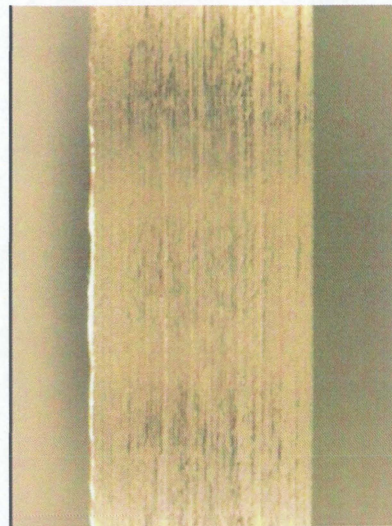


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

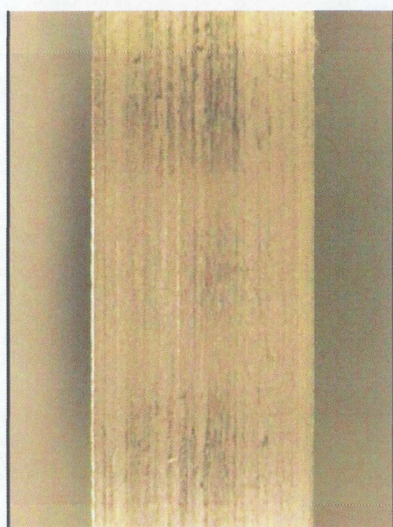
Fig.3.12 Examine of machined surface for SUS303 in inclination angle $i = 45$



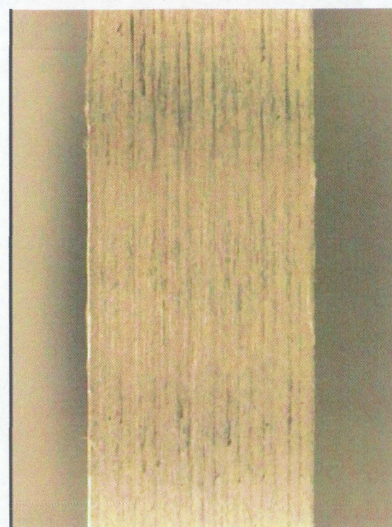
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



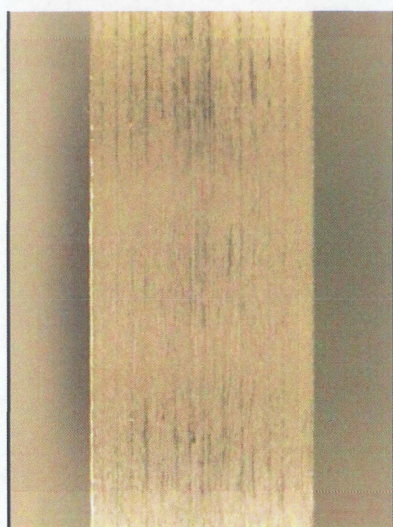
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



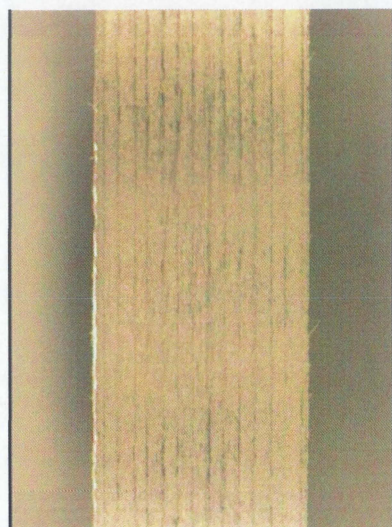
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

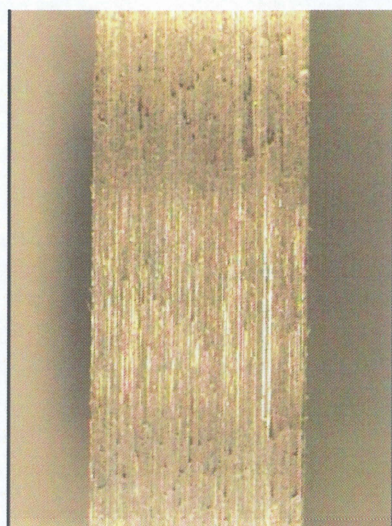


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

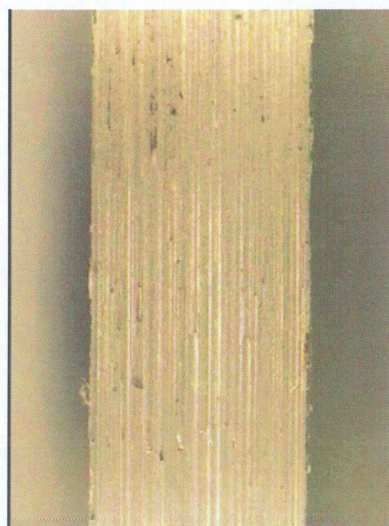


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

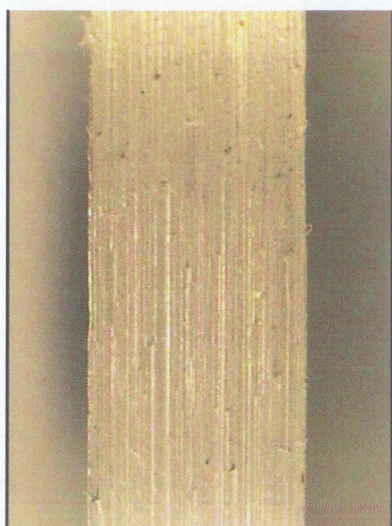
Fig.3.13 Examine of machined surface for SUS303 in inclination angle $i = 65$



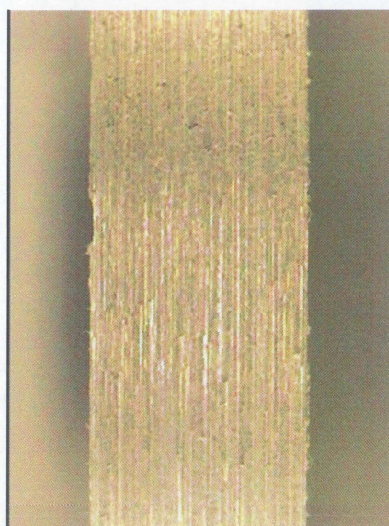
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



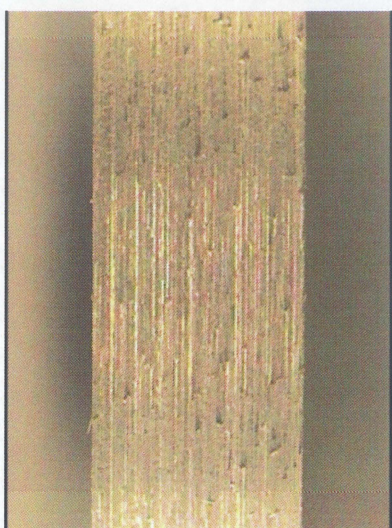
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



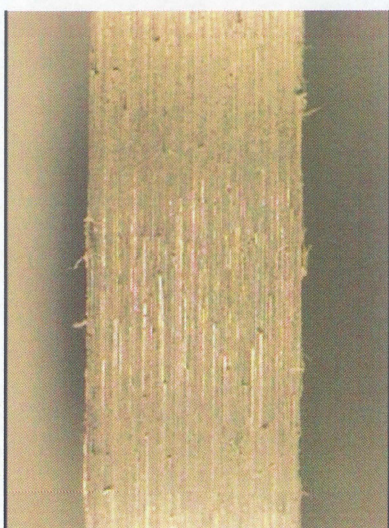
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

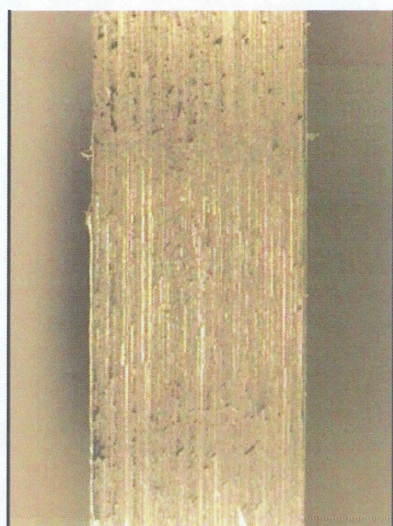


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

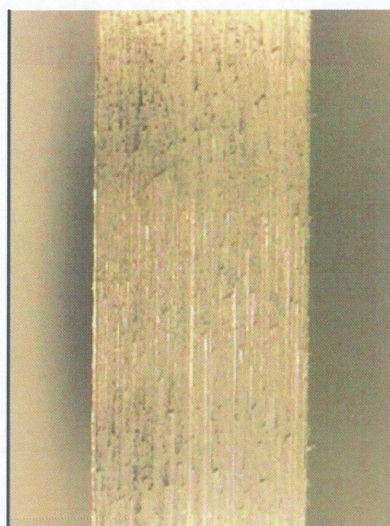


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

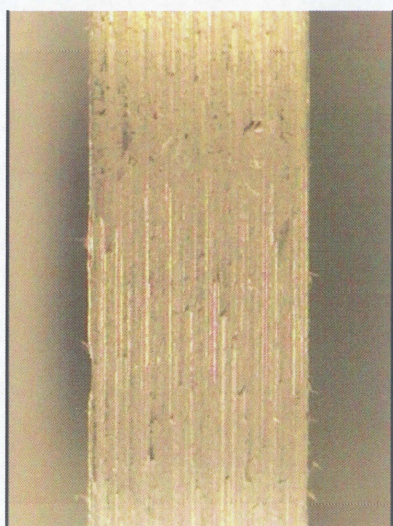
Fig.3.14 Examine of machined surface for S50C in inclination angle $i = 25$



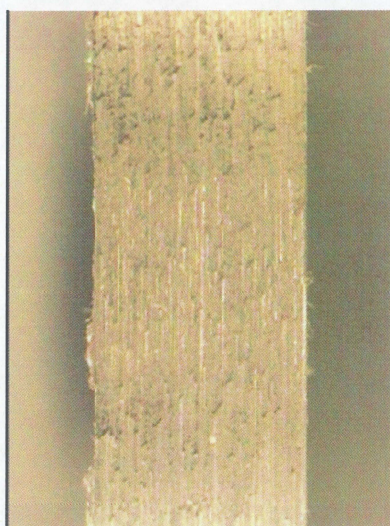
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



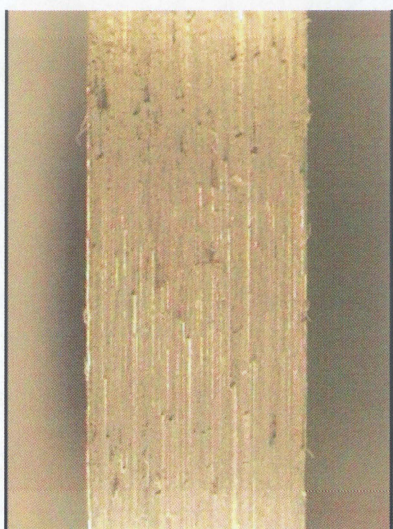
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



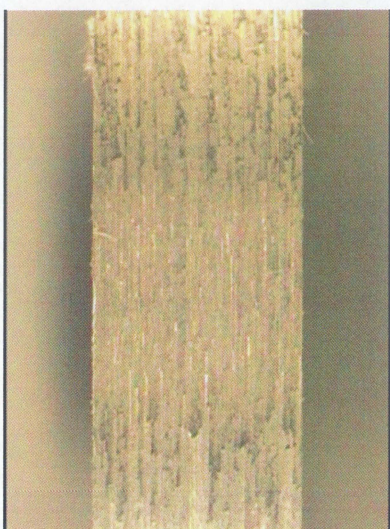
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

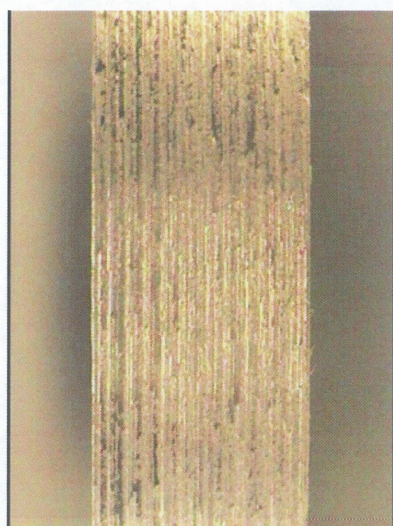


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

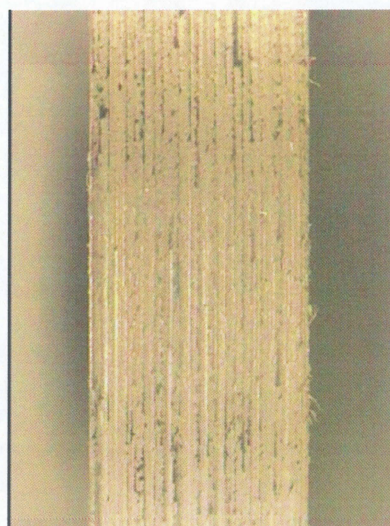


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

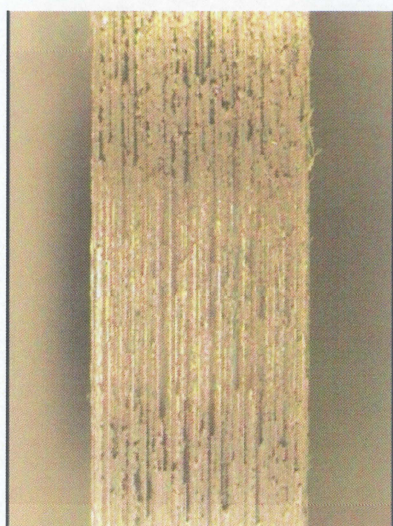
Fig.3.15 Examine of machined surface for S50C in inclination angle $i=45$



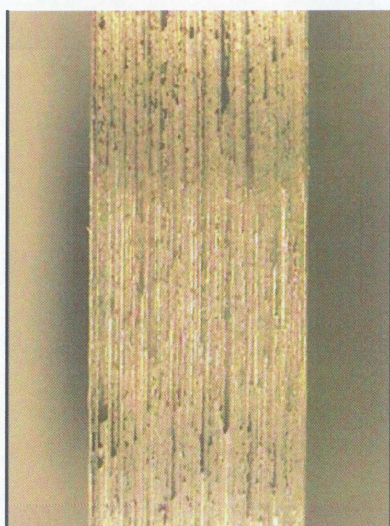
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



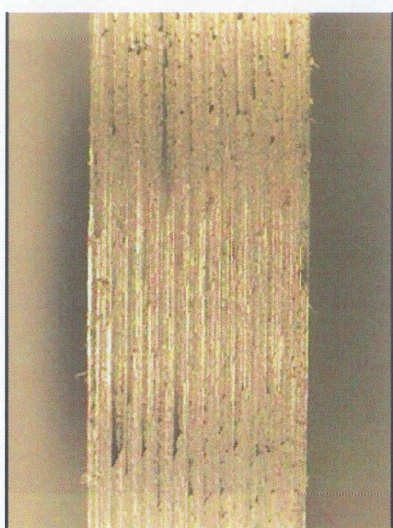
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



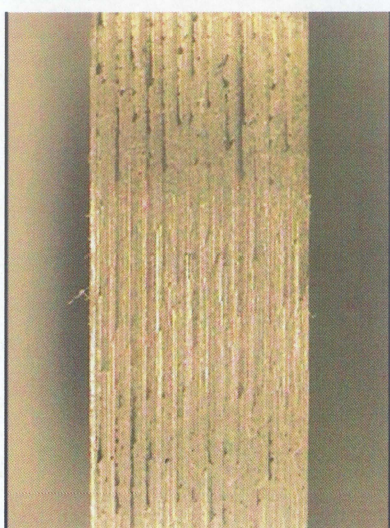
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

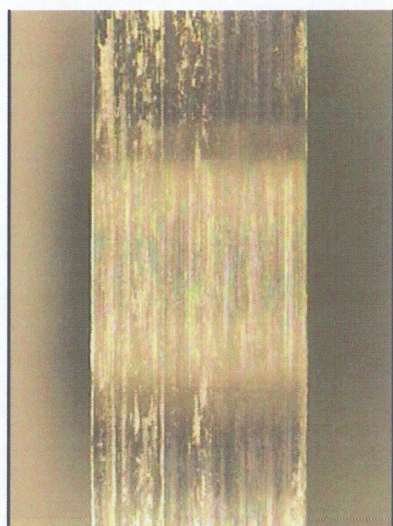


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

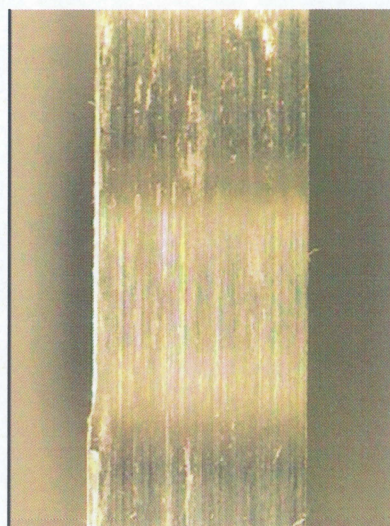


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

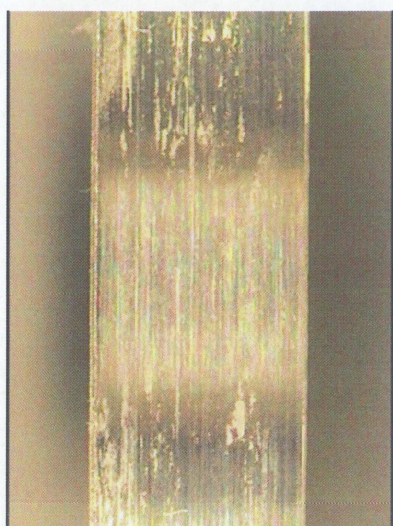
Fig.3.16 Examine of machined surface for S50C in inclination angle $i = 65$



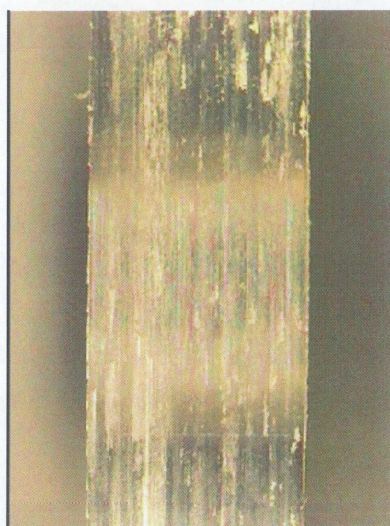
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



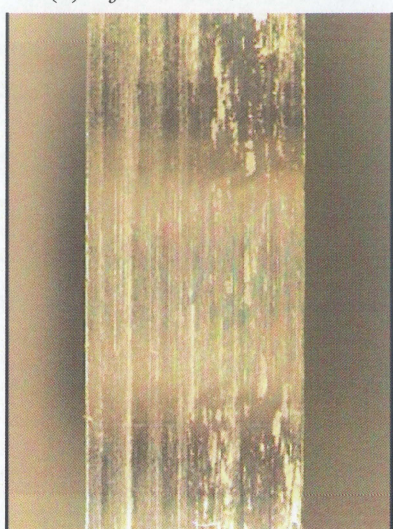
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



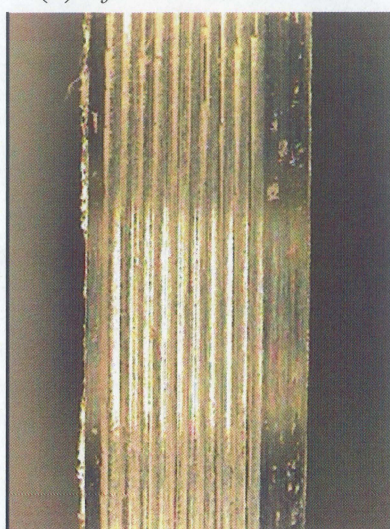
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

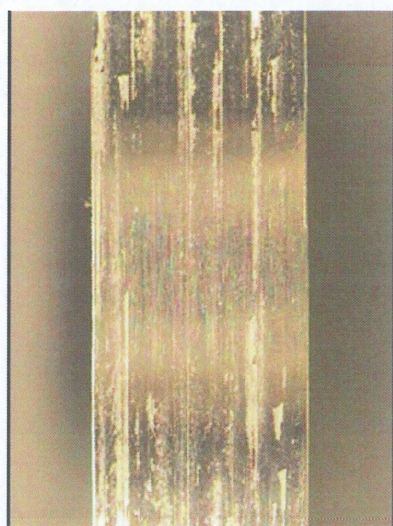


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

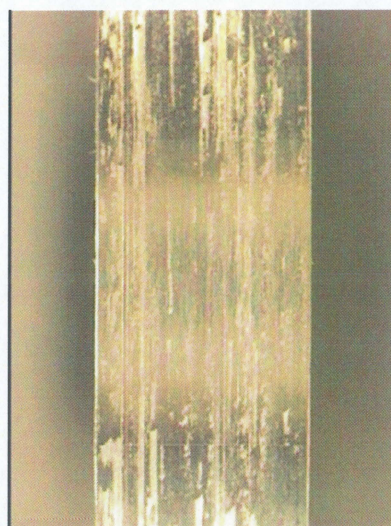


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

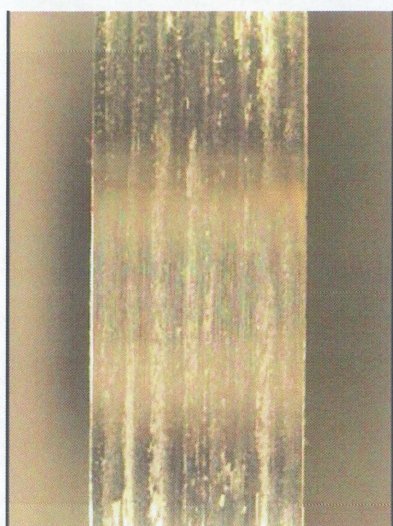
Fig.3.17 Examine of machined surface for A5052 in inclination angle $i = 25$



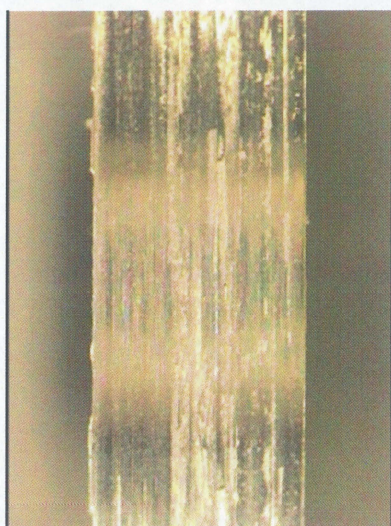
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



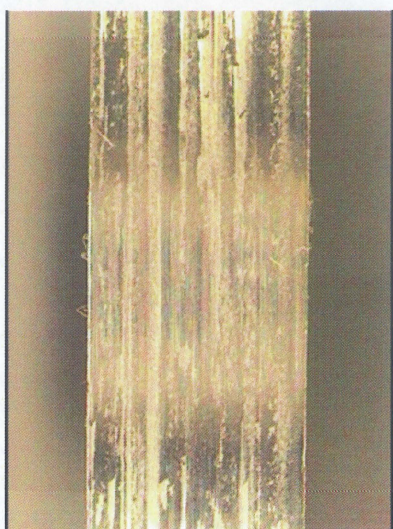
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



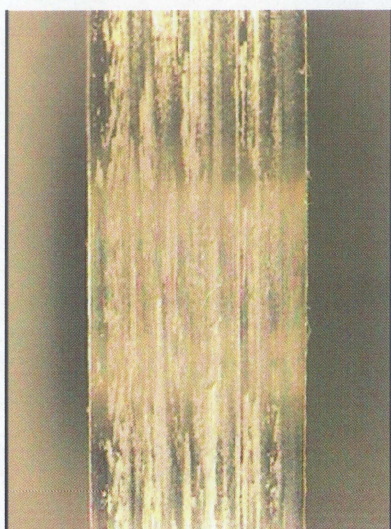
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

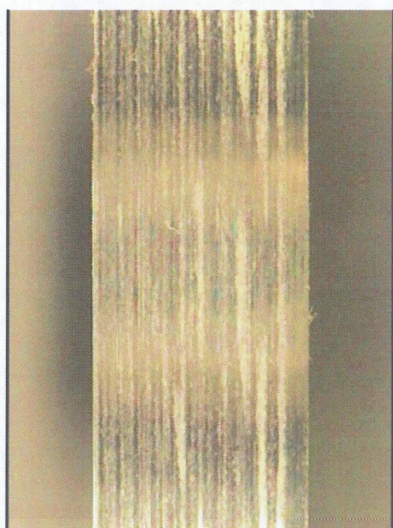


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

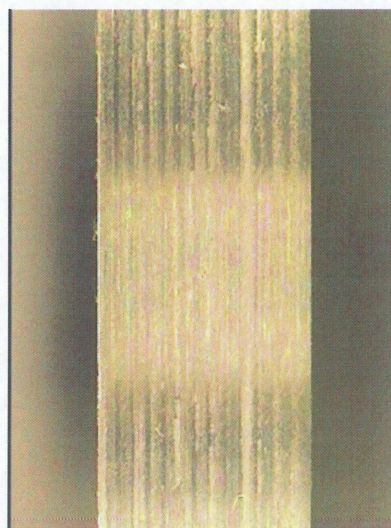


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

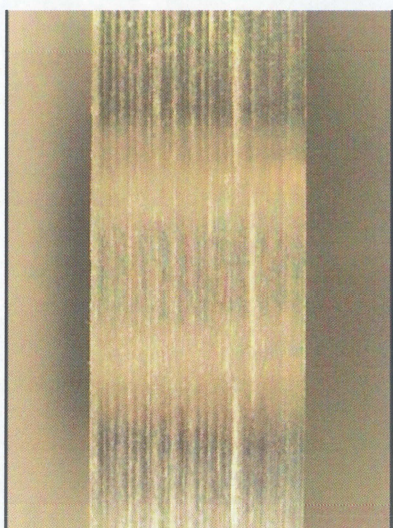
Fig.3.18 Examine of machined surface for A5052 in inclination angle $i=45$



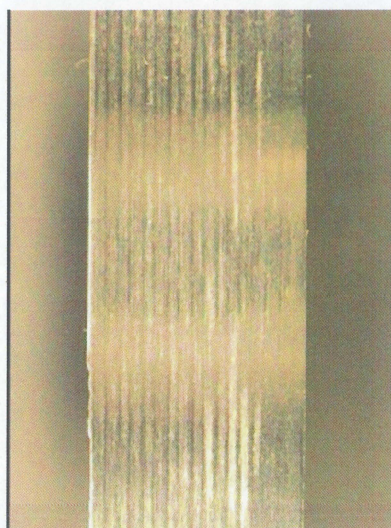
(a) $f=0.42$, $d=0.10$



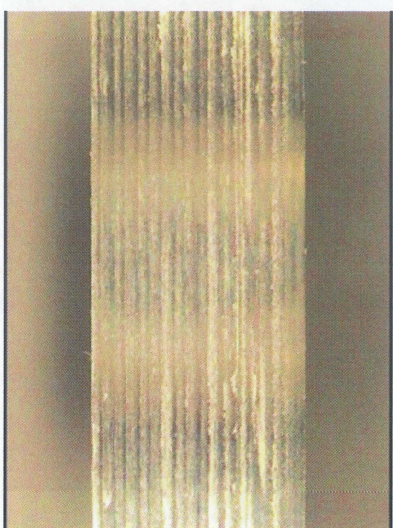
(b) $f=0.42$, $d=0.20$



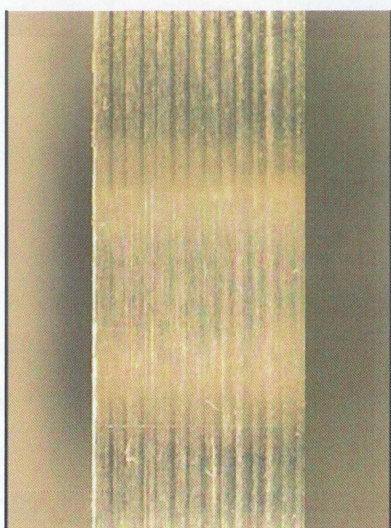
(c) $f=0.58$, $d=0.10$



(d) $f=0.58$, $d=0.20$

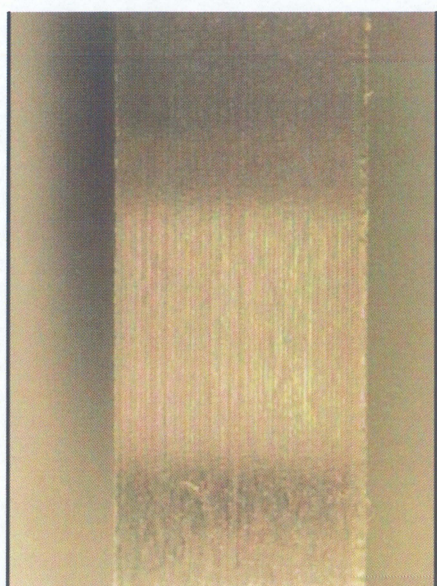


(e) $f=0.73$, $d=0.10$

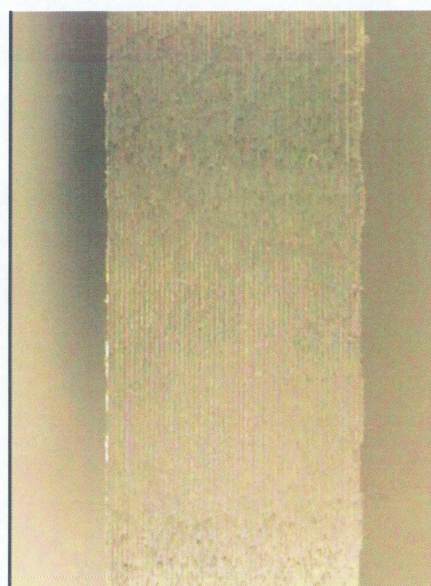


(f) $f=0.73$, $d=0.20$

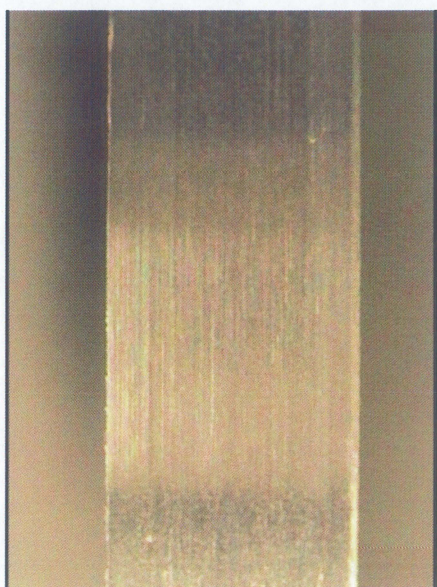
Fig.3.19 Examine of machined surface for A5052 in inclination angle $i = 65$



(a) SUS303



(b) S50C



(c) A5052

Fig.3.20 Examine of machined surface in normal cutting

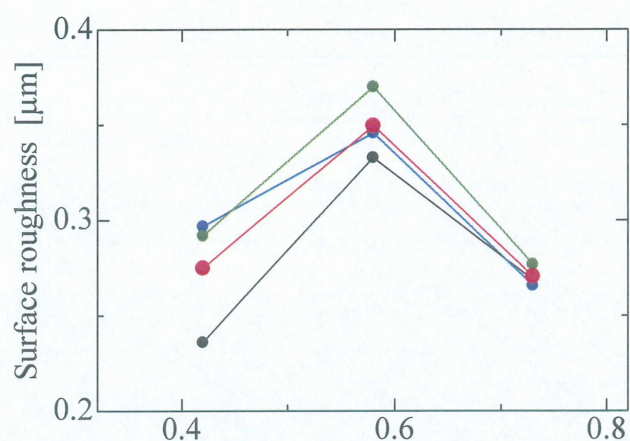
3.2.2 送り量による表面粗さの影響

実験による表面粗さの測定結果を図 3.21(a)-(f), 図 3.22(a)-(f), 図 3.23(a)-(f) 及び図 3.24(a)-(c) に示す. 図 3.21(a)-(f), 図 3.22(a)-(f), 図 3.23(a)-(f) は, SUS303, S50C 及び A5052 の各被削材における表面粗さを示している. 縦軸に表面粗さ, 横軸に送り量を取っており, 切り込み量及び傾斜角を変化させた場合の表面粗さへの影響を示した. また, 表面粗さの測定に当たり, 任意の 3 点から表面粗さを測定し, 4 点目にそれら 3 点の平均値を示した. 次に図 3.24(a)-(c) には, 本研究で用いた手法と通常の旋削法の表面粗さの比較結果を示した. なお, 表面粗さの比較には, 前項 3.2.1 で用いた切削条件と同じものを用いた(表 3.2 参照).

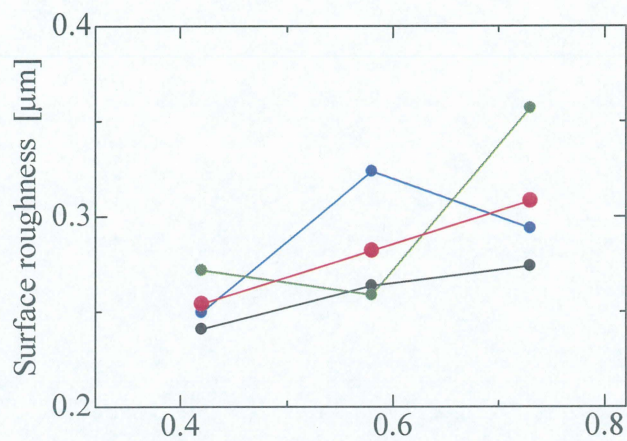
図 3.21 から SUS303 においては, ほぼすべての切削条件において送り量の増加に伴い表面粗さが増加するということがわかる. 一方各傾斜角において切り込み量の変化による表面粗さへの影響を比較すると, 切り込み量の増加に伴い表面粗さの増加が見られるが, 送り量の増加による影響と比較すると非常に小さいことがわかる. よって本研究における旋削法では, 送り量が表面粗さに大きく影響している事がわかる. また, 傾斜角の観点から比較を行うと, 傾斜角の減少に伴い表面粗さが小さくなっている事がわかり, 図 3.21(b) に示した傾斜角 $i = 25^\circ$, 切り込み量 $d = 0.20 \text{ mm}$, 送り量 $f = 0.73 \text{ mm/rev}$ においては表面粗さを $0.31 \mu\text{m}$ と非常に小さくすることに成功した. これは, 傾斜角を小さくすることで, 被削材と工具の接触長さが増加したため, 加工表面をより滑らかに仕上げる事ができたためと考えられる. なお, 図 3.21(a), (d) において表面粗さが上記の傾向と異なっているが, これは加工の際に工具と被削材の間で共振が生じたために表面粗さの悪化が起こったと考えられる. 次に図 3.22 に示した S50C においては, SUS303 同様ほぼすべての切削条件において送り量の増加に伴い表面粗さが増加するという傾向が見られるが, SUS303 と比べ表面粗さが非常に大きくなっている事が分かる. また, 切り込み量の変化や傾斜角の変化に伴う表面粗さの変化も見られない事がわかる. これは, 前項 3.2.1 の加工面観察からもわかるように加工の際に生じた加工表面の欠損による影響であると考えられる. 最後に図 3.23 に示す A5052 について述べる. 図 3.23(e), (f) に関しては, 他の被削材と同様の傾向が見られたが, 図 3.23(a)-(d) に関しては, 他の被削材とは異なり送り量の増加に伴う表面粗さの増加といった傾向が見られなかった. これについても, 前項 3.2.1 からわかるように, 傾斜角が小さいことにより被削材と工具の接触長さが大きくなったため, 被削材と工具の間で発生した摩擦熱により工具に溶着が発生し, この溶着の影響により加工面に悪影響を及ぼしたこ

とが原因であると言える。しかし、傾斜角が大きく他の傾斜角と比べ接触長さの小さい傾斜角 65° に関しては、工具への溶着が少なかったために加工面への影響が小さかったと考えられ、他の被削材と同様の傾向が見られた。

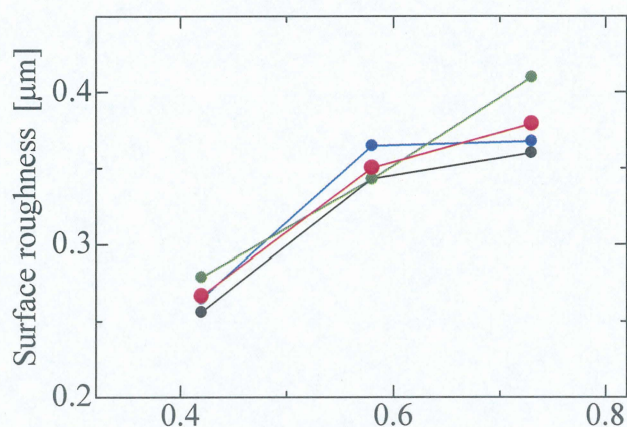
次に本研究による旋削法と通常の旋削法の比較を行った図 3.24(a)-(c)についての考察を行う。始めに S50C 及び A5052 を表す図 3.24(b), (c)についてみると、工具不良の影響や溶着の影響によりほぼすべての条件において通常の旋削法に比べ表面粗さが大きくなっている事がわかる。また、図 3.24(c)に示す A5052 の傾斜角 65° の場合においても、本研究による旋削法の傾向が見られたものの表面粗さは約 57%大きくなることがわかった。一方、図 3.24(a)に示す SUS303 においては、傾斜角 65° の場合は通常旋削と比べ表面粗さは非常に大きくなっているが、傾斜角 25° , 45° においては通常の旋削法よりも表面粗さが小さくなっており、傾斜角 25° において最大で約 110%の表面粗さの低減に成功した。このことから、工具と被削材の接触長さの増大が表面粗さに非常に悪影響を及ぼしていることがわかる。



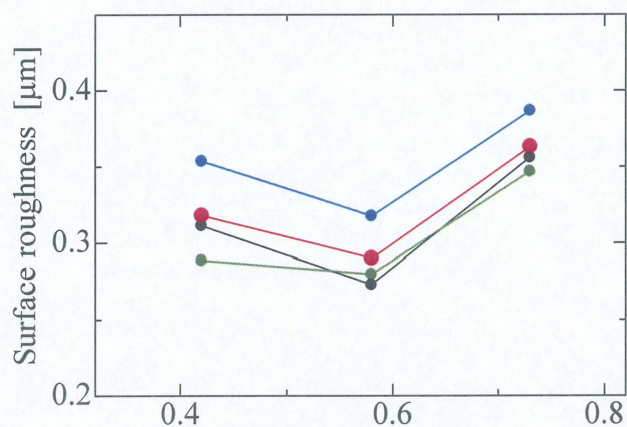
(a) $d=0.10$, $i=25$



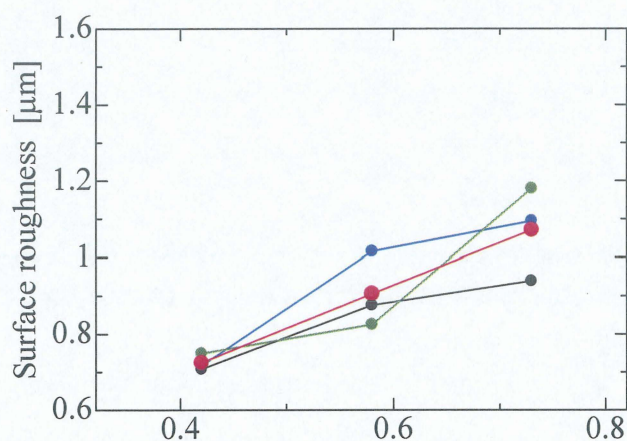
(b) $d=0.20$, $i=25$



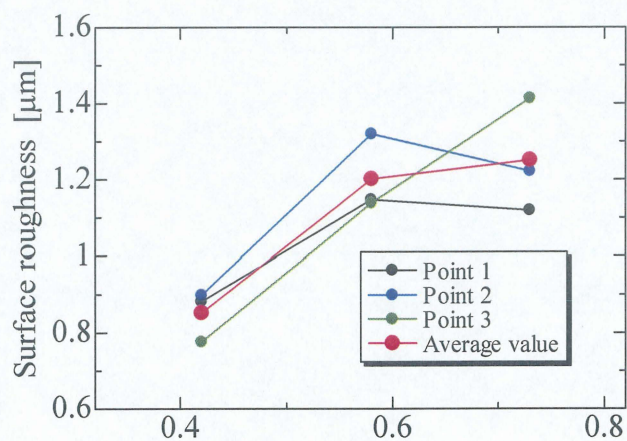
(c) $d=0.10$, $i=45$



(d) $d=0.20$, $i=45$

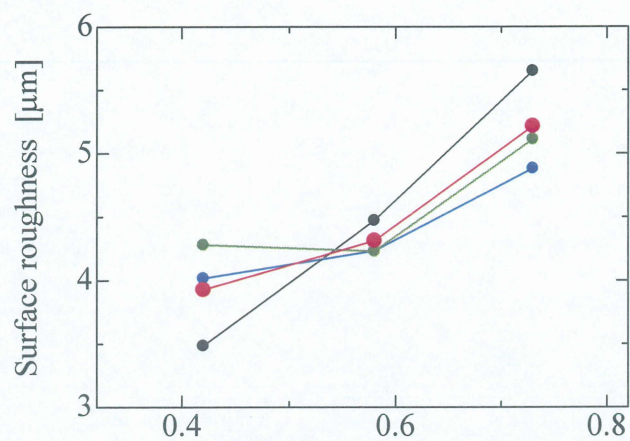


(e) $d=0.10$, $i=65$

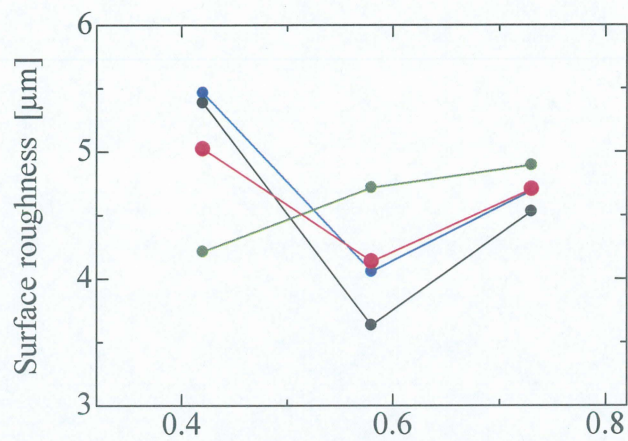


(f) $d=0.20$, $i=65$

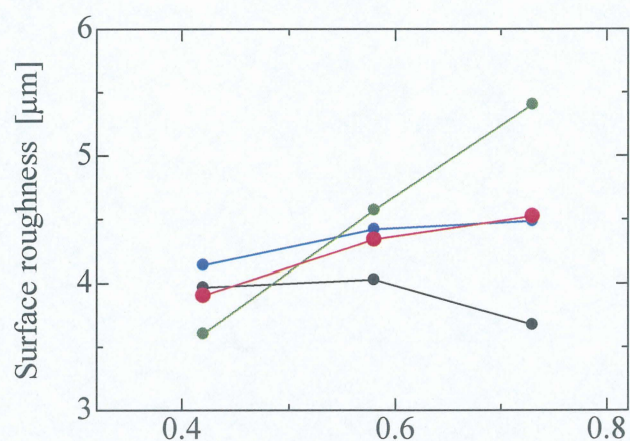
Fig.3.21 Surface roughness in each cutting condition of SUS303



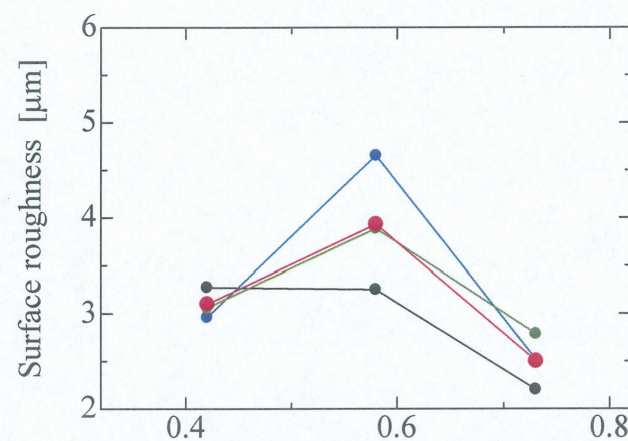
(a) $d = 0.10$, $i = 25$



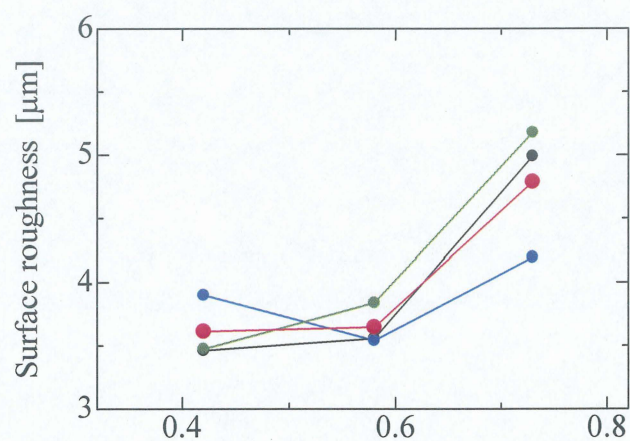
(b) $d = 0.20$, $i = 25$



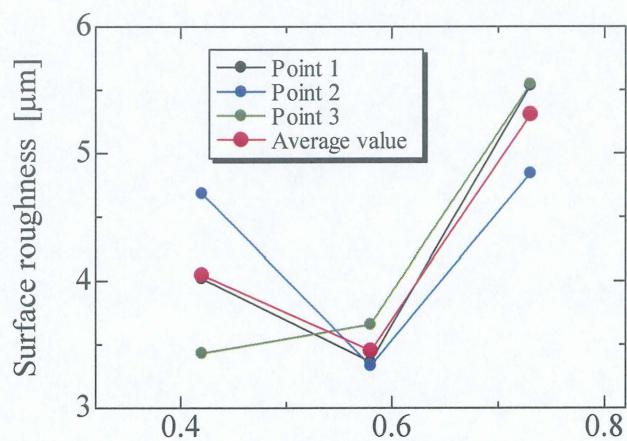
(c) $d = 0.10$, $i = 45$



(d) $d = 0.20$, $i = 45$



(e) $d = 0.10$, $i = 65$



(f) $d = 0.20$, $i = 65$

Fig.3.22 Surface roughness in each cutting condition of S50C

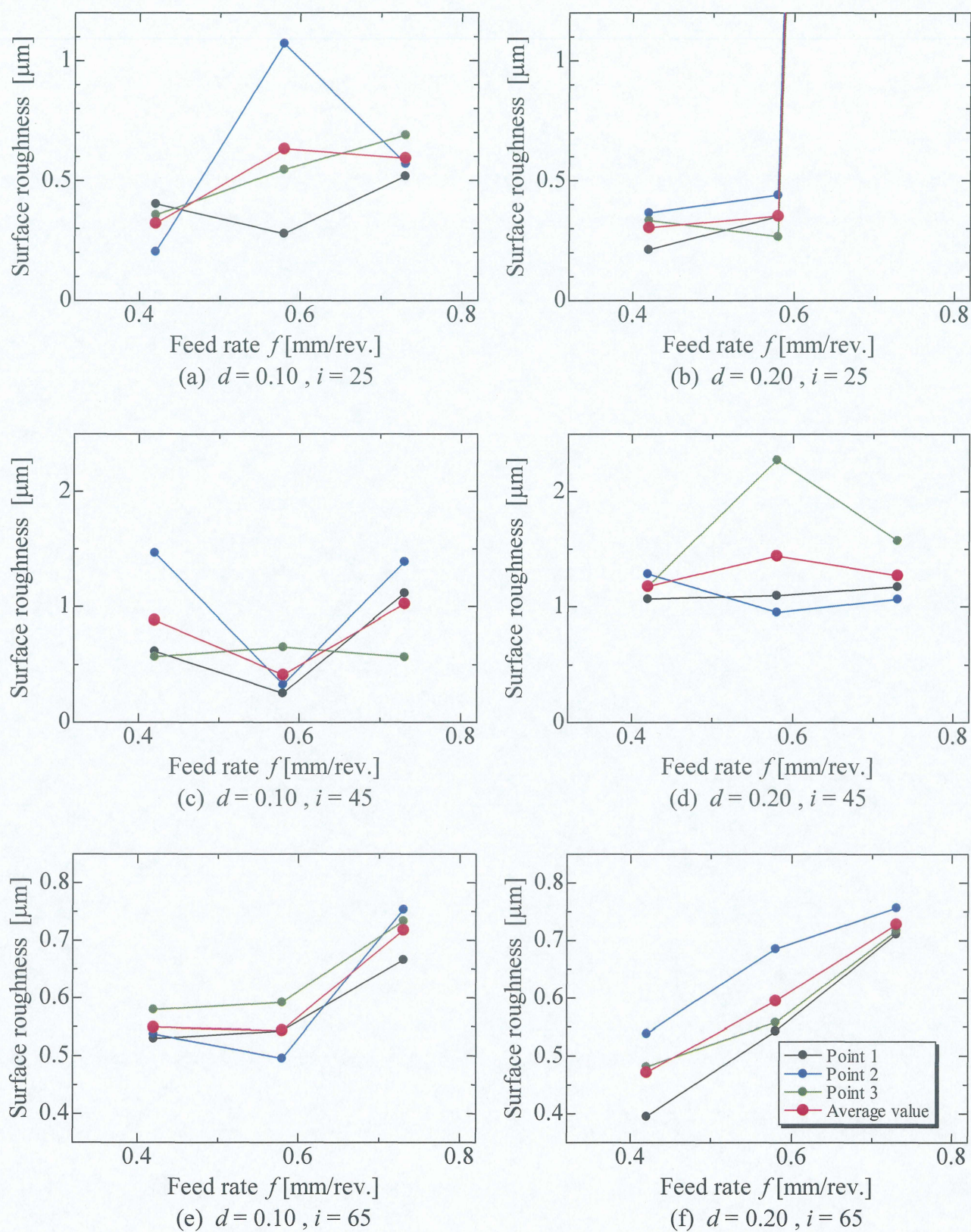
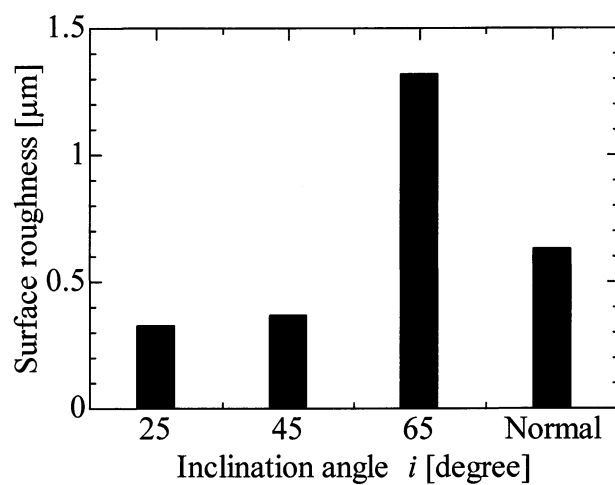
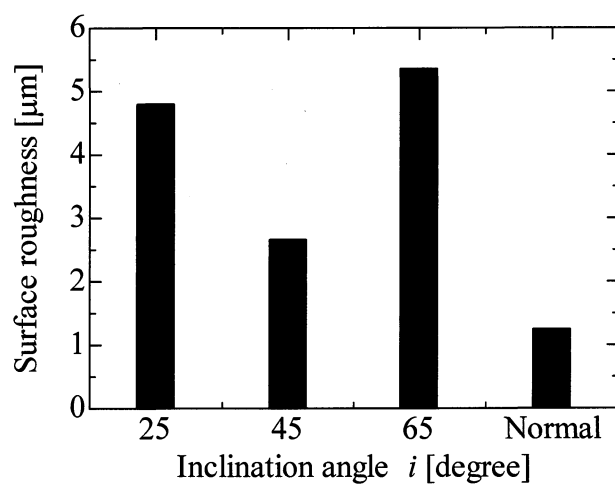


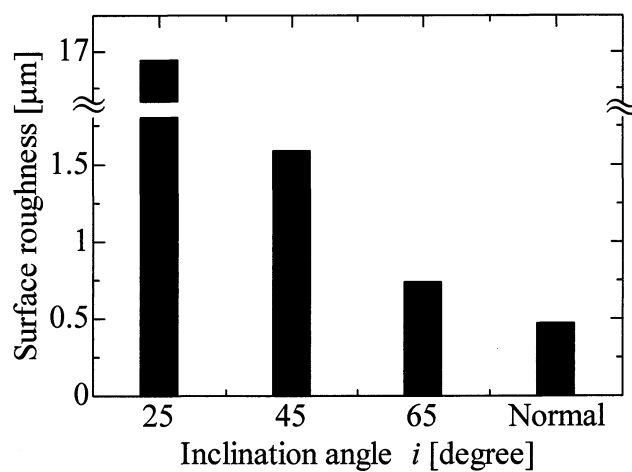
Fig.3.23 Surface roughness in each cutting condition of A5052



(a) SUS303



(b) S50C



(c) A5052

Fig.3.24 Compare Oblique cutting with Normal cutting

3.2.3 バリ測定

本項では、本研究における旋削法を用い加工した際のバリの発生について検証する。なお、前項 3.2.1 及び 3.2.2 の結果から本研究による旋削法は傾斜角 25° 、 65° において顕著に傾向が表れることが確認できたため、本項の実験においては傾斜角 25° 、 65° の 2 種類を用いバリの測定を行った。

加工を行った際の、バリのサイズを表す実験結果を図 3.25(a)-(c)、図 3.26(a)-(c)及び図 3.27(a)-(c)に示す。縦軸にバリの大きさ、横軸に測定点からの距離を示しており、各送り量におけるバリのサイズの比較を行った。また、本研究における旋削法を行った際のバリのサイズと通常の旋削法を行った際のバリのサイズを比較した実験結果を図 3.28(a)-(c)に示す。これも前図と同様に縦軸にバリの大きさ、横軸に測定点からの距離をしめしている。また、通常旋削時の切削条件は前項 3.2.1 で用いたものと同条件を用いており、比較の際は同等の金属除去量を持つ切削条件を選び行った(表 3.2 参照)。

始めに SUS303 を示す図 3.25(a)-(c)を見ると、送り量の変化によるバリの大きさへの影響はほぼないことがわかる。一方各送り量内ではバリのサイズに多く変動が見られる。このことから、バリのサイズには送り量よりも切り込み量が大きく影響していることがわかる。また、全ての送り量において切り込み量 $d = 0.20\text{mm}$ 、傾斜角 $i = 65^\circ$ においてバリのサイズが最大に、切り込み量 $d = 0.10\text{ mm}$ 、傾斜角 $i = 25^\circ$ においてバリのサイズが最小になっていることがわかる。ここで、バリのサイズに大きく影響している因子を検討するため、切り込み量と傾斜角それぞれに着目し図 3.25(a)-(c)を検討する。図 3.25(a)においては切り込み量 $d = 0.10\text{ mm}$ 、傾斜角 $i = 65^\circ$ と切り込み量 $d = 0.20\text{ mm}$ 、傾斜角 $i = 25^\circ$ のバリのサイズがほぼ同じであるが、図 3.25(b), (c)において切り込み量 $d = 0.10\text{ mm}$ 、傾斜角 $i = 25^\circ$ のバリの大きさを基準とし、切り込み量 0.20 mm 、傾斜角 $i = 25^\circ$ のバリの大きさと切り込み量 $d = 0.10\text{ mm}$ 、傾斜角 $i = 65^\circ$ のバリの大きさを比較すると、どちらも切り込み量 $d = 0.10\text{ mm}$ 、傾斜角 $i = 65^\circ$ の条件下で加工を行った際に発生したバリのサイズの方が大きいことがわかる。このことから、バリのサイズには切り込み量よりも傾斜角が大きく関係している事がわかる。これにより第 2.3.3 項より、バリの発生に際し切り込み量がバリのサイズに大きく影響している事がわかっているが、さらに切り込み量の中でも総切り込み量よりも接触部における単位長さの切り込み量が最もバリのサイズに影響しているということが言える。そのため、傾斜角 25° 、 65° を比較した際、より接触長さが大きく、単位長さ当たり

の切り込み量の小さい傾斜角 25° においてバリのサイズを小さくすることができたと考えられる。次に図 3.26(a)-(c)に示す S50C についてみると、加工面観察、表面粗さ測定においては工具不良や切削条件が適していなかったため更なる検討が必要であったが、バリのサイズに関してはすべての送り量において SUS303 と同様の傾向が見られ、S50C においてもバリの抑制に成功した。最後に A5052 について述べる。図 3.27(a)-(c)をみると、SUS303、S50C のような傾向が見られず、切り込み量や傾斜角に関係なくバリが発生している様子が見えてくる。これは、前項 3.2.1 で述べたように A5052 の加工を行った際、溶着により非常に大きな構成刃先を確認している。今回の実験においてこのような結果になった要因としてこの構成刃先の影響が考えられ、構成刃先によりバリが剥がされたためにこのような不規則な実験結果になったと考えられる。また、図 3.26(b)の切り込み量 0.20 mm、傾斜角 65° においてはバリが発生した様子が見えなくなることができない。これは加工の際、被削材端部においてエッジ破損が起こったことにより被削材端部が欠けたためこのような形状になったと考えられる。しかし、切削油剤の調節など工具への溶着を低減することができれば A5052 においてもバリの低減が可能であると考えられる。

次に、本研究における切削法を用いた際のバリのサイズと通常の旋削法で加工を行った際のバリのサイズの比較を行う。図 3.28(a)-(c)をみると、全ての被削材において通常の旋削法に比べ本研究における旋削法によるバリのサイズが小さいことからバリの発生を抑制できていることがわかる。通常旋削時と傾斜角 25° 、 65° と比較して、SUS303 において約 52% と約 34%、S50C において約 83%と約 39%、A5052 においても約 46%と約 21%のバリの低減に成功した。

以上のことから、本研究における旋削法を用い加工を行うとバリの発生を抑制することができると言える。

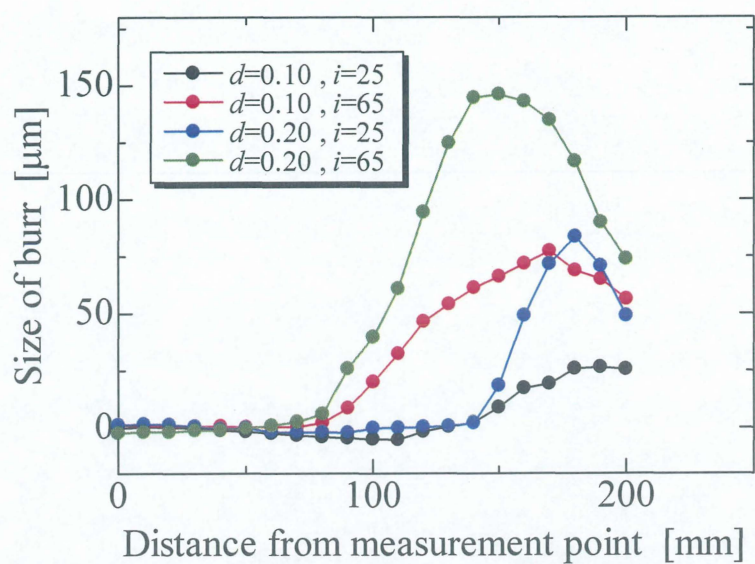
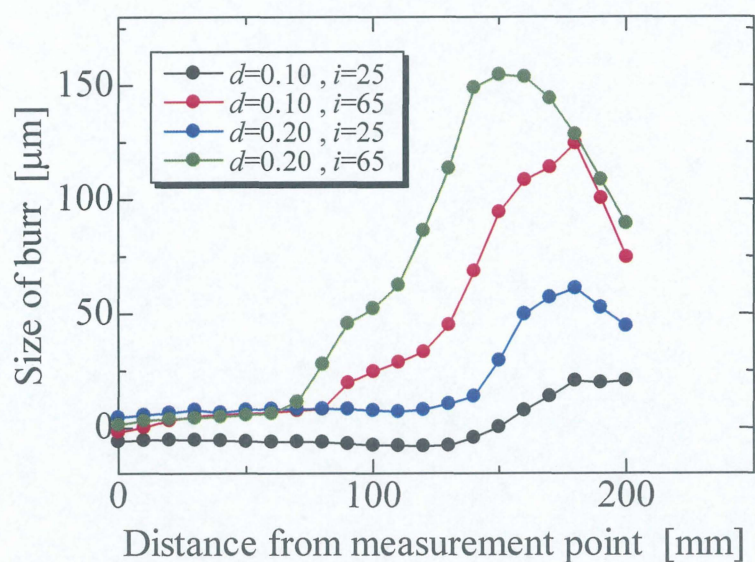
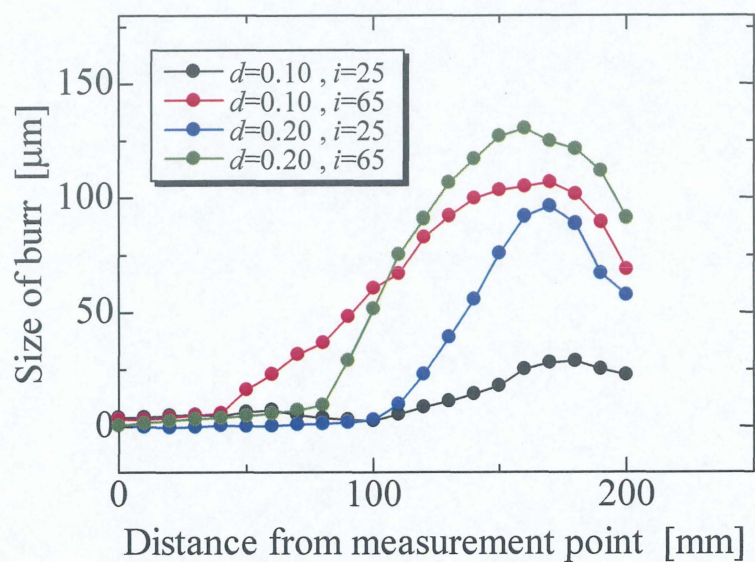
(a) Feed rate $f = 0.42$ (b) Feed rate $f = 0.58$ (c) Feed rate $f = 0.73$

Fig.3.25 Size of burr in each feed rate of SUS303

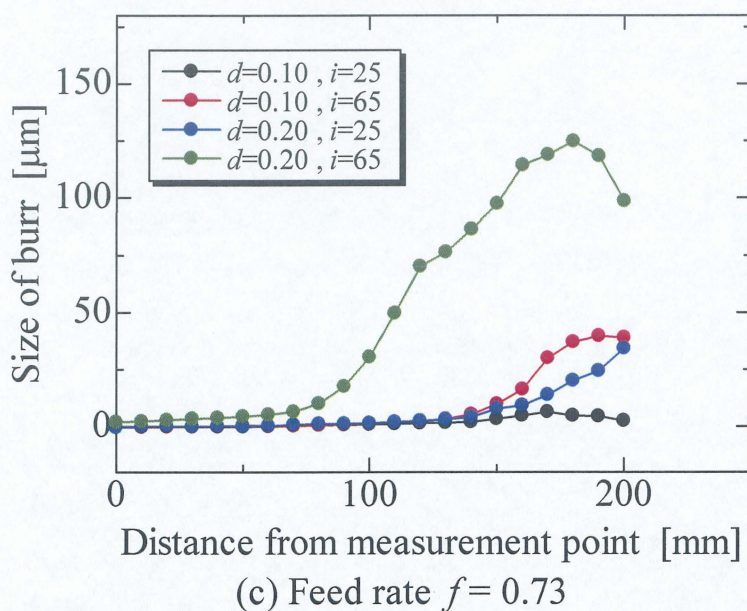
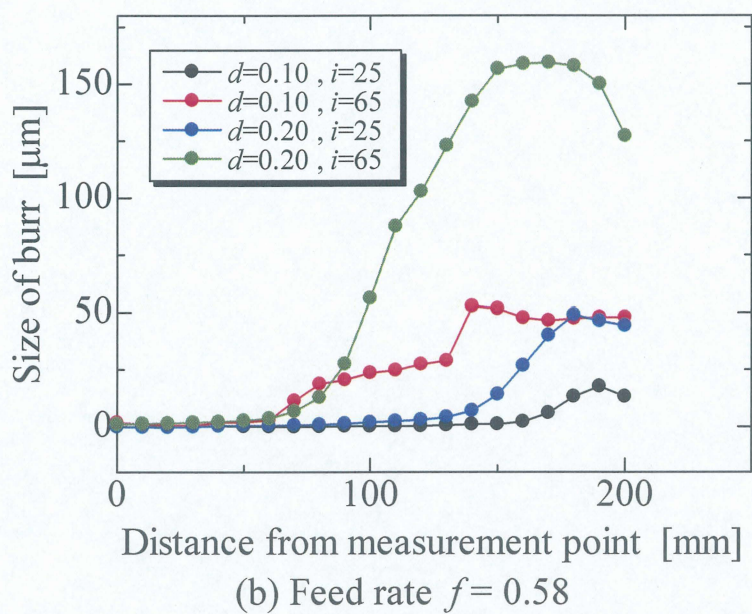
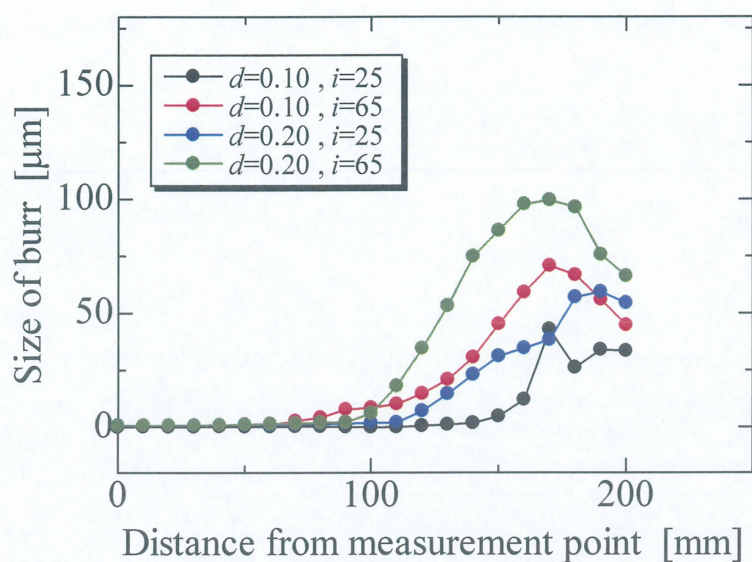


Fig.3.26 Size of burr in each feed rate of S50C

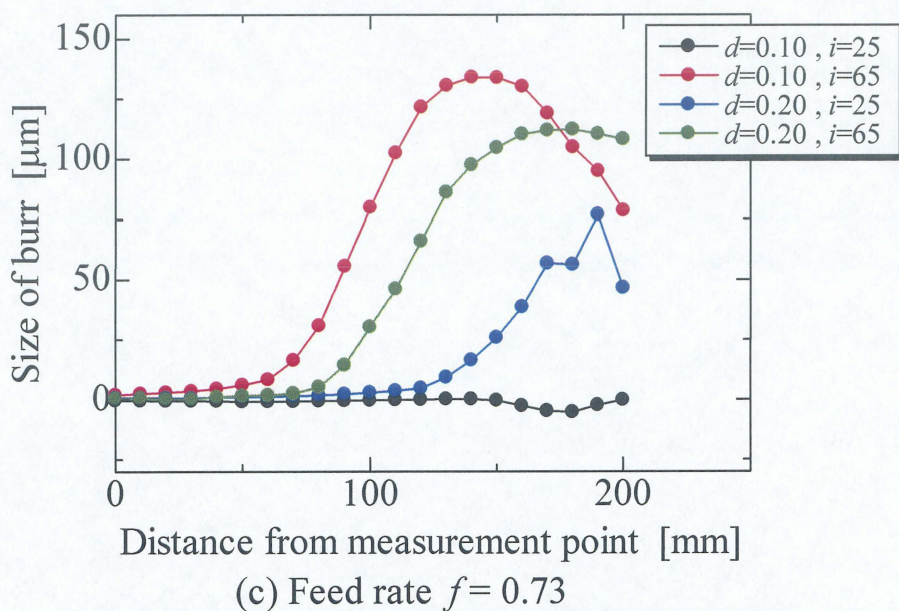
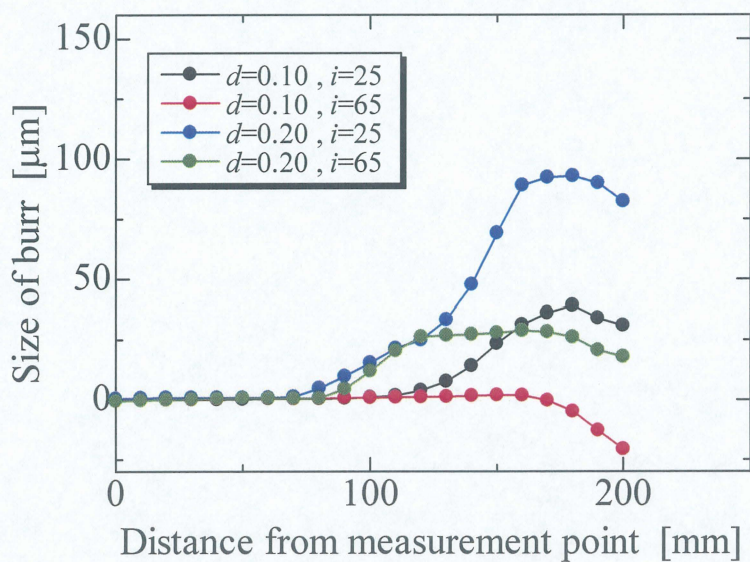
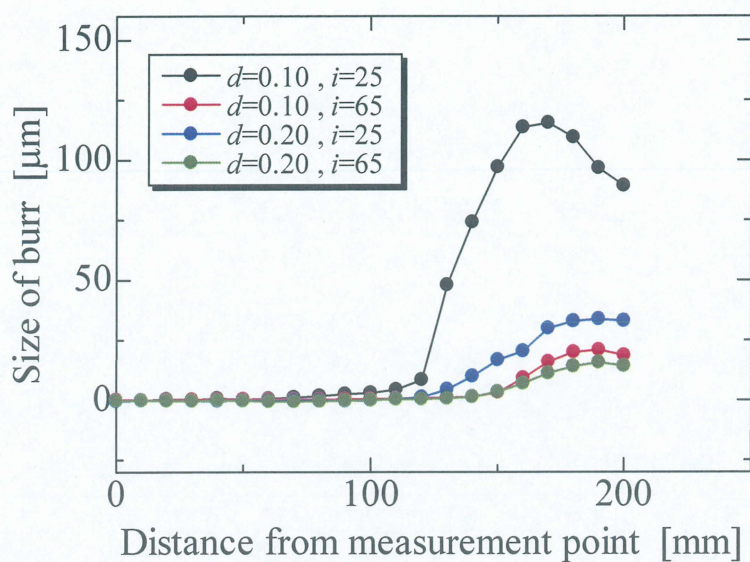
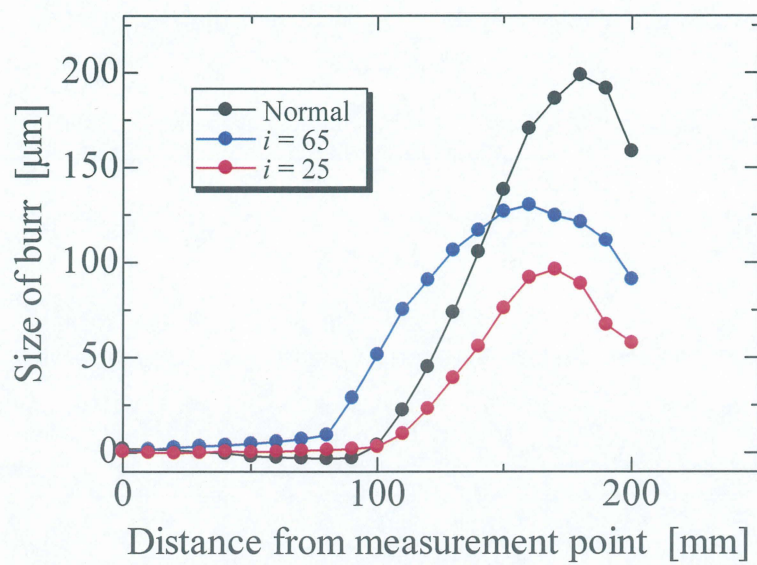
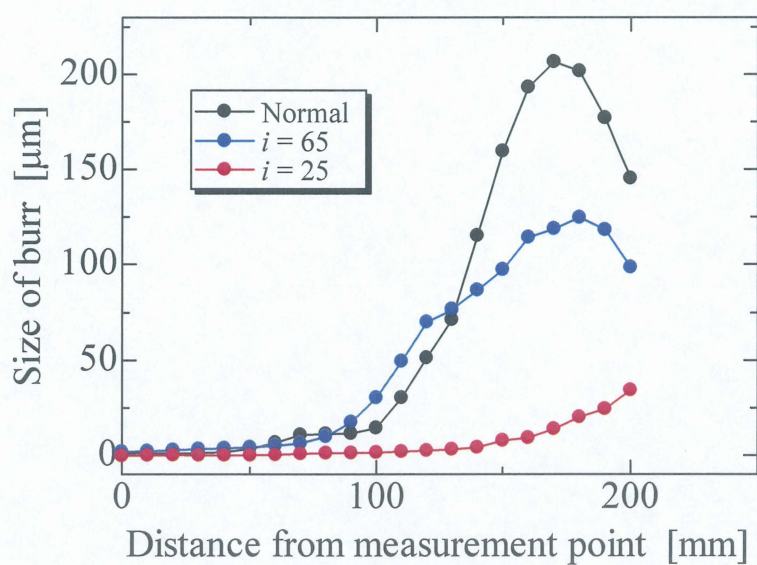


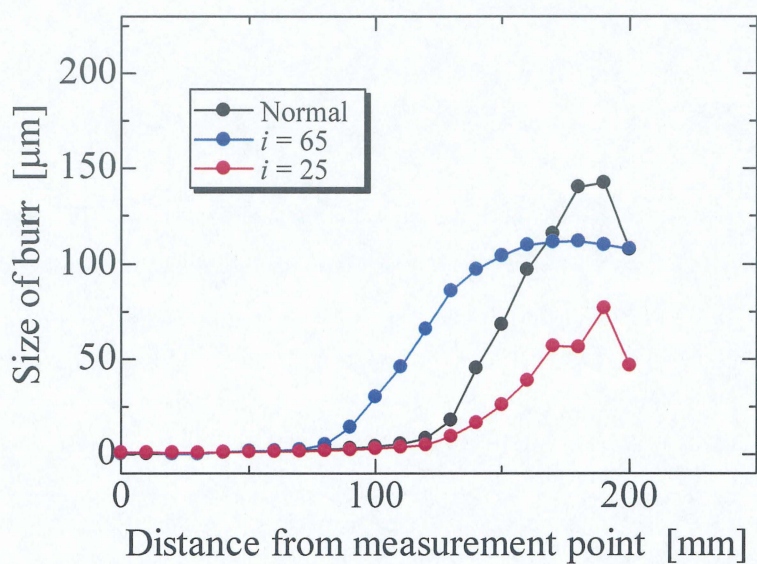
Fig.3.27 Size of burr in each feed rate of A5052



(a) SUS303



(b) S50C



(c) A5052

Fig.3.28 Compare Oblique cutting with Normal cutting

第4章 実切削を行った際の工具への影響

本研究における旋削法を用いた場合，第3章から通常の旋削法に比べ著しく工具と被削材との接触部が大きくなることにより，通常旋削に比べ切削抵抗や加工の際の摩擦熱などによる負荷が大きくなることがわかった．そこで本章では，工具逃げ面の工具摩耗を観察することに本研究における旋削法の工具への影響の検証を行う．

4.1 工具摩耗観察

4.1.1 実験条件

本研究における旋削法を用いた際の工具への影響を検証するため，前節3.1.1とほぼ同条件のもと傾斜切削機構を用い外周旋削加工を行う．ただし，前章より加工面観察，表面粗さ及びバリの抑制の実験から大きく特徴の出た SUS303 のみを用い実験を行い工具摩耗の傾向を検証する．また，傾斜角に関しても最小の $i = 25^\circ$ 及び最大の $i = 65^\circ$ のみを用い実験を行う．切り込み量は 0.20 mm，送り量は 0.42 mm/rev.とした．実験条件の詳細は表 4.1 に示す．

実験後は，マイクロスコープで工具の逃げ面の観察を行う．この実験結果より，本研究における旋削法を用い加工を行った際の工具への負荷を工具摩耗の傾向から検証する．

Table 4.1 Cutting condition with oblique cutting

Workpiece	SUS303
Cutting Speed [m/min]	45
Feed rate [mm/rev.]	0.42
Cutting depth [mm]	0.20
Inclination angle [degree]	25 , 65
Quantity of oil mist [ml/h]	1.7

4.1.2 実験装置

- ・ 旋盤

実験に用いた旋盤は、前章で用いたものと同じ大隈鐵工所製 LS 型実用高速旋盤 (ベッド上の振り 450 mm, 両センター間の最大距離 585 mm) である. (3.1.2 節, 図 3.4 参照)

- ・ マイクロスコープ

実験後の工具逃げ面の様子を観察するために用いたマイクロスコープは、図 4.1 に示す NIKON 株式会社製 MEASURESCOPE である.

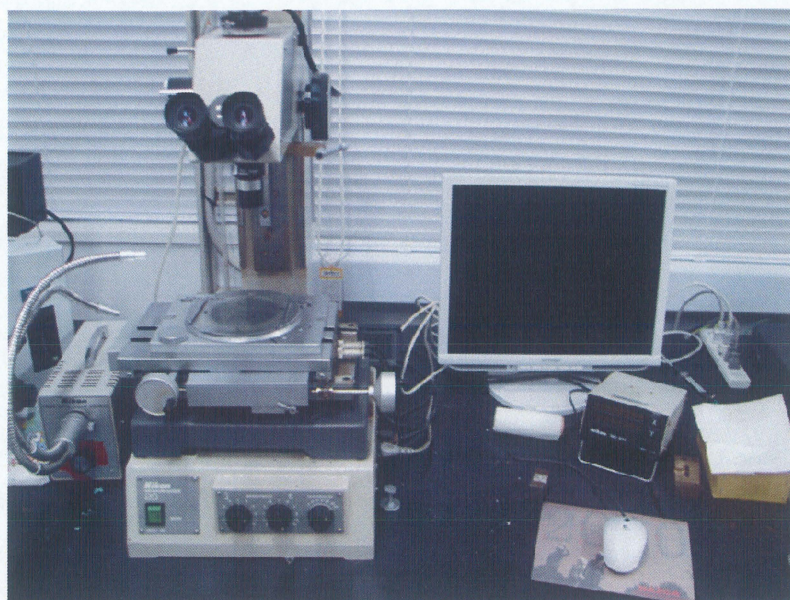


Fig.4.1 Micro scope

4.1.3 実験工具

実験に使用した工具は, 第3章と同じく三菱マテリアル株式会社製のチップ(TNGA160408 UTi20T 及び TNGA160408 HTi10)を住友電工ハードメタル株式会社製チップホルダー(DTFNR2525M16)に取り付けたものである. 図4.2に本実験で用いた実験条件である $i = 25$, 65° の傾斜角を持つように加工を施した工具を示す.



Fig.4.2 Photograph of oblique cutting tools

4.2 結果及び考察

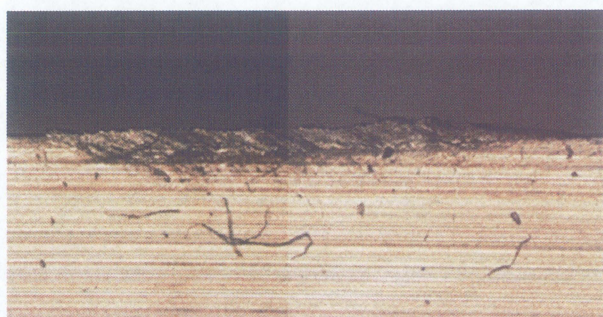
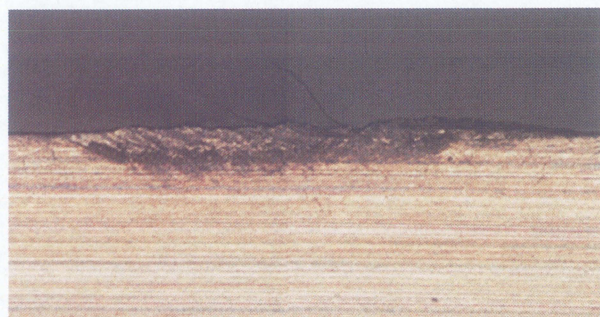
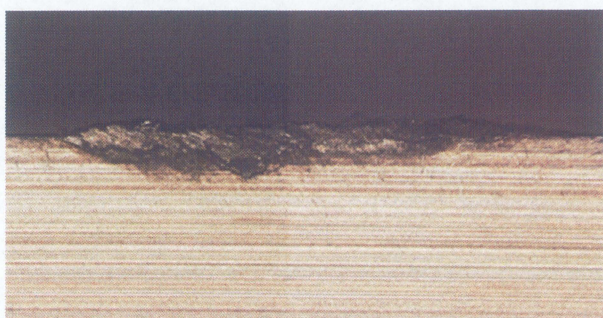
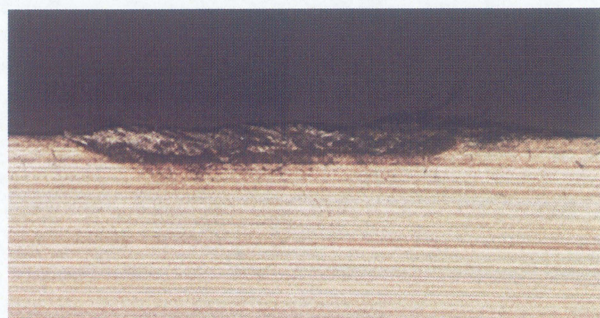
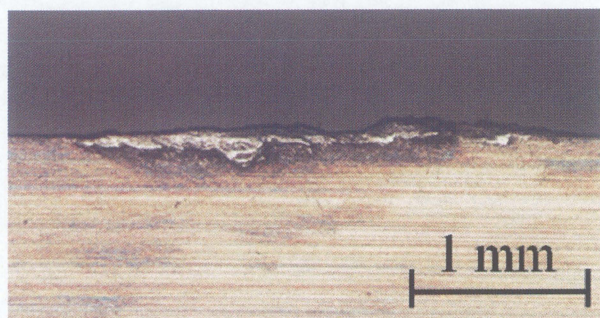
実験により旋削加工を行った後の工具逃げ面の工具摩耗の幅及び深さの結果を表 4.2 に、傾斜角 65° における切削距離の増加に伴う工具摩耗の進行の様子を示したものを図 4.3(a)-(f)に、また、本実験において最大の切削距離 51.12 m における傾斜角度の違いによる工具摩耗の変化の様子を示したものを図 4.4(a), (b)と図 4.5 に示す。表 4.2 を見ると傾斜角 25° , 65° 共に幅方向の摩耗は終始ほぼ一定であることがわかる。このことから本研究における旋削法を用い加工を行うと工具と被削材の接触長さが大きくなっていることが確認でき、横切れ刃角が増大したと言える。また、傾斜角 $i=25^\circ$ と $i=65^\circ$ を比較すると摩耗幅が 2 倍以上となっており、傾斜角 25° においては特に接触長さが大きくなっている事がわかる。深さ方向の摩耗に着目すると、どちらも工具摩耗が緩やかに進んでいることがわかる。さらに傾斜角 25° においては、深さ方向の工具摩耗が非常に小さくなっていることがわかる。次に工具摩耗の進行過程を表した図 4.3 をみると、加工が始まって間もない切削距離約 3m においても、構成刃先や深さ方向の摩耗痕が確認できる。またこの工具摩耗は約 $0.09\mu\text{m}$ と開始直後から非常に大きくなることがわかる。しかし、その後は切削距離が増加しても目視で確認できるほどの著しい工具摩耗の進行は見られない。一方、工具における摩耗幅は先ほど述べた通り切削距離が増加してもほぼ変化している様子は確認できなかった。逃げ面における幅や深さ方向の工具摩耗の変化はほぼ確認されなかったが、図 4.4(e)に示す切削距離約 40m において逃げ面に被削材が溶着している様子が確認された。また図 4.4(f)に示す切削距離約 50m においてこの傾向が大きくなっていることがわかる。しかし、目視できる範囲では加工面に欠損などは確認しておらず、切削に大きな悪影響を及ぼした形跡は見られなかった。次に、傾斜角の違いによる工具摩耗の影響を検討する。傾斜角 25° を表す図 4.4(a), (b)を見ると、図 4.4(a)では摩耗痕は明確に確認することが困難ではあるが、非常に広範囲にわたり工具エッジ部において構成刃先が形成されていることがわかる。このことから、チップの広範囲を用い加工を行っている事がわかる。図 4.4(b)は図 4.4(a)を拡大したものである。ここからも傾斜角 25° においては深さ方向の工具摩耗の目視が困難であることがわかり、非常に深さ方向の逃げ面摩耗が小さいことがわかる。また傾斜角 65° を表す図 4.5 をみると、傾斜角 25° と比較して摩耗幅は非常に小さくなっているものの、深さ方向への工具摩耗は非常に大きくなっていることがわかる。

次に深さ方向の工具摩耗の傾向を見るため、逃げ面摩耗と切削距離の関係を表すグラフ

を図 4.6 示す。縦軸に深さ方向の工具摩耗，横軸に切削距離を示している。さらに，通常旋削時の工具摩耗との比較も行うため，柿本和美らが行った SUS303 の通常旋削時の逃げ面摩耗の実験結果¹¹⁾を用い本研究における旋削法での逃げ面摩耗と比較を行う。始めに傾斜角 65° を見ると，切削距離が約 10m に達するまでに工具摩耗が著しく進み，その後上昇率が急激に緩やかになっている様子がうかがえる。また切削距離 50m においても緩やかではあるが工具摩耗は進んでいることがわかる。一方，傾斜角 25° においては切削開始から切削距離が約 5m に達するまでは摩耗が進む様子がうかがえるが，その後はほぼ摩耗幅の増加が見られない。そのため，傾斜角 25° において摩耗は約 0.05mm になるものと考えられる。次に傾斜角 25° ， 65° と通常旋削時の工具摩耗の比較を行う。始めに傾斜角 65° と通常旋削時を比較すると，通常旋削時に比べ非常に工具摩耗が大きく切削距離 50mm で約 300% 工具摩耗が進んでいる。また，傾斜角 25° においても切削距離 50m で約 100% の工具摩耗量の違いが見られた。これは，本研究における旋削法の特徴でもある工具と被削材の接触部が著しく大きくなるといった点が大きく関連していると考えられる。前章で，接触部の長さが大きくなるため接触部における単位長さ当たりの切り込み量を非常に小さくすることができるためバリの抑制が可能になったと述べたが，一方で接触部が著しく大きくなる事で加工の際に発生する摩擦熱が通常旋削に比べ非常に大きくなると考えられる。その結果，本研究における旋削法では被切削抵抗が非常に大きくなるため工具への負荷が大きくなったと考えられる。

Fig.4.2 Tool wear by change in cutting length

Length of cutting [m]	25°		65°	
	width [mm]	depth [mm]	width [mm]	depth [mm]
2.84	7.354	0.016	2.925	0.088
5.68	7.370	0.026	2.935	0.116
8.52	7.358	0.034	2.866	0.132
11.36	7.361	0.040	2.870	0.160
19.88	7.354	0.042	2.892	0.175
31.24	7.376	0.048	2.933	0.193
39.76	7.374	0.050	2.912	0.195
51.12	7.368	0.051	2.925	0.205

(a) $l = 2.84$ (b) $l = 11.36$ (c) $l = 19.88$ (d) $l = 31.24$ (e) $l = 39.76$ (f) $l = 51.12$ Fig.4.3 Examine of tool wear for SUS303 in inclination angle $i = 65$



(a) tool wear



(b) Magnified Fig.4.4(a)

Fig.4.4 Examine of tool wear for SUS303 in inclination angle $i = 25$

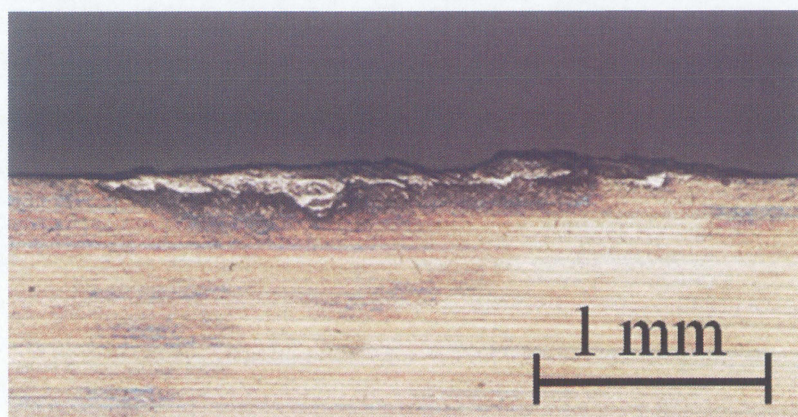


Fig.4.5 Examine of tool wear for SUS303 in inclination angle $i = 65$

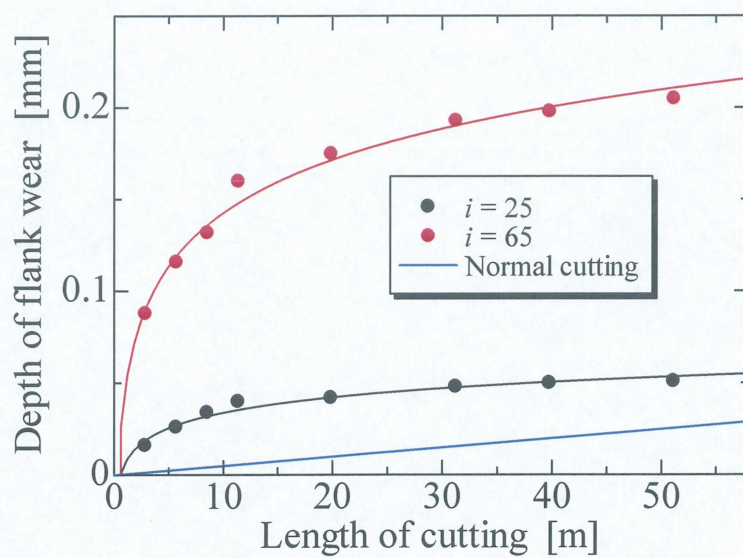


Fig.4.6 Compare with oblique cutting and normal cutting

第5章 結論

本研究では、切削加工において積極的に用いられることのなかったチップの直線エッジ部を用いると共に、切削性の向上のため傾斜切削機構を取り入れた新たな旋削法の提案を行った。さらに、本研究における旋削法の有用性を検討するため、加工面観察、表面粗さ及びバリのサイズの測定から切削性を、工具摩耗の観察から本研究における旋削法の特徴を検証した。

以下に本研究により得られた知見を述べる。

- 1) 幾何学的解析及び実験結果から、横切れ刃角の増大が認められたことにより、高速の送り量における旋削加工が可能であると言える。
- 2) 表面粗さは、切削が良好に行われれば通常旋削に比べ十分に小さくすることができると考えられる。
- 3) バリのサイズは、全ての被削材において小さくすることに成功しており、本研究における手法を用いることでバリの抑制が可能であると考えられる。
- 4) 工具摩耗の観察から、切削直後から著しい工具摩耗が観察された。これは工具と被削材間の接触長さが増加したことにより、加工時に発生する摩擦熱が増大したことが原因であると考えられる。
- 5) 難削材とも言われるステンレス鋼 SUS303 において、表面粗さの向上及びバリの抑制に成功しており、十分な切削性を持つと考えられる。
- 6) 炭素鋼 S50C 及びアルミニウム合金 A5052 において、バリの抑制には成功したが表面粗さの向上は見られなかった。これは、工具不良や切削条件が適さなかったためであると考えられ、これらの最適化により切削は可能になると考えられる。

- 7) 傾斜角を小さくすることにより，単位長さあたりの切り込み量を非常に小さくすることができることから，大幅な表面粗さの向上やバリの抑制が考えられる．しかし，接触長さの著しい増大により摩擦熱の増加など切削に悪影響を及ぼすことがわかった．
- 8) 傾斜角を大きく取ること，傾斜角を小さく取った場合に比べ表面粗さの向上やバリ抑制の低減の程度は劣るが，加工の際の摩擦熱など切削に及ぼす影響が小さく安定して加工できることがわかった．

参考文献

- 1) 甲木 昭 : “極低濃度の硫黄系極圧添加剤が工具摩耗および仕上げ面粗さに及ぼす効果”, 日本機械学会論文集(C 編)60 巻 573 号, (1994), pp.323-328
- 2) 竹内 芳美, 高橋 一郎, 安斎 正博, 加藤 究 : “高速ミーリング用ボールエンドミルの創成とその切削特性”, 精密機械 69 11, (2003), pp.1584-1589
- 3) R.komanduri , M.Lee , L.M.Raff : “The significance of normal rake in oblique machining”, International Journal of machine Tools & Manufacture , 44, (2004), pp.1115-1124
- 4) 臼井 英治 : “現代切削理論”, 共立出版, (1990), p.127
- 5) 旋削工具各部の名称と刃先角度の役割
http://www.hitachi-tool.co.jp/e/technical/tec_info/c02.pdf
- 6) 松隈 博 : “平滑切削加工の改善に関する切れ刃傾斜角自在工具の開発”, 佐賀県工業技術センター 研究報告書, (2001)
- 7) Andrey Toropov , Sung-Lim Ko : “A model of burr formation in the feed direction in turning”, International Journal of Machine Tools & Manufacture , 46, (2006), pp.1913-1920
- 8) 奥田 孝一 : “切削加工におけるバリの生成メカニズムと抑制法”, Mechanical Engineering 12 Vol.58 No.13, (2010), pp22-25
- 9) Gwo-Lianq Chern : “Study on mechanisms of burr formation and edge breakout near the exit of orthogonal cutting”, Journal of Materials Processing Technology , 176, (2006), pp.152-157
- 10) 釜田 康裕, 帯川 利之, 浅野 有希, 中山 功介 : “MQL 仕上げ旋削加工におけるオイルミスト噴射方向が工具摩耗に与える影響”, 日本機械学会 第 6 回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, 520, (2006), pp219-220
- 11) Kazumi Kakimoto, Kazushige Kidena, Kazuo Nakama : “Effect of oxides on machinability and corrosion resistance of SUS304”, Sanyo Technical Report Vol.8 No.1, (2001)

謝辞

本研究を遂行するにあたり，終始懇切丁寧なる御指導を賜りました 牧 清二郎 教授に深く感謝いたします。また，論文作成にあたり御査読いただきました 牧 清二郎 教授，川上 博士 準教授，中西 栄徳 助教に深く感謝いたします。

さらに，実験を遂行するにあたり，多大なる御協力を頂きました中西 栄徳 助教，中川 浩希 技術専門職員をはじめ，集積加工システム研究室諸氏に厚く御礼申し上げます。

最後に，幾多の御協力を頂きながら，ここに御氏名を掲載できなかった方々に対し，その失礼を御詫びするとともに，謹んで御礼申し上げます。