

高圧クーラントが旋削加工の切りくず処理性に及ぼす影響

大森 茂俊* 加藤 隆弘* 前田 貴大** 上野 宏和***

Effect on Chip-breaking in Cutting to Supply High Pressure Coolant

Shigetoshi OHMORI, Takahiro KATO, Takahiro MAEDA, Hirokazu UENO

ABSTRACT

The coolants without the extreme pressure additive have to use it from an environmental problem now in production. Because this cannot cool effectively at cutting point, it is difficult for the high-speed cutting. Therefore the machining methods such as a cold-air jet cutting or the air-blow cutting are developed as a method to supply at cutting point effectively. There is the report that cutting performance improves because these machining methods improve cutting characteristics with supplied air of the high pressure.

In this study, I pay my attention to the high pressure coolant supply method that can supply coolant of the high pressure to the cutting point. It is a purpose that I clarify the influence that it gives to cutting performance from the viewpoint of chip-breaking. As a result, it was clarified that tool life improved by using the high pressure coolant supply method. It understood that this was because chip-breaking characteristics improved by reducing the curl radius of the chip by high pressure coolant supply.

KEY WORDS: High pressure coolant, Cutting performance, Chip-breaking

1. 緒 言

近年、人工衛星や航空機、人工関節などチタン合金の需要が年々拡大しており、これからも増加すると予想されている¹⁾。チタン合金などの熱伝導率の小さい金属は、切削加工をする際、熱が局所的に滞留し、切削温度が高くなりやすい²⁾。そのため、切削速度を上げることが難しいだけでなく、工具寿命が短くなり、生産性の非常に悪い材料であるといえる。

切削温度の上昇を抑えるためには、切削油剤を大量に供給して加工を行うことが重要である。しかし、切削点近傍は非常に高温高压なきわめて過酷な状態³⁾となっているため、極圧添加剤が必要不可欠であった。

ところが、2000年に改正された新JIS 2241では、環境意識の高まりにより不水溶性切削油剤N1種～N3種及び水溶性切削油剤A1種～A4種において、これまで主に極圧添加剤として使用されていた塩化パラフィンなどの塩素系極圧添加剤が使用できなくなり、極圧添加剤を使用しない油剤の開発がなされている。

そこで、高圧クーラントを用いた切削が注目されている。高圧クーラントでは図1に示すように切削油剤

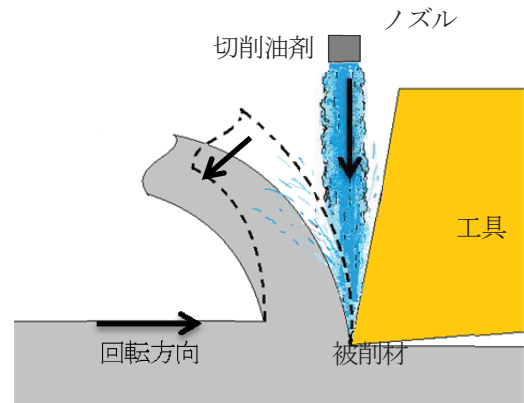


図1 高圧クーラントシステム模式図

が切りくずと刃物すくい面との間に入り込むため、極圧添加剤を用いない切削油剤でも切削点近傍において効果的な潤滑、冷却が可能であると考えられる。

本研究では、高圧クーラントを用いて切削を行い、工具寿命の向上に効果があるのかを検証するとともに、切りくずの処理性に効果があるのかを検証する。

2. 実験方法

2・1 実験装置

図2は本実験で用いたクーラントシステムの回路図を示している。油槽の切削油剤はホース先端に取り付けられたフィルターを通過し、ポンプによって加圧され、ホルダに取り付けられたノズルより切削点に供給される。また、ポンプはモーターによって動力を得ており、モーターは交流電源に接続されている。

切削は日立精機製のCNC旋盤NR-18を用いて行った。NR-18の主な性能を表1に示している。

また、切削油剤を加圧するためにトクピ製作所製の産業用ポンプA-1535, 15MPa-30Lポンプモーターセットを用いた。主な性能を表2に示す。

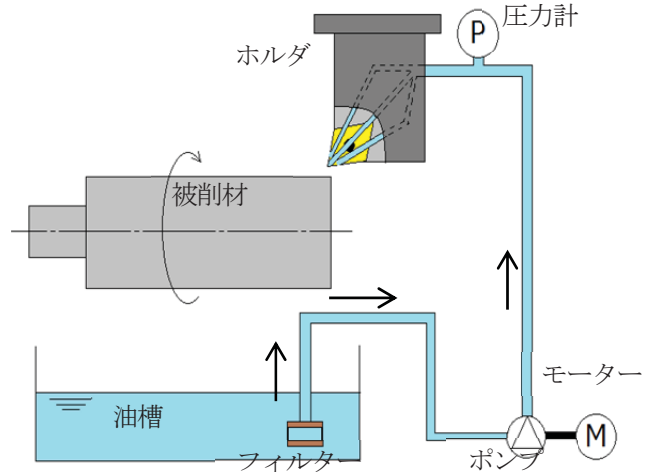


図2 クーラントシステム回路図

2・2 工具

チップには三菱マテリアル製の種超硬合金であるUTi20TのCNMA120408を用いた。このチップは、銅、ステンレス、鋳鉄の切削に用いることができ汎用性の高いチップである。コーティングは施されておらず、チップブレイカがないため、切りくずや摩耗の挙動が観察しやすい。

ホルダはSANDVIK製C4-PCLNR/L-27050-12HPを用いた。これは、高圧クーラント用ホルダである。図3はホルダの刃物近傍の写真である。刃物すくい面付近に取り付けられた3か所のノズルより、加圧された切削油剤を刃物先端に向けて噴出する。

切削油剤にはジュラロン株式会社のMLO731を水で200倍に希釈して用いた。極圧添加剤は含まれていない水溶性切削油剤であり、優れた冷却能力が期待できる。

2・3 被削材

本研究では被削材としてSUS304の中実丸棒を用いた。SUS304はオーステナイト系ステンレスであり、厨房機器から原子力発電所まで様々なところで用いられている。しかし、普通鋼と比較して熱膨張率が高いため熱による加工精度の低下を招きやすく、熱伝達率が低いため切削温度が上がりやすい。このため、切削点近傍まで切削油剤を供給できる高圧クーラントにより、切削点近傍での潤滑、冷却が期待できる。また、延性材料であるため、切りくずが長く伸びやすい。それに加えSUS304に代表されるオーステナイト系ステンレスは加工硬化率が大きいため、長く伸びた切りくずが工具や工作物に巻きつくと、工作物仕上げ面を傷つける危険性が高い。このため、切りくずの巻きつきの改善は生産性の向上へつながると考えられる。

表1 日立精機NR-18 主要諸元表

本体	最大振り	300mm
	チャック外形	165mm
	X軸移動量	160mm
	Y軸移動量	340mm
	主軸回転数	35~6000rpm
	送り速度	0.01~500.00mm/rev
	電動機	AC 5.5kW
NC装置	制御軸	X軸, Y軸
	同時制御軸数	2軸
	最少移動単位	0.001mm

表2 トクピ製作所A-1535 主要諸元表

流量	35.0 L/min
圧力	15MPa
所要動力	10.7 kW



図3 高圧クーラント刃先近傍の様子

2・4 工具寿命の判定方法

工具寿命の判定基準として一般的なものに以下のものがある⁴⁾。

- (1) 仕上げ面に光輝帯が生じたとき
- (2) 刃先の摩耗が一定値に達したとき
- (3) 仕上げ寸法の変化が一定値に達したとき
- (4) 切削抵抗が急増したとき

本研究では(2)のを工具寿命の判定基準とし、特に刃物の逃げ面の摩耗を工具の寿命判定の基準として用いた。逃げ面の摩耗幅は計測が比較的容易に行え、実際の生産現場でも用いられている。本研究でも、より実際の生産現場に環境を近づけるため逃げ面摩耗幅を採用した。また、工具の寿命と判断する逃げ面摩耗幅は0.3mmとした。これも、実際の生産現場で寿命の判断として用いられているため採用した。

クーラント圧力を変化させて表3の切削条件の下で切削を行い1分ごとの刃物逃げ面の進行の様子を測定顕微鏡を用いて計測した。

また、クーラント圧力の違いによる刃先の摩耗状態を比較するために表4の条件で切削を行った後、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて刃先の様子を観察した。

2・5 切りくずの測定

表3の条件で切削を行い、排出された切りくずの長さ、カール半径をノギスで計測した。なお dry とは切削液を用いない乾式切削のことを指し、クーラント圧力 0MPa とは高圧ポンプを用いない重力落下式の通常のクーラントのことを指している。また、表5の切削条件はステンレス鋼の仕上げ切削で用いられる切削条件であり、切り込み量や送り量が小さいこのような条件では切りくずが長くなりやすい。長さが短い切りくずは工作物やチャック、工具に絡まることなく、カール半径の小さい切りくずは、かさばらないため処理性の良い切りくずである。

3. 結果及び考察

3・1 工具寿命

図4はクーラント圧力が工具時寿命に及ぼす影響について示している。なお、破線は本実験で工具寿命の判定基準とした逃げ面摩耗幅 0.3mm となる線である。

工具寿命は主に切削速度、切削温度によって支配される。切削速度が大きく、切削温度が高くなるような切削条件では工具寿命は短くなる。通常、逃げ面摩耗はまず、初期摩耗と呼ばれる立ち上がり時期の急速な摩耗の進行を経て、定常摩耗と呼ばれる傾きが比較的緩やかで時間に比例して摩耗する時期になり、その後

表3 工具寿命の実験の切削条件

切削速度	200m/min
切り込み量	0.5,1.0,1.5mm
送り量	0.1,0.2,0.3mm/rev.
クーラント圧力	dry,0~15 MPa

表4 刃先の摩耗の実験の切削条件

切削速度	150m/min
切り込み量	1.0mm
送り量	0.3mm/rev.
クーラント圧力	dry,0~10 MPa

表5 切りくずの測定実験の切削条件

切削速度	150m/min
切り込み量	1.0mm
送り量	0.3mm/rev.
クーラント圧力	0,10MPa
切削時間	5min

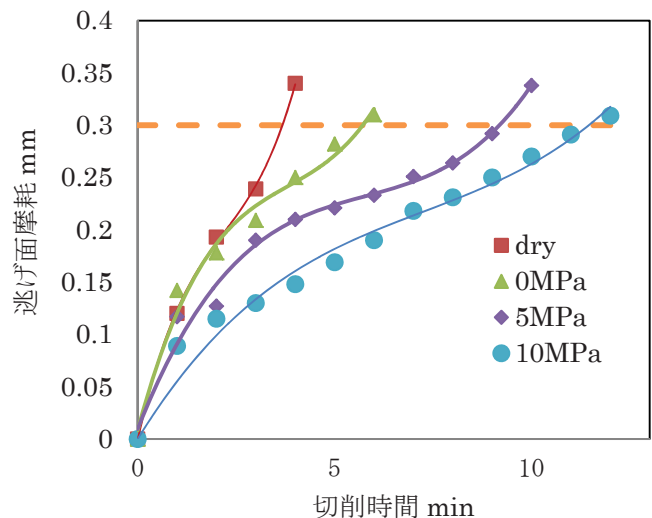


図4 高圧クーラントが工具寿命に及ぼす影響

再び急激に摩耗が進行する急激摩耗で寿命を迎える。クーラント圧力が dry, 0MPa, 5MPa ではそれら3つの時期を確認することができたが、10MPa では初期摩耗と定常摩耗しか確認できなかった。クーラント圧力が 10MPa の場合は、定常摩耗の時期に本実験の工具寿命の判定基準である、逃げ面摩耗 0.3mm を迎えたため、さらに切削を続けると急激摩耗が現れると推測できる。クーラント圧力を上げるにしたがって図4の近似曲線の傾きは緩やかになり工具寿命が向上している

のがわかる。高压クーラントを用いたことによって刃先まで効率的な冷却が行え、切削温度の上昇を抑制できたため工具寿命が向上したと考えられる。また、本研究で用いた高压クーラントは、刃物すくい面より切削油剤を供給するものであった。本実験ではその高压クーラントを用いることによって、逃げ面摩擦を抑制できた。このことより、切削油剤はクーラント圧力を上げることによって浸透し、刃物逃げ面まで到達していたと考えられる。刃物逃げ面に到達した切削油剤は、刃先を冷却するとともに、潤滑作用によって摩擦を低減、切削温度の上昇を抑制できたため、逃げ面摩擦を抑制できたと考えられる。

以上の結果より、高压クーラントを用いることによって工具寿命が向上することが確認できた。また、極圧添加剤を用いない切削油剤でも、高压クーラントを用いることによって刃先まで切削油剤を供給でき、効率的な冷却、潤滑ができていた。

3・2 工具摩耗

図 6 はクーラント圧力が工具摩耗に及ぼす影響を SEM を用いてすくい面側から観察したものを示している。観察方向は図 5 の方向 A からである。

まず、図 6(a)は図 6(b)よりもすくい面摩耗の面積が広いことがわかる。すくい面摩耗は、工具材料と被削材料との化学反応によって発生する⁵⁾。すくい面は切りくずとの摩擦によって非常に高温になるため、工具材料と被削材料との化学反応が進行しやすくなり、すくい面摩耗が進行しやすくなる。クーラント圧力が 0MPa の場合、すくい面と接触している切りくずに阻害され刃物すくい面を効率的に冷却することができない。しかし、高压クーラントを用いることによって、切削油剤は切りくずとすくい面の間に入り込み効率的な冷却が行える。それに加え、高压クーラントのくさびのような効果によって切りくずと刃物すくい面との接触を低減することができる。これによって、摩擦による熱の発生を低下し、すくい面の温度上昇を抑制できたために、刃物すくい面摩耗を抑制できたと考えられる。また、それぞれのすくい面摩耗の右側を比較すると、図 6(a)では酸化物の付着や接触痕がみられるが図 6(b)にはそれらはほとんどみられず、滑らかな面を保っている。これも、高压クーラントによる切削油剤のくさびのような効果が働いたためだと考えられる。

図 7 はクーラント圧力が工具摩耗に与える影響を SEM を用いて逃げ面側から観察したものを示している。観察方向は図 5 の方向 B からである。

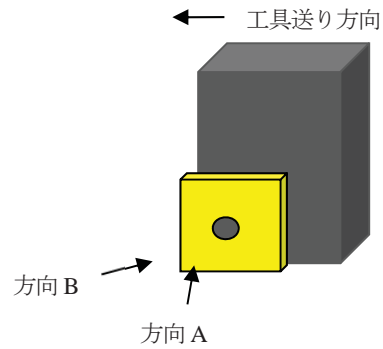
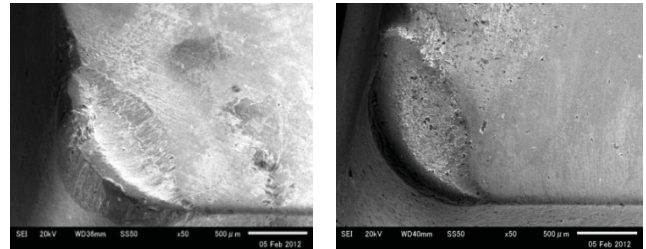


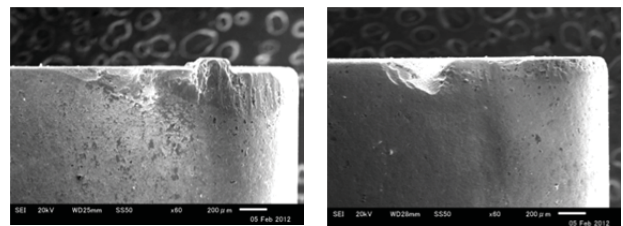
図 5 工具摩耗観察方向



(a)0MPa

(b)10MPa

図 6 クーラント圧力が工具摩耗に与える影響(方向 A)



(a)0MPa

(b)10MPa

図 7 クーラント圧力が工具摩耗に与える影響(方向 B)

まず、図 7(a)には溶着がみられるが図 7(b)には溶着は見られない。溶着は工具材料と被削材料との親和性と切削点での高温高压によって発生する。そのため、十分な冷却、潤滑を行うことによって予防できる。図 7(b)は高压クーラントを用いることによって、刃先まで十分な冷却、潤滑が行えたために溶着が発生しなかったと考えられる。また、図 7(a)の逃げ面には酸化や接触痕のようなものがみられる。このことより、刃先や逃げ面まで切削油剤が到達していないことがわかる。図 11(b)は境界摩耗のようなものがみられるが刃先に溶着はない。また、逃げ面は滑らかで接触痕のようなものは見られない。

以上の結果より、切削油剤の高压供給により、逃げ面に到達した切削油剤が、刃先だけでなく逃げ面まで冷却、潤滑が行っていたことが分かった。

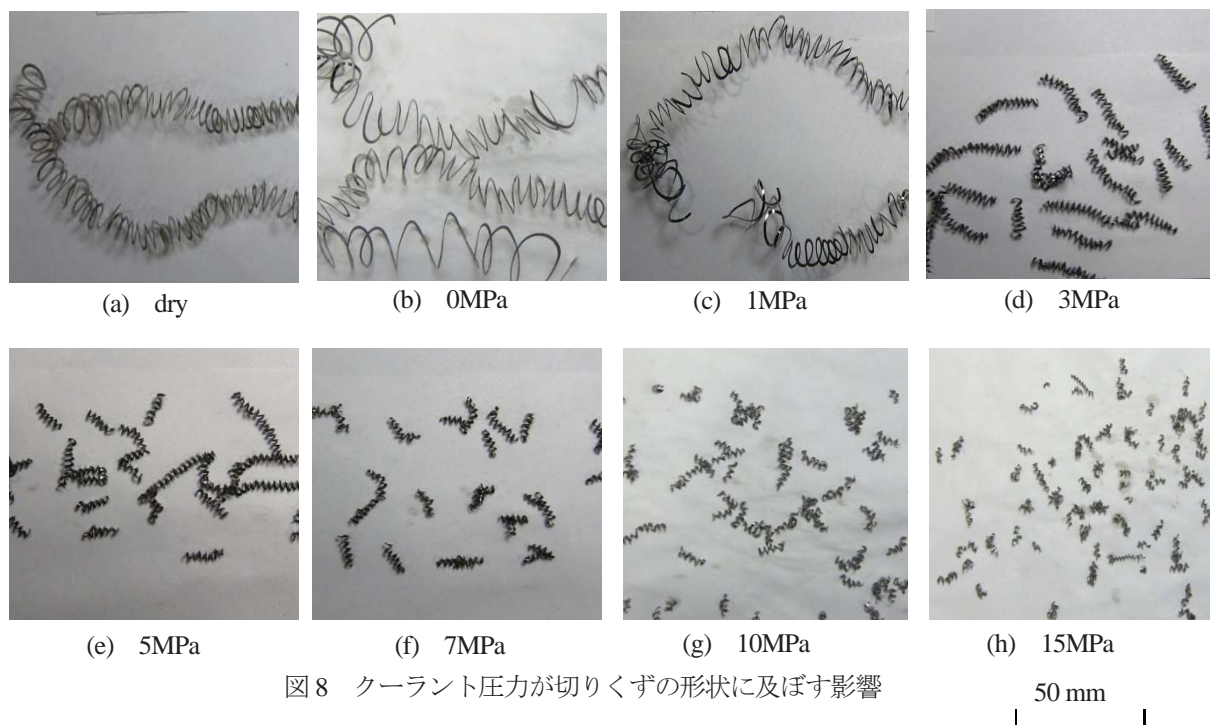


図8 クーラント圧力が切りくずの形状に及ぼす影響

3・3 切りくずの形状と切りくずの長さ

図8はクーラント圧力が切りくずの形状に及ぼす影響について示している。なお、切削条件は送り量0.2mm/rev., 切り込み量1.0mmである。切りくずの形状や長さが適切でない場合、工具や工作物に巻きついたり、チップコンベアを用いての処理ができないため、切りくずの処理性が悪いといえ、仕上げ面を傷付けたり、工具破損を招くこともある。

まず図8(a)では切りくずが薄い金色に変色している。これは十分な冷却が行われていないため、切りくずの温度が上昇し酸化したためであると考えられる。また図8(a), (b), (c)のクーラント圧力が1MPa以下と比較的小さい場合、切りくずが途中で分断されず長くひとつながりになっていることがわかる。これらは、工具や工作物に絡まったり巻きついたりする危険性が高く、カール半径が大きい場合、かさばる切りくずである。しかし、クーラント圧力を上げた図8(d), (e)では切りくずのカール半径が小さく、細かく分断されていることがわかる。これは工具や工作物に巻きつくことがない。さらにクーラント圧力を上げたものが図8(g), (h)である。切りくずのカール半径や長さはさらに小さくなっており、かさばらない切りくずである。しかし、切りくずは非常に小さいため高圧クーラントによってCNC旋盤内の様々なところまで飛散する。このため切りくずの掃除に時間がかかるなど、逆に処理性が悪化する可能性がある。

図9はクーラント圧力が切りくず長さを与える影響を示したものである。なお、切削条件は送り量

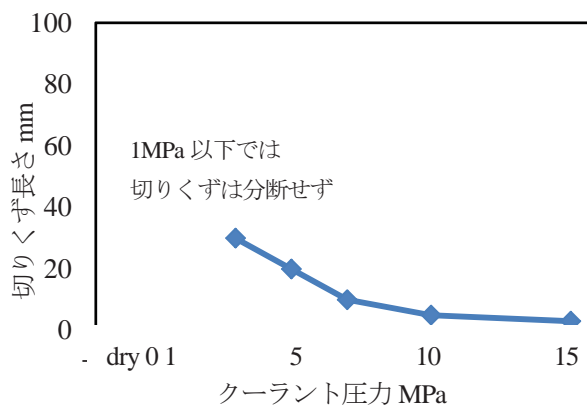


図9 クーラント圧力が切りくず長さを与える影響

0.2mm/rev., 切り込み量1.0mmである。

まず、クーラント圧力の小さい1MPaまででは、切りくずは途中で分断されることなく長くつながったものになった。クーラント圧力を上げて3MPa以上にすると切りくずは途中で分断されて、絡まる危険性のない短いものとなった。クーラント圧力が7~10MPa程度になるまで切りくずの長さは変化するがクーラント圧力を10MPa以上に上げると変化量は小さくなりほとんど収束した。

以上のことより、クーラント圧力を大きくすれば、切りくずを小さくできるが、クーラント圧力を高くしすぎると切りくずが小さくなりすぎるため、切りくずの処理性が悪化する。そのため、クーラント圧力は5~7MPa程度が最適であるということがわかった。

3・4 送り量の切りくずカール半径への影響

図 10 はクーラント圧力がカール半径に及ぼす影響を示している。クーラント圧力を上げると切りくずのカール半径が小さくなるという傾向がみられ、クーラント圧力が 1~5MPa にかけてが変化量が最も大きい。これは、クーラント圧力 3MPa のとき切りくずとすくい面との間に切削油剤が入り込み、切りくずは持ち上げられカール半径も小さくなったと考えられる。クーラント圧力が高くなるに従ってとその働きも強くなりカール半径が小さくなると考えられる。

クーラント圧力が 7MPa 以上にするとカール半径はほとんど変化しなくなることがわかる。カール半径が小さくなるにしたがって、それに必要な力は大きくなるためだと考えられる。切りくずのカール半径が小さくなる前に分断されたと考えられる。また、クーラント圧力が 3MPa 未満では送り量 0.3mm/rev.のときのカール半径が最も小さく、クーラント圧力が 3MPa 以上では送り量 0.1mm/rev.のときのカール半径が最も小さい。通常、切りくずはその流出速度が厚さ方向に勾配を持つためカールする⁶⁾。そのため、送り量が最も大きく、切りくずが最も厚くなる 0.3mm/rev.のときのカール半径が最も小さくなったと考えられる。そしてクーラント圧力を上げるにしたがって、クーラント圧力の影響が大きくなり、送り量 0.1mm/rev.の場合が切りくずの断面積が最も小さくなるため、最もカール半径が小さくなったと考えられる。

図 11 はクーラント圧力がカール半径に及ぼす影響を示したものである。切り込み量 0.5mm のときにカール半径が小さくなり、切り込み量 1.5mm のときにカール半径が大きくなっている。切り込み量が大きくなると切りくずのカール半径を小さくするのに必要な力は増加する。その反面、高压クーラントが当たる面積が増加するため相殺されたと考えられる。

以上の結果よりクーラント圧力を上げることによって切りくずのカール半径を小さくできることがわかった。また、その変化はどの切削条件においても 3~7MPa で最も変化が大きくそれ以上にクーラント圧力を上げても値はほとんど変化しなくなり収束した。

4. 結言

本研究において以下のことがわかった。

- (1) 高压クーラント供給により工具寿命が向上することが確認できた。
- (2) 高压クーラントの使用は、切りくずの長さを短くし、カール半径を小さくする効果があることが分かった。

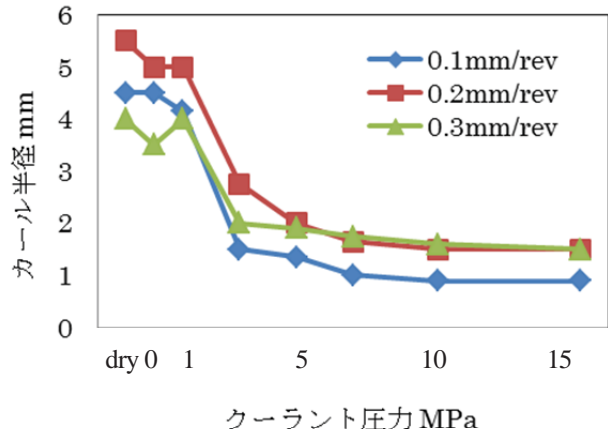


図 10 クーラント圧力と送り量がカール半径に及ぼす影響

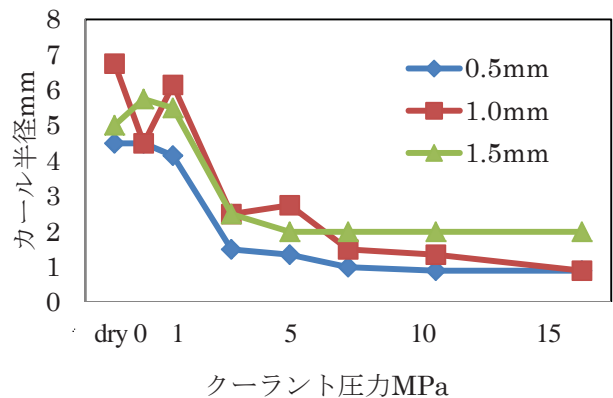


図 11 クーラント圧力と切り込み量がカール半径に及ぼす影響

参考文献

- 1) 経済産業省非鉄金属産業戦略, <http://www.meti.go.jp>, (2012.4.16 取得)
- 2) 新谷滋記, 機械と工具第52巻第4号, 工業調査会, (2008), pp50-52
- 3) 狩野勝吉, 切削加工のトラブルシューティング, 工業調査会, (1996), pp46-48
- 4) 平井三友・和田任弘, 機械工作法(増補), コロナ社, (2000), p85
- 5) 狩野勝吉, データでみる切削加工の最先端技術, 工業調査会, (1992), p513
- 6) 藤村善雄, 実用切削加工法, 共立出版社, (1980), p99