焼入れ鋼の深リブ加工技術の研究

宮口　孝司*　樋口　智*　須藤　貴裕**

A Study on the Deep Tapered Trench Milling on the Hardened Steel

MIYAGUCHI Takashi*,HIGUCHI Satoru* and SUTOU Takahiro

抄　録

N-MACH 加工を焼入れ鋼の深リブ加工に適用し、その切削特性を明らかにした。溝形状は、深さ 43 ㎜、溝底巾 2.5 ㎜、片側テーパー角 0.75°で、工具には先端径が φ3.0 ㎜および φ2.5 ㎜の２種類のテーパーエンドミルを用いた。等高線加工では、工具に著しいびびりが生じて切れ刃が破損し、切削が困難であった。往復加工では、びびりの発生もなく、正常に加工することができたが、工具先端径 φ2.5 ㎜のエンドミルによる加工では溝巾が最大で 0.5 ㎜大きくなるという課題が残った。

1. 緒　　言

小径エンドミルを用いた高硬度材の高回転高送りミーリング加工法（N-MACH 加工）は、金型を高能率・高精度に加工する有効な手段として、多くの研究が行なわれてきた。これまで、①主軸に用いている空気静圧軸受は、振動が小さく、高周波数領域での動的コンプライアンスが低いため、高回転領域での工具寿命が転がり軸受主軸より伸張すること[1)]、②特定の回転数で発生するびびりを回避し、低切込み高送りを行なうことで、L/D（工具の突き出し長さ L と工具直径 D の比）が 10 に達する加工が可能であること[2)]、③40 k Hz を超える測定帯域を有する動的切削力測定装置と 3 軸方向の動的切削力を直接測定することによって、高回転高送りミーリングの切削機構を明らかにし、工具剛性を最適化することによって工具寿命が伸張すること[3)]、等が明らかになった。さらに、軸受の磨耗が無く、特別な軸受潤滑の必要が無いため、軸受寿命が半永久的であることなど、既存の加工法に比べて有利な点が多く、熱間鍛造用金型等に実用化されている。

直彫り加工の適用範囲を広げる試みは、ダイキャスト金型等に展開されようとしているが、ダイキャスト金型の加工では、L/D が 10 を超える溝加工が必要になるため、適用された例が少なく、切削機構も明らかになっていない。

そこで、本研究では、ダイキャスト金型に N-MACH 加工を適用するため、典型的なモデルとして、深さ 43 ㎜、溝底巾 2.5 ㎜、片側テーパー角 0.75° のテーパー溝を、テーパーエンドミルによって加工し、切削特性を明らかにした。加工法には、等高線加工および往復加工の 2 種類を用いて、それぞれの加工特性について検討した。

2.　等高線加工実験

2.1　予備実験

2.1.1　予備実験方法

等高線加工に先立ち、送り速度 100、200、300、400 および 1000mm/min の 5 条件で直線加工を行い、工具刃先の振れおよび加工形状を目視にて確認した。

表 1 に予備実験加工条件を示す。

工具は TiAlN コーティングが施された超硬 2 枚刃ボールエンドミルを使用し、加工機は、最大主軸回転数 N が $5.0\times10^{4}\mathrm{min}^{-1}$ の空気静圧軸受主軸を搭載した CNC 立型フライス盤を使用した。

* 中越技術支援センター
**下越技術支援センター

表１　予備実験加工条件

被削材	SKD61（HRC40）
使用工具	日進工具 MRB230 R1×35
主軸回転数 min^{-1}	3.0×10^4
送り速度　mm/min	100-1000
軸方向切込(Ad)mm	0.1
冷却方法	Air

2.1.2　予備実験結果

図 1 および図 2 に被削材上の切削痕の写真を示す。図 1 では写真右側から送り速度 100、200、300、400mm/min の加工形状を表しており、図 2 では中央が送り速度 1000mm/min の加工形状を表している。

図に示したとおり、送り速度 100-300mm/min までは、加工開始点（溝上端部）で工具刃先の振れが少なく、直線的に加工できている。しかし、送り速度 400mm/min では加工開始点で刃先が若干振れており、送り速度 1000mm/min にいたっては刃先が大きく振れており、直線的に加工できていないことがわかる。

以上のことより、溝加工実験では送り速度を 300mm/min に設定することにした。

図１　被削材上の切削痕１

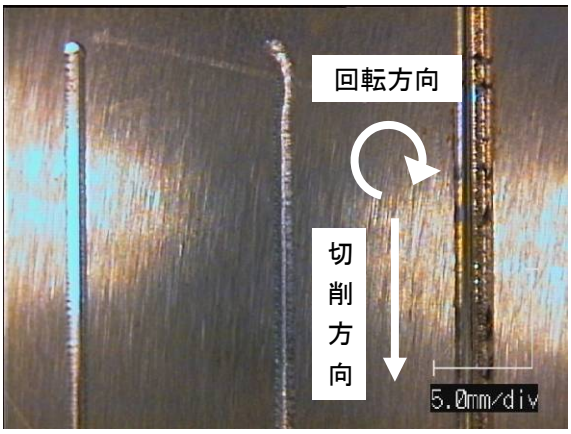

図２　被削材の切削痕２

2.2　溝加工実験

2.2.1　溝加工実験方法

長さ 60mm×幅 3.0mm×深さ 3.0mm の等高線加工を行った。

表 2 に溝加工実験条件を示す。

表２　溝加工実験条件

被削材	SKD61（HRC40）
使用工具	日進工具 MRB230 R1×35
主軸回転数　min^{-1}	3.0×10^4
送り速度　mm/min	300
1 刃当りの送り　mm/tooth	0.005
軸方向切込(ad)　mm	0.1
軸直角方向切込(Rd)mm	0.4
冷却方法	Air
切削方向	Down cut

2.2.2　溝加工実験結果

図 3 に溝加工後の工具刃先の写真を示す。

加工時には工具先端の大きな振れなどは確認できなかったが、図から刃先に欠損が生じていることがわかる。

また、加工後の溝寸法について、溝巾 3.0mm の設計値に対して、2.7-2.8mm の仕上りとなっており、十分な加工精度が得られていないことがわかった。

これは工具の剛性が低く、溝の立ち壁部を加工する際に、工具先端が大きく撓むことによる

ものと考えられる。

以上の結果から、この加工方法では、設計形状を精度良く加工することは不可能と思われ、他の加工方法を検討することとした。

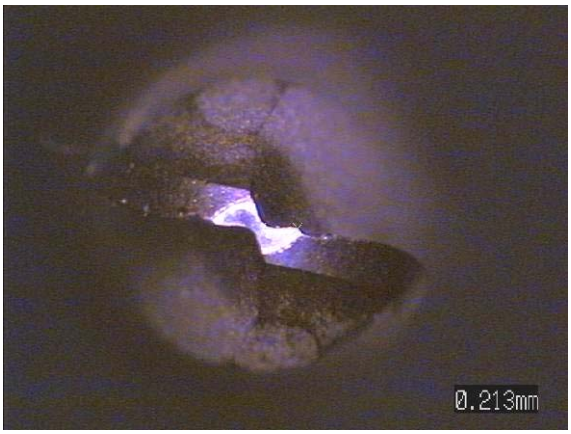

図３　加工後のエンドミル刃先

3.　往復加工実験

等高線加工による問題を解消するため、工具両側を拘束し撓みを生じさせないような切削方法（往復加工）を考案し、実験を行った。

3.1　予備実験

3.1.1　予備実験方法

目標とするテーパー溝形状と同じ角度をもったテーパーエンドミルを用い、図 4 に示すような往復加工を行った。

表 3 および表 4 に予備実験加工条件を示す。工具は TiAlN コーティングが施された超硬 4 枚刃テーパーエンドミルを、加工機は、最大主軸回転数 N が $3.0\times10^4 min^{-1}$ の空気静圧軸受主軸を搭載した CNC 立型フライス盤を使用した。

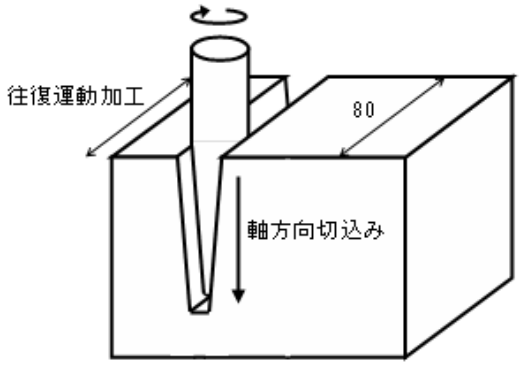

図４　予備実験概略図

表３　予備実験加工条件－Ⅰ

被削材	SKD61（HRC40）
使用工具	①日進工具 MRT425 3.0M×25×30’ ②日進工具 MRT425 2.5M×30×30’
主軸回転数　min^{-1}	3.0×10^4
切削送速度 mm/min	2000
軸方向切込(Ad)mm	0.01 および 0.02
冷却方法	Oil mist 田中ｲﾝﾎﾟｰﾄｸﾞﾙｰﾌﾟ ﾄﾞﾗｲｶｯﾄｼｽﾃﾑⅡ

表４　予備実験加工条件－Ⅱ

条　件	使用工具	切込量	突出長さ
条件−1	①	0.01mm	35mm
条件−2	①	0.02mm	35mm
条件−3	②	0.02mm	45mm

3.1.2　予備実験結果

条件-1 では加工途中（切削距離：113.2m）で火花が発生したため中止した。条件−2、条件−3 については良好な加工が行えた。

実験後の工具先端の状態を図 5～図 7 に示す。条件-1 では刃先に欠損がみられた。条件-2、条件-3 でも明らかな欠損はないものの若干の磨耗がみられた。

溝の立ち壁部の形状測定結果を図 8 に示す。ただし、工具①と工具②の測定結果を深さ方向において結合し表示してある。工具①では比較的誤差は少なかったものの、工具②では最大で 0.4mm 溝巾が広がっていた。

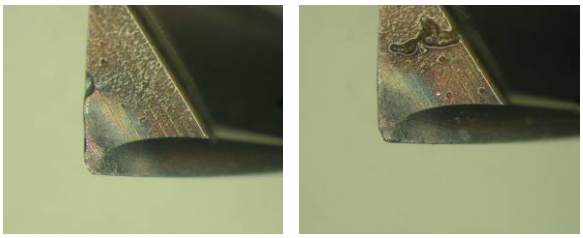

図５　切削後の工具先端（条件−1）

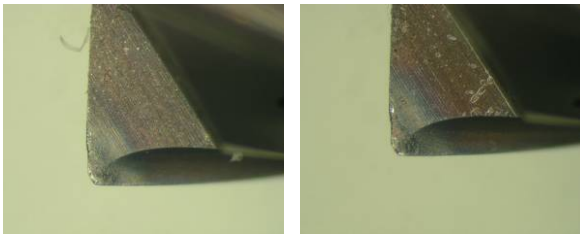

図６　切削後の工具先端（条件-2）

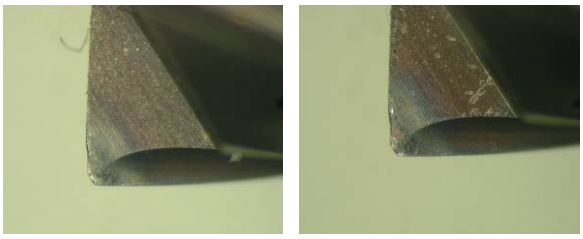

図７　切削後の工具先端（条件-3）

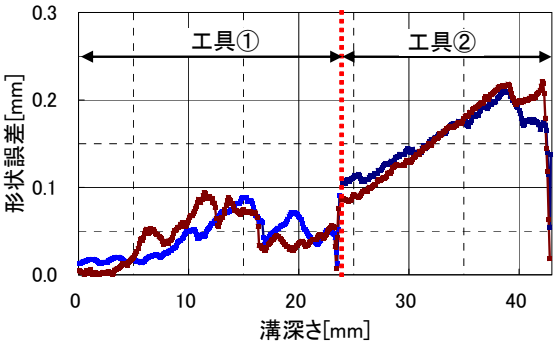

図８　形状誤差

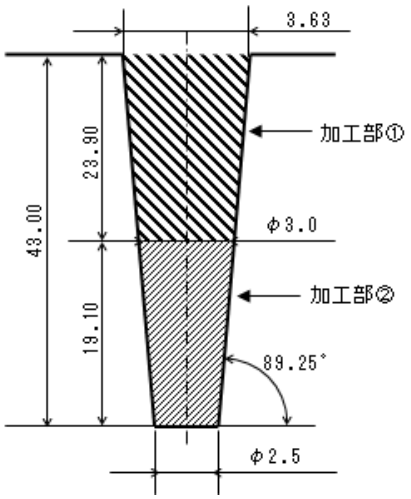

図９　溝断面概略図

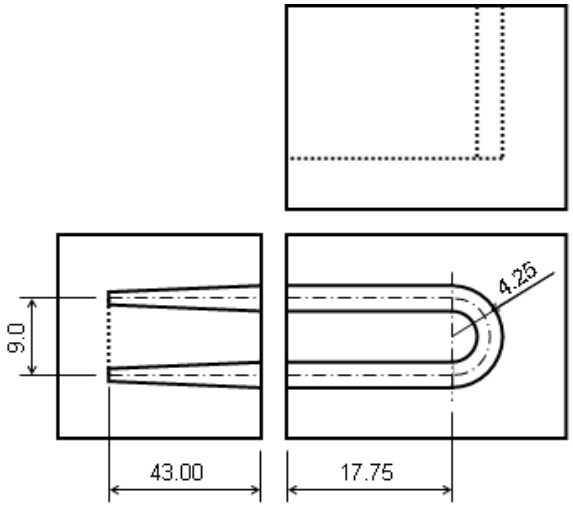

図１０　溝概略図

3.2　U字型溝加工実験

3.2.1　実験方法

目標とするテーパー溝を図 9 に示すように 2 段に分け、1 段目を加工部①、2 段目を加工部②とし、それぞれ工具先端径の異なるテーパーエンドミルによりU字往復加工（図 10 参照）を行った。

表 5 に溝加工実験条件を示す。

工具は TiAlN コーティングが施された超硬 2 枚刃テーパーエンドミルを使用した。

表５　溝加工実験条件

被削材	SKD61（HRC40）
使用工具	①ユニオンツール UNIMAX 3.0M×25×45’ ②ユニオンツール UNIMAX 2.5M×25×45’ を追加工
主軸回転数　min^{-1}	2.5×10^4
送り速度　mm/min	500 および 2000
軸方向切込(Ad)mm	0.02
冷却方法	Oil mist 田中ｲﾝﾎﾟｰﾄｸﾞﾙｰﾌﾟ ﾄﾞﾗｲｶｯﾄｼｽﾃﾑⅡ

3.2.2　実験結果

目標としていた深さ 43mm まで、工具のびびりもなく加工することができた。

加工面の表面粗さは Rz（JIS B 0601:2001）で 10μm 以下と良好な結果が得られた。

溝の立ち壁部の形状測定結果を図１１に示す。予備実験と同様に工具①では比較的誤差は少なかったものの、工具②では最大で 0.5mm 溝幅が広がっていた。

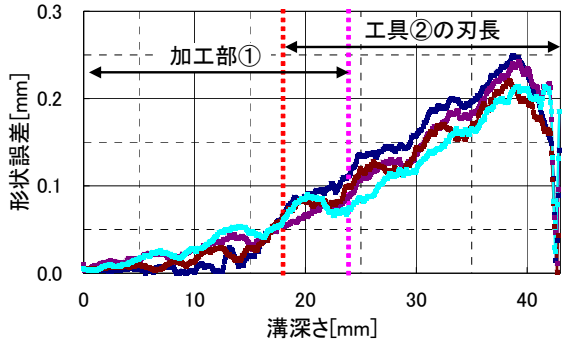

図１１　形状誤差

４．結　　言

高回転高送り加工をダイキャスト金型に適用するために、深さ 43mm、溝底巾 2.5mm の溝モデルをミーリング加工する方法について検討し、以下の結論を得た。

（１）等高線加工では工具にびびりが発生し切れ刃が破損した。

（２）往復加工では工具のびびりもなく正常に加工することができた。

（３）往復加工により目標とする溝深さまで加工するための十分な工具寿命が得られた。しかし仕上りの形状誤差は最大で 0.5mm となった。

5. 今後の課題

形状誤差をいかに小さく抑えるかが今後の課題となる。誤差要因としては、工具の剛性および切削能力不足、冷却不足などが考えられるが、前者は工具底刃数を増やし、主軸回転数を低減させ、一刃あたりの送りを下げることによって工具変形を低減させることにより、後者は冷却用ノズル形状の変更によりそれぞれ改善できる。

参考文献

１）嶽岡悦雄，宮口孝司，岩部洋育 “高硬度材の高速エンドミル加工に関する研究（第 2 報）”，精密工学会誌，65 巻，第 2 号，1999, p209-213.

２）嶽岡悦雄，宮口孝司，岩部洋育 “高硬度材の高速エンドミル加工に関する研究（第 3 報）”，精密工学会誌，65 巻，第 8 号，1999, p1131-1135.

３）Takashi Miyaguchi, Masami Masuda, Etsuo Takeoka, Hiroyasu Iwabe, “Effect of tool Stiffness upon tool wear in high spindle speed milling using small end mill", Precision Engineering, 25, 2001, p145-154.