

14 BN 快削鋼を用いた大型樹脂金型加工技術の開発 (BN 快削鋼の切削加工特性評価および材料評価)

山下弘之，菊田敬一，西川隆敏，田辺栄司¹⁾

(The development of molding die machining technology with BN free machining steel)
The machining characteristics of BN free machining steel and material evaluation for mold die.

YAMASHITA Hiroyuki , KIKUTA Keiichi , NISHIKAWA Takatoshi , TANABE E i shi

Manufacturing molding die is faced with global competition and stringently requested for reduction of coast and lead time. So, it is very important to increase machining speed on producing molding dies. In this study , the method for reduction of tool damage was evaluated by machining test with Radius milling tools. Therefore, next results were found ;

- (1) Tool damage of Radius milling tool was reduced drastically by changing carbide form P20 to P30 in the machining BN-steel.
- (2) MQL is useful to reduce tool damage of Radius milling tool in the machining BN-steel.
- (3) A combination of carbide P30 and MQL is best for machining BN-steel.
- (4) There is no difference between S55C-steel and BN-steel for both Embossing and EDM.

キーワード：快削鋼，BN，切削加工，超硬，MQL，シボ加工，放電加工

1. 緒 言

樹脂金型の製造工程の中で，切削加工工程は時間・コスト面で大きな割合を占める。このため，金型製造におけるリードタイム短縮・コスト削減のためには，精度を維持しつつ切削加工時間を短くすることが重要な課題となっている。

本研究では，快削性（高速切削時に工具磨耗が少ない）に優れたS55CベースのBN快削鋼（以下，BN鋼）を樹脂金型に適用して，リードタイム短縮・コスト削減のための高速切削を実現することを目的とする。このため，BN鋼を金型加工で一般的に使用されるエンドミル工具を用いて加工するための，最適な加工条件・工具材種等を実験的に求め，切削速度を標準材料S55C（以下，標準鋼）で一般的な150m/minから，倍増(300m/min)させることを目指す。

昨年度はエンドミル工具を使った切削実験で，BN鋼が切削速度300m/minで標準鋼に比べ優れた快削性を有することを示した¹⁾。しかし低速域となる工具先端での損傷が，高速域となる境界部でのそれに比べ大きくなるという課題が残った。そこで今年度は，先端部での損傷を低減するための加工法の検討を行った。またBN鋼を樹脂金型に適用する上で必要となる材料特性として，シボ加工性，放電加工性について標準鋼との比較を行った。

2. 実験方法

2.1 工具先端部での損傷低減の検討

昨年度行った切削試験での工具損傷状態を写真1に示す。使用した工具は図1に示すラジアスエンドミル工具で，金型加工で一般的に使用されるボールエンドミル工具に比べ，切削に關与する工具切れ刃全域（境界部～先端部）で，ある程度高い切削速度を持った加工が可能な構造特徴を持つ。切削速度300m/minの境界部での損傷幅は，BN鋼が標準鋼に比べ，半分程度となり良好な快削性を示した。これに対し，切削速度の低い工具先端の損傷幅は，加工初期から徐々に増加し，0.15mmを超える損傷が生じ，両材料での顕著な差は見られなかった。工具損傷の状態は境界部が比較的定常な磨耗損傷であるのに対し，先端部は工具母材が剥がれるように欠損している。一般に低速度域の損傷は，機械的磨耗や工具への

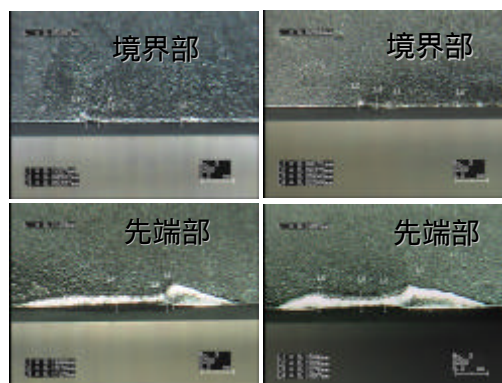


写真1 工具磨耗の様子(左:標準鋼,右:BN鋼)

* 広島県産業科学技術研究所（4月1日より派遣）

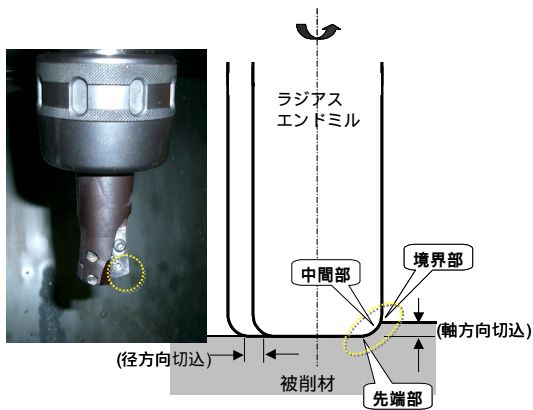


図1 ラジラスエンドミル(工具損傷評価位置)

材料の凝着による凝着磨耗が支配的であることから、先端部の損傷は工具に凝着した被削材が、工具母材を巻き込んで剥離することで生じる凝着損傷が支配的であると予測される。そこで損傷改善方法として次の項目を検討することとした。

凝着により生じる工具欠損を防止するため、工具の超硬母材を昨年度使用したP20種から、強度(靱性)が高いP30種に変更し凝着損傷を低減させる。

ミストクーラント(以下、MQL)の適用により、切削熱を低減し被削材と工具間の潤滑効果を高めることで凝着を低減させる。

2.2 使用機器及び切削実験方法

実験に使用した機器を表1に示す。切削実験は縦型マシニングセンターを使い、テーブル上に設置したバイスで被削材(100×100×150mm)を固定し、その上面を加工した。実験後に工具刃先を観察し、損傷状態を評価した。またMQL装置は2本のノズルを使い、工具刃先に油剤を供給した。

2.3 実験条件

切削実験条件を表2に示す。被削材はBN鋼と標準鋼、工具は直径30mmの刃先交換式ラジラスエンドミルを使用した。切削速度は工具と被削材の境界部で設定し、300m/minとした。工具のインサート(交換式の刃先)は超硬母材に快削性を有効に発揮するために効果があると

表1 使用機器

マシニングセンター	大阪機工(株) PCV-40
MQL装置	ブルベ`FK-M, TACO L32
工具損傷観察	ハイックス(株) DH-2700

表2 切削実験条件

使用工具	30mm刃先交換式ラジラスエンドミル
インサート	超硬(P20,P30相当)+TiAlN, TiBON
切削速度	300 m/min
送り速度	0.5 mm/刃
切り込み	5 mm(径方向), 1 mm(軸方向)
切削方向	ダウンカット
切削油剤	乾式,MQL(ミストクーラント)

表3 シボ加工および放電実験条件

シボ加工	皮シボ加工 (イッパグによる加工で,条件はM-が推奨条件)
放電加工条件	放電加工機:三菱電機(株)EDSCAN8E 使用電極:グラファイト 10×10mm 極性:正極性 ピーク電流:25A パルス幅:256 μsec 極間電圧:80V
加工状態観察	ハイックス(株) DH-2700,三鷹光器(株) NH-3

報告²⁾のあるチタン窒化アルミ系硬質薄膜をコーティングしたものを使用した。また、潤滑性向上・切削熱の低減のため、MQLを使用した。MQLは植物系の油剤を5~20cc/時間の流量で供給した。また、シボ加工性および放電加工性は表3に示す条件で行い、加工状態の比較を行った。

3. 実験結果

3.1 工具母材材種の効果

超硬母材を昨年度使用したP20種から、靱性の高いP30種に変更した場合の、実切削距離に伴う工具逃げ面損傷幅の推移を図2に、工具刃先の損傷状態を写真2に示す。切削は乾式で行った。超硬母材の変更により先端部(切削速度~170m/min)の損傷が顕著に改善され、ほぼ境界部と同程度となった。また、境界部(切削速度300m/min)も若干損傷幅が増加する様子が見られるものの、P20種と同様に小さな損傷で推移している。これに対し、切れ刃の中間部(切削速度~240m/min)での損傷は逆に大きくなり、写真に見られるように刃先が欠けて剥離する損傷が見られた。P30種の超硬母材は、P20種に比べ靱性が高く欠損が生じにくいものの、硬度が若干低く耐摩耗性に劣る。このため機械的摩耗による損傷がより進み、その影響で刃先の欠損に至ったものと思われる。中間部にその影響が大きく生じた要因には、切れ刃の位置による切削抵抗の違いや、BN快削鋼の快削性の要因²⁾である窒化あるいは酸化アルミ系の保護膜生成状態の差などが考えられる。

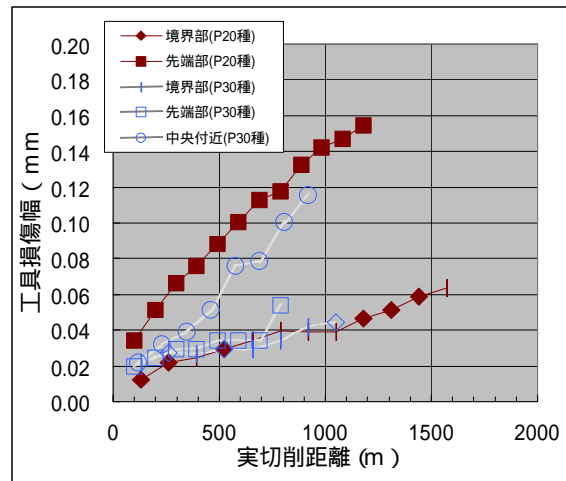


図2 工具損傷の推移(P20, P30, 乾式)

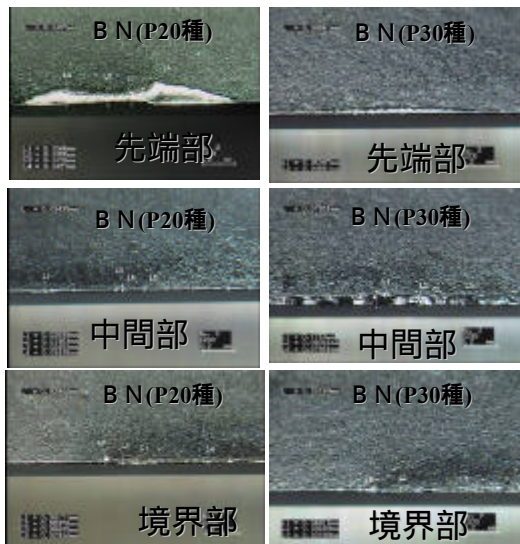


写真2 工具損傷状態の比較(P20, P30, 乾式)

3.2 MQLと超硬母材による効果

3.1 項の検討より、超硬母材の変更で先端部の損傷は顕著に改善されることがわかったが、中間部での損傷が課題となった。硬度が若干下がることによる機械的磨耗の影響が考えられることから、MQLを適用し被削材と工具間の潤滑効果を高めることで、その改善を試みた。MQLを使用した場合の実切削距離と工具損傷幅の推移を図3に、乾式とMQLでの中間部損傷状態の比較を写真3に示す。中間部の損傷が低減され、先端部、境界部とはほぼ同じ損傷幅の変化を示し、図中ではほぼ同じ線上に重なった。工具刃先に生じる機械的磨耗は実切削距離に比例する³⁾ことから、切れ刃全域でほぼ凝着の影響のない、定常的な磨耗が徐々に進む、良好な切削状態を実現

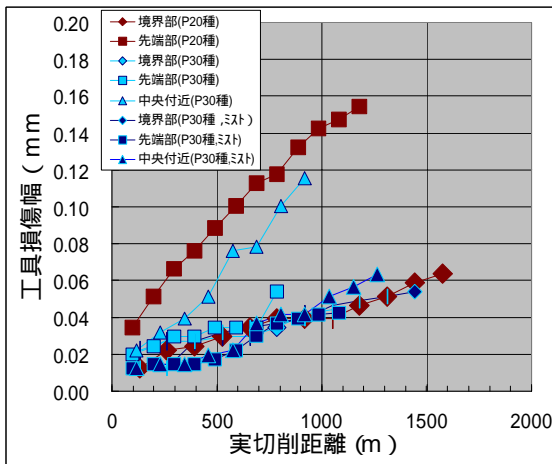


図3 工具損傷の推移

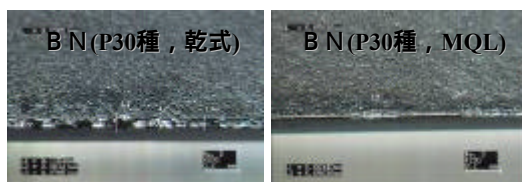


写真3 工具損傷状態の比較(中間部)

できている。このことからBN鋼を切削加工する上で、特に大径工具による切削量の大きい加工では、靱性の高い超硬母材P30種の使用、MQLの適用が有効であることが明らかとなった。

3.3 BN鋼と標準鋼の快削性比較

これまでの検討で得られた超硬母材P30種の利用、MQLの適用、という切削条件で、標準鋼とBN鋼の最終的な快削性の比較を行った。実切削距離に伴う工具逃げ面損傷幅の比較を図4に、工具損傷状態の比較を写真4に示す。先端部で特に顕著な差が見られ、標準鋼に比べBN鋼はほぼ半分程度の損傷幅となった。また切削速度の高い境界部、中間部においても差が見られ、BN鋼がそれぞれ25%、35%程度損傷が小さく推移しており、標準鋼に比べ良好な快削性を有することがわかった。切削速度300m/minにおいて、切れ刃全域でほぼ定常的な磨耗が徐々に進む、良好な切削状態が得られたことから、さらに切削速度を増加させる可能性も考えられる。

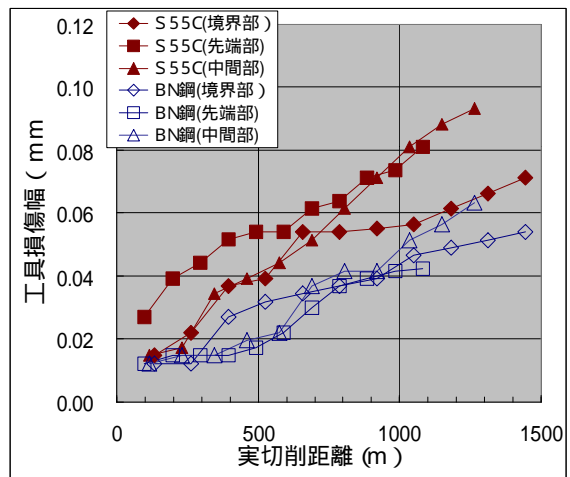


図4 工具損傷の推移(P30, MQL)

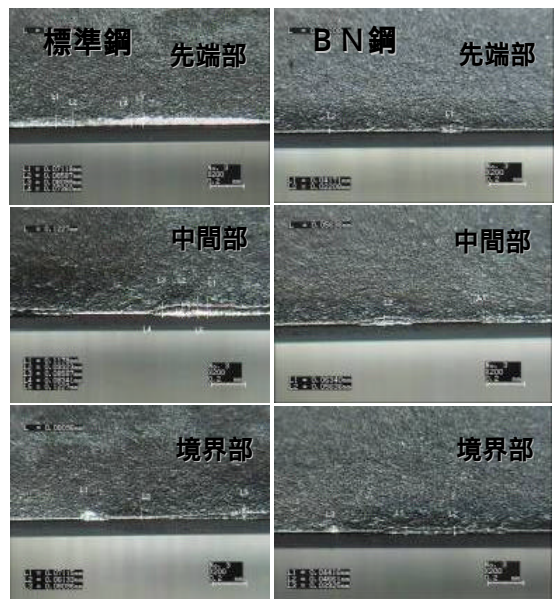


写真4 工具損傷状態の比較(P30, MQL)

3.4 材料特性の評価

樹脂金型材料として使用する上で必要となる特性について、次の2特性についてBN鋼と標準鋼との比較を行った。評価は加工表面の観察と凹凸形状の測定を行い、深さや凹凸の分布等の比較によりその違いを検討した。

シボ加工性（加工状態の比較）

放電加工性（加工状態、電極消耗、時間の比較）

シボの種類は、自動車関連部品等で一般的に用いられている皮シボを選択し、シボ加工専門メーカーに依頼しエッチングによる加工を行った。図5にシボ加工後の表面状態と凹凸形状の測定結果の比較を示す。概観上の違いは無く、加工された形状の凹凸の深さや分布も変化がないことから、両材料のシボ加工性についての違いは見られなかった。

次に放電加工性について検討した。一般的に使用されるグラファイト・銅の2種類の電極を使い、表3に示す荒加工を想定した条件で放電加工を行い、加工面の比較を行った。図6に放電加工後の表面状態と凹凸形状の測定結果の比較を示す。加工深さや電極消耗の違いは無く、また加工面の凹凸の状態も、シボ加工と同様に違いがないことから、両材料の放電加工性についての違いは見られなかった。

4. 結 言

大型樹脂金型等で使用される機械構造用炭素鋼(S55C：標準鋼)と、同等な特性を有するBN快削鋼の切削

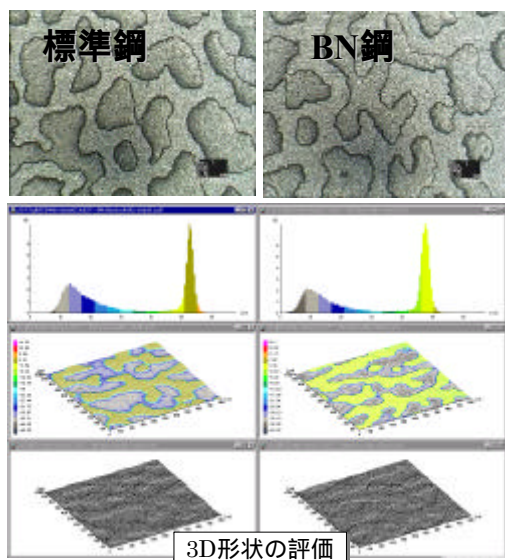


図5 シボ加工状態の比較

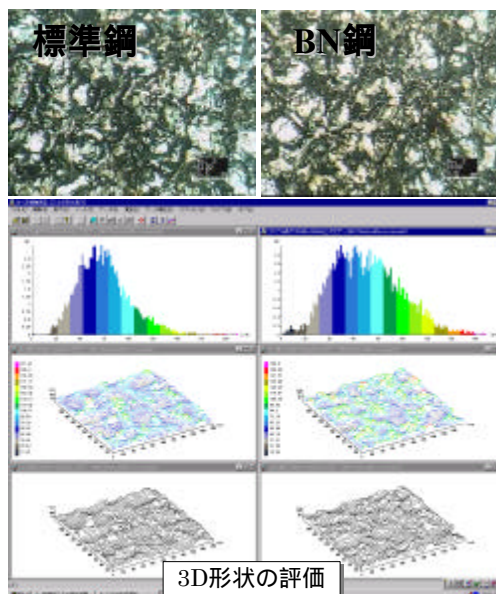


図6 放電加工状態の比較

試験を通して、その加工特性を評価し、先端部での損傷を低減する加工法を検討した。あわせて樹脂金型に適用する上で必要となる材料特性について標準鋼との比較を行った。その結果、

刃先交換式ラジラスエンドミルでの切削において、インサート超硬母材をP20種より靱性の高い超硬母材(P30種)に変更することで、先端部に生じていた工具損傷が低減できた。しかし耐摩耗性が劣るため刃先中間部(中速域)で損傷が増加した。

MQL(ミストクーラント)により、被削材と工具間の潤滑効果を高めることで、超硬P30種の乾式切削で生じた刃先中間部の損傷を低減でき、切れ刃全域で損傷を低減することが可能となった。

シボ加工及び放電加工について、標準鋼とBN快削鋼での違いは見られなかった。

おわりに本研究を行うにあたり、ご指導を頂きました広島大学工学部山根八洲男教授、材料提供を頂きました(株)JFE条鋼村上氏、MQL装置の使用でご協力を頂いたTACO(株)様、フジBC技研(株)様にお礼申し上げます。

文 献

- 1)山下他：広島県立西部工業技術センター研究報告，No.48(2005)，52-55
- 2)田中：BN添加鋼の被削性，広島大学(2003)，56
- 3)杉田，他：基礎切削加工学，(2004)，125