

(BN 快削鋼を用いた大型樹脂金型加工技術の開発)

14 BN 快削鋼の切削加工特性の評価及び実金型への展開

山下弘之, 前田圭治*, 西川隆敏, 田邊栄司

(The development of machining technology for molding die with BN free machining steel)

The machining characteristics of BN free machining steel and application to molding die.

YAMASHITA Hiroyuki, MAEDA* Keiji, NISHIKAWA Takatoshi and TANABE Eishi

Molding die industries is faced with global competition. It is important to increase machining speed on producing molding die in order to respond to stringently request for reduction of cost and leadtime. In this study, machining characteristic of BN free machining steel (BN-steel) was evaluated by machining test with milling tool. Therefore, next results were found ;

(1) It was possible to increase machining speed to 300m/min by applied to BN-steel in stead of S55C.

(2) Radius end mill is useful to reduce tool damage during machine BN steel.

(3) It is possible to apply BN steel for molding die.

キーワード：快削鋼，BN，切削加工，樹脂金型

1 緒 言

大型樹脂金型はその品質，製造リードタイムなどの総合力で日本が依然競争力を有している。しかし開発期間の短縮や東アジア諸国との競合により一層の製造リードタイム短縮，コスト削減が求められており，県内企業も同様の課題に直面している。金型製造工程の中で加工工程は時間・コスト面で大きな割合を占めるため，これらの削減には加工時間を短く，かつ精度良く加工することが重要な課題となっている。

本研究では樹脂金型に主に使用される機械構造用炭素鋼（S55C）に替えて快削性（切削時に工具磨耗が少ない）に優れたBN快削鋼を適用し，リードタイム短縮・コスト削減を図るための加工技術開発を目指している。今年度はBN快削鋼を金型加工で一般的に用いられるエンドミル工具により切削試験し，その切削特性を評価し切削速度を標準鋼（S55C）より倍増（150 m/min から300m/min へ）させるための加工法を実験的に検討した。合わせて実際の金型へ適用した事例を報告する。

表1 BN 快削鋼（S45C ベース）の組成

Work	Chemical composition mass%							
	C	Si	Mn	P	S	Sol.Al	N	B
S45C	0.43	0.25	0.73	0.011	0.018	0.020	0.0030	—
BN 4	0.42	0.26	0.78	0.011	0.024	0.066	0.0167	0.0080

2 BN 快削鋼の特徴

BN 快削鋼（以降，BN 鋼）は鉛快削鋼とほぼ同等の快削性を持ち，ベースとなる標準鋼（機械構造用炭素鋼）と機械的性質や疲労特性は同等で，かつ環境低負荷という優れた特性を有している。その組成は表1に示す通り B（ホウ素）と N（窒素）がごく微量（数10ppm 程度）含まれるが標準鋼とほとんど違いがないため，材料特性は標準鋼と同等となる。これまでの基礎研究¹⁾より，S45C ベースの BN 鋼の工具磨耗は標準材に比べ非常に小さく良好な快削性を示し，この要因は材料中に含まれる B の作用により加工中に工具刃先に窒化アルミ系の保護膜の生成であることが示されている。

表2 使用機器

マシニングセンター	大阪機工(株) PCV-40 II
工具損傷観察	ハイロックス(株) DH-2700

表3 実験条件

使用工具	φ30mm ボールエンドミル	φ30mm ラジアスエンドミル
工具材種	超硬+TiAlN コート	
切削速度	150m/min, 300m/min	
送り速度	0.1mm/刃	0.5mm/刃
切り込み	1mm(径方向), 3mm(軸方向)	5mm(径方向), 1mm(軸方向)
切削方向	ダウンカット	
切削油剤	乾式	

*広島県立東部工業技術センター

3 実験方法

3.1 使用機器及び切削試験方法

実験に使用した機器を表2に示す。縦型マシニングセンターのテーブル上にバイスで被削材（100×100×150）を固定し、その上面を切削試験した。試験後に工具刃先を観察し損傷状態を評価した。

3.2 実験条件

樹脂金型に利用可能な S55C ベースの BN 鋼と標準鋼（S55C）を、金型加工で一般的に使われるエンドミル工具により切削試験を行い、快削性を発揮する切削条件について検討した。実験条件を表3に示す。切削速度は工具と被削材の境界部での値を示す。荒加工を想定し工具にはスローアウェイ方式のボールエンドミル及びラジラスエンドミルを使用した。工具材種は快削性を有効に発揮するために効果がある¹⁾超硬にチタン窒化アルミ系の硬質薄膜をコーティングしたものを使用した。

4 実験結果

4.1 ボールエンドミルでの工具寿命試験

図1に被削材の切削距離に伴う工具逃げ面損傷幅の推移を示す。試験は標準鋼（S55C）の一般的な切削速度（150m/min）と、その2倍の切削速度（300m/min）

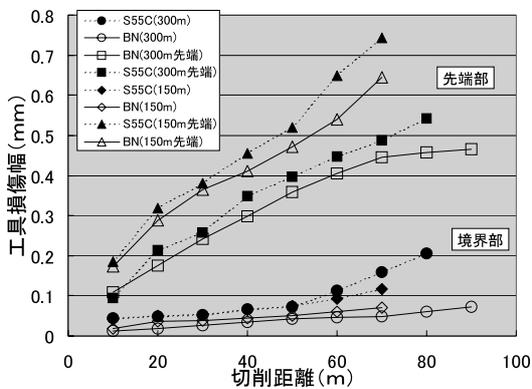


図1 工具損傷の推移（ボール，150，300m/min）

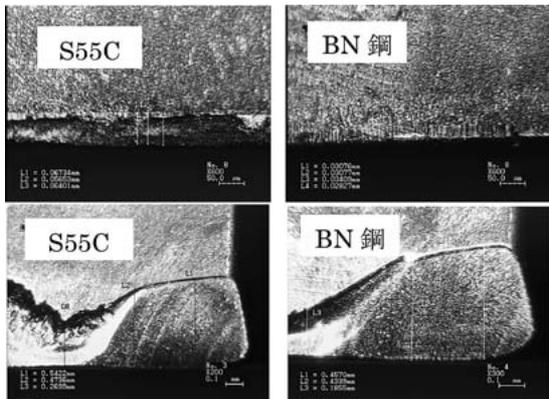


写真1 工具損傷の様子（上：境界，下：先端）

で行った。300m/minでは工具と被削材の境界近傍での損傷幅は、切削距離50mまでBN鋼と標準鋼で同じように緩やかに増加する。50mを越えてから標準鋼で損傷が激しくなり、80mで0.2mmを越える大きな損傷が見られたのに比べ、BN鋼は50mを越えても増加傾向は変化せず、90mを越えても0.1mm以下であった。これに対し150m/minでは標準鋼とBN鋼の差はわずかとなり、ともに70mまで緩やかに増加する傾向を示した。BN鋼は加工中に工具表面にALN系の保護皮膜が生じることで快削性が生じ、その皮膜の成長はある程度高い切削速度（温度）域で顕著になる¹⁾ことから、300m/minでBN鋼での損傷の増加が抑えられたと考えられる。工具先端部近傍での工具損傷は標準鋼、BN鋼ともに加工初期から0.1mm~0.2mm程度の損傷が生じ、切削が進むにつれ大きくなり最大で0.7mmを越える損傷が生じた。ボールエンドミルはその構造上先端部近傍の切削速度が低くなり中心部は0となる。このため正常な切削ができず、また快削効果も生かせないため工具損傷が大きくなったと考えられる。写真1に300m/minでの工具損傷の様子を示す。標準鋼では境界部で刃先が剥離・脱落するように欠損している。これに対しBN鋼では刃先の欠けは見られず定常的な摩耗が見られる。また工具先端部ではともに大きな損傷があり、特に標準鋼では剥ぎ取られた様な大きな欠損が見られる

4.2 工具損傷を低減させる加工法の検討（ラジラスエンドミルの利用）

ボールエンドミルは工具中心部が必然的に切削速度が小さくなるため、前項の結果が示すように工具損傷が大きく進んだ。近年金型加工、特に荒・中仕上げ加工領域でラジラスエンドミルを使った高送りの高能率加工が提案されている。ラジラスエンドミルは図2に示す通り切削に関与する工具切れ刃全てである程度高い切削速度を持った加工が可能な構造となるため、中心部での大きな損傷を回避できる可能性がある。この特徴は高い切削速度域で快削性を示すBN鋼の加工に

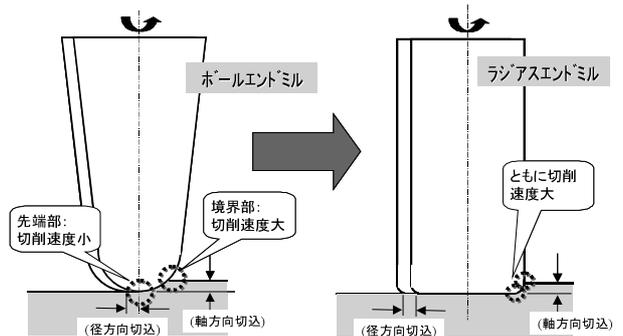


図2 エンドミルの比較

非常に有効であると思われる。そこでラジラスエンドミルについて切削特性を評価することとした。

4.3 ラジラスエンドミルでの工具寿命試験

図3に150m/minでの切削距離と工具損傷幅の関係を示す。他の切削条件は表2に示す。この際先端部は約90m/minの切削速度となる。境界部の損傷はBN鋼が標準鋼に比べ全体的に小さく、距離に比例し増加し100mで約0.1mmとなる。先端部は境界部に比べ増加が大きく0.2mmを越える損傷となった。エンドミルのような回転工具の切削では工具切れ刃が被削材中を回転しながら加工点で接触・材料除去する過程(擦過)を繰り返しながら進むため、切れ刃が正味に材料を切削する距離(実切削距離)は、図3に示した被削材の切削長さ(“見かけの”切削距離)より長くなる。工具刃先に生じる機械的摩耗は実切削距離に比例する²⁾ことから、実切削距離を横軸にとり工具逃げ面損傷幅との関係を再整理した。結果を図4に示す。ここで先端部は先端部半径位置で切削時以外も常時被削材表面と接し擦れ回っていると仮定し実切削距離を求めた。実切削距離で整理すると損傷幅は境界部と先端部ともにほぼ同一線上で変化しており、先端部も境界部同様に機械的摩耗による損傷域で正常な切削が進んでいる

ことがわかる。このようにラジラス工具はボール工具で見られた先端部の大きな損傷を回避でき、BN鋼の快削性を生かす上で有効である。次に300m/minでの実切削距離と工具損傷幅の関係を図5に示す。図中には150m/minの結果も合わせて示す。BN鋼では境界部で加工初期は150m/minでの損傷幅と同様の变化を示し、800mを越えるあたりから増加傾向が抑えられ損傷が小さいことがわかる。これに対し標準鋼は150m/minと同様の变化を示している。写真2に示す300m/minでの刃先の状態からも、境界部の損傷幅が大きいものの比較的定常な摩耗状態であることから、両材料ともに試験範囲では擦過距離に比例する機械的摩耗領域で損傷が進んでいると考えられる。その中でBN鋼は快削効果によりさらに損傷が抑えられ全体に小さな値を示したと考えられる。また図5に示すとおり172m/minの先端部は標準鋼、BN鋼ともに比較的小さな損傷幅で推移し、150m/minの境界部の損傷幅より小さくなっている。本来機械的摩耗領域であれば切削速度に関係なく同様の値を示すことが予想されることから、このずれは先端部の実切削距離の算出仮定にずれが生じているとも考えられる。この点は今後さらに確認する必要があると考えている。

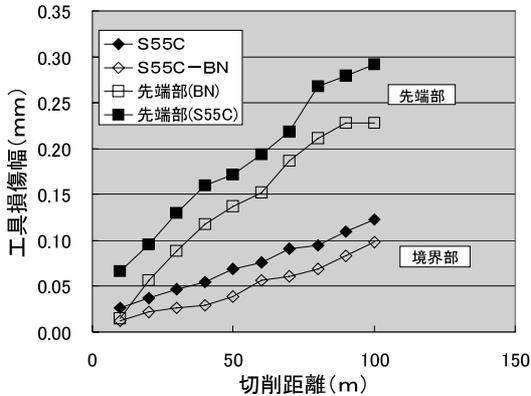


図3 工具損傷の推移 (ラジラス, 150m/min)

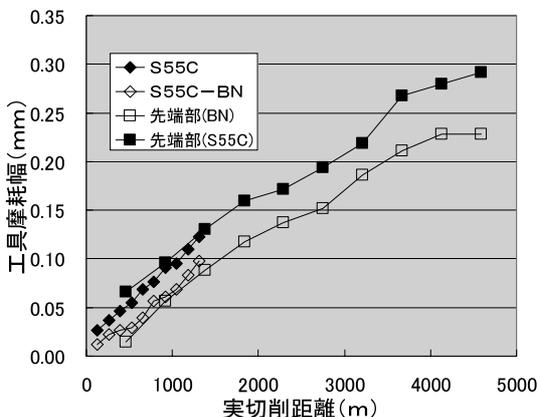


図4 実切削距離による工具損傷の推移

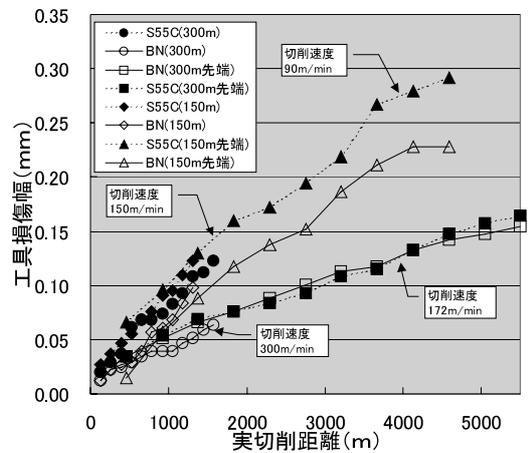


図5 実切削距離による工具損傷の推移

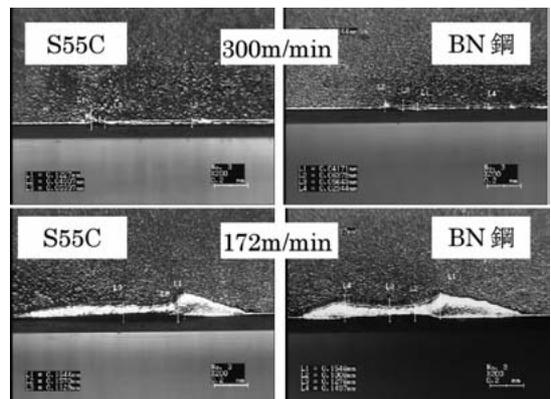


写真2 工具損傷の様子 (上:境界, 下:先端)

5 実金型への展開

5.1 対象樹脂金型

県内企業（㈱テラル化成：東広島市）と共同で BN 鋼を使った樹脂金型の試作を行った。対象とした樹脂製品は配管サポート用の部材で、金型（キャビ、コア）は図 6 に示すように 4 つの製品が一度に成形できる構成とし、さらに標準材と BN 鋼の 2 組の金型を並べた 8 個取りの構造とした。

5.2 加工工程及び切削条件

金型の加工工程及び切削条件を表 4 に示す。荒加工から仕上げ加工まで主に工具は R5 のボールエンドミルを使用し、荒加工で工具境界部の切削速度 200m/min、中仕上げで 300m/min となるよう条件を設定した。また加工は全てミスト給油で行った。荒加工後の工具刃先の様子を写真 3 に示す。切削距離は 90m、加工時間は 30 分を要した。工具切れ刃の逃げ面摩耗を比べると、標準鋼に比べ BN 鋼が小さくなっており、実際の金型加工においても快削効果による摩耗低減が確認できた。写真 4 に製作した金型及び成型した樹脂製品を示す。成型は問題なく行え、特に BN 鋼で成形された樹脂表面の光沢が良好であった。これは材料の磨き性の違いによると考えられ、今後材料特性の比較評価を行っていく。

6 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

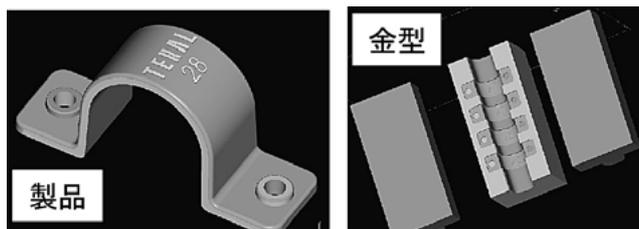


図 6 対象製品及び金型の CAD モデル

表 4 金型加工工程及び条件

加工工程	使用工具	回転数 (min ⁻¹)	送り速度 (mm/min)
荒加工(形状部)	R5 BallEndmill	12000	3600
中仕上げ加工(形状部)	R5 BallEndmill	12000	3600
仕上げ加工(形状部)	R5 BallEndmill	11800	3300
削り残し加工(隅部)	R3 BallEndmill	10300	1800
削り残し加工(隅部)	Φ5R2 RadiusEndmill	4800	1150
リップ加工	R0.5 BallEndmill	35000	1300
ロゴ加工	R0.2 BallEndmill	45000	540
ロゴ加工	R0.2 BallEndmill	45000	540
ロゴ加工	R0.2 BallEndmill	45000	540
ロゴ加工	R0.2 BallEndmill	45000	540

削試験を通してその加工特性を評価し、実金型への展開を検討した。その結果は以下の通りである。

① BN 鋼は切削速度 300m/min において、ボール・ラジラス両工具ともに工具損傷が少なく、標準鋼の 150 m/min での切削状態と同等の切削特性を示し、切削速度増の可能性を示した。

② ラジラスエンドミルは工具境界部・先端部ともに良好が切削状態を維持した加工が行え、ボールエンドミルで生じた先端部での大きな工具損傷を回避でき、快削性を生かす加工を行う上で有効である。

③ BN 快削鋼を使った実金型を製作し樹脂成型まで行った結果、面性状が良好な樹脂製品が成形できることを確認した。

おわりに本研究を行うにあたり、材料の提供を頂いた広島大学工学部山根八洲男教授、㈱ JFE 条鋼村上氏、樹脂金型製作・成型にご協力を頂いた㈱テラル化成大崎氏、野々本氏にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 田中：BN 添加鋼の被削性，広島大学（2003），56
- 2) 杉田，他：基礎切削加工学，（2004），125

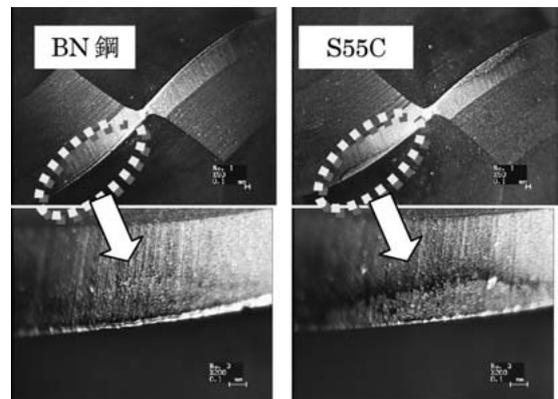


写真 3 荒加工後の工具刃先の様子

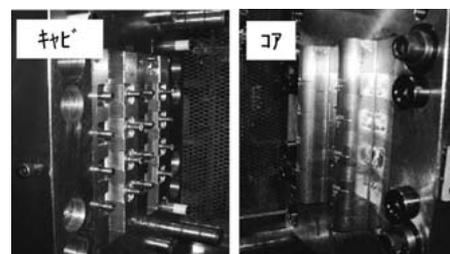


写真 4 製作した金型及び樹脂部品の様子