ADI 材加工における CBN 工具の摩耗特性* (工具配合要素が工具寿命に及ぼす影響)

加藤 秀治^{*1}, 新谷 一博^{*2}, 藤村 善雄^{*2}

Wear Performance of CBN Tool in Machining of ADI (Effect of Tool Life on Sintered Elements)

Hideharu KATO, Kazuhiro SHINTANI and Yoshio FUJIMURA

One of the difficult-to-machine materials, austempered bainitic spheroidal graphite cast iron (ADI), has been machined so far only by grinding. In this paper, the effect of tool life on sintered elements of CBN tools was investigated. Cutting of ADI was attempted with the different CBN tools of sintered elements which consist of c-BN grain size, binding material and content rate in both the c-BN grain and binding phase. The CBN tools containing small-sized c-BN grains exhibited excellent wear resistance and surface roughness compared to that containing large-sized c-BN grains. The cutting performance of CBN tools is due to the influences on cracking in the c-BN grain by stress concentration and bonding strength in both the c-BN grain and binding phase. The content rate shows that the optimum combination of both the c-BN grain and binding phase is about 40c-BN grain/60 binding phase in which the thickness of the binding phase is 3 μm . The optimum cutting condition is 1.67 m/s from the standpoint of wear resistance and surface roughness.

Key Words: Tool Life, CBN Cutting Tool, Flank Wear Rate, c-BN Grain Size, Content Rate in Both c-BN Grain and Binding Phase, Austempered Bainitic Spheroidal Graphite Cast Iron

1. 緒 言

近年、球状黒鉛鋳鉄は従来から持つ造形性の良さに加え、配合成分の考慮と熱処理の付加による高強度化が計られ、より多くの機械部品へと適用されようとしている⁽¹⁾。特に、ペイナイト地球状黒鉛鋳鉄は 1.0 GPa 以上の高い引張強さを示し、今後益々需要が増大するものと期待されている⁽²⁾。しかし、この材料はきわめて難削性⁽³⁾が高く、加工用工具材として超硬工具を用いた場合には極端に寿命が短くなることや、セラミック工具では仕上げ精度が得にくい⁽⁴⁾、など多くの問題を残している。一方、硬度が高いことや切削機構の点での歯状切りくずを生じることなど焼入れ鋼と似た特性を持つ。そのため、焼入れ鋼の加工に実績のある⁽⁵⁾⁽⁶⁾ CBN 工具の適用が有効と考えられるが、この工具材においても使用温度領域が限定され⁽⁷⁾、工具寿命も十分とは言えない現状にあることからさらなる改善が望まれている。本研究においては配合成分を単純化した CBN 工具を対象として、これの配合要素すなわち配合成分と c-BN 粒径が工具寿命に及ぼす影響

について検討を加えると同時に適正加工条件の選定を試みる。

2. 実験方法

被削材はパーライト地球状黒鉛鋳鉄 (FCD700 材) を 1173 K で 1 h オーステナイト化処理後、523 K で 1.5 h の下部ペイナイト化処理を施したペイナイト地球状黒鉛鋳鉄 (以後、ADI 材と呼ぶ。) を使用した。この化学成分、機械的特性、組織写真を表 1 に示す。この材料は球化した黒鉛の回りをち密な針状組織のペイナイト組織が取り囲み、強度と靱性を向上させている。なお、形状は $\phi 60 \times 250$ mm の丸棒である。工具材種は表 2 に示すような焼入れ鋼切削において長寿命を示す⁽⁸⁾ c-BN 60 vol% 含有の CBN 工具をベースにその配合要素である c-BN 粒径 (3 μm , 10 μm) および結合剤 (TiC 系, TiN 系) を変化させた 4 種類を試作した。さらに、これらの工具の中で最も良い性能を示した材種について、c-BN 粒子と結合剤の配合比 (c-BN 粒子/結合剤) をそれぞれ、25/75, 40/60, 60/40, そして 75/25 と変化させた CBN 工具を試作して実験を行った。また、これらの刃先形状は、(-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8) 形状で切刃稜線には $30^\circ \times 0.2$ mm のネガランドと 0.02 mm の丸ホーニングを併設した。切削条

* 原稿受付 平成 3 年 1 月 17 日。

*¹ 正員、金沢工業大学大学院 (〒921 石川県金沢南局区内野々市町扇が丘 7 番 1 号)。

*² 正員、金沢工業大学。

件については、ADI 材は熱処理前の FCD700 材の段階で荒加工が終了しており仕上げ加工を残すのみとなっていることから、送り f および切込み t をそれぞれ 0.05 mm/rev, 0.2 mm 一定とし、切削速度 V は 0.67 m/s から 5.0 m/s の範囲を使用した。なお、切削方式は乾式丸棒外周旋削とし、逃げ面摩耗幅 VB は無摩耗時の切刃稜線より摩耗最下部までの長さとした。また、摩耗部の観察は走査形電子顕微鏡を用いて行い、高温硬度の測定はアルゴンガス雰囲気中で高温微小硬度計を用いた。工具破壊靱性値の測定はビッカース硬度計による IM 法⁽⁹⁾ を用いた。

3. 最適工具材種の選定

3.1 c-BN 粒径および結合剤種が工具寿命に及ぼす影響 図 1 は結合剤種および粒径を変化させた各種工具の摩耗速度と切削温度の関係を示している。摩耗速度⁽⁷⁾ は、工具の切削性能評価基準として逃げ面摩耗幅-切削距離曲線の傾きより算出した。切削温度は、工具-被削材熱電対法を用いて測定した刃先平均温度である。なお、この切削温度は諸条件の中でも特に切削速度の影響が顕著であり、これを変化して摩耗速度との関係を求めている(副尺に切削速度を併記)。図より、いずれの工具材種も切削温度 1100 K (切削速度 1.67 m/s) 付近で極小値を持つ直線で表され、結合剤の観点からはどちらの粒径の場合も熱的安定性にまさ

る⁽⁷⁾ TiC 系材種が長寿命を示す。また、c-BN 粒径については両結合剤種とも 3 μm 粒径の c-BN 粒子のほうが 10 μm のものに比し、耐摩耗特性の点で優れている。この原因としては二つのことが考えられる。まず第一に、c-BN 粒子径が大きくなれば粒内欠陥の存在確率が増加すること、応力集中が容易になることから図 2 に示すようなマイクロ破碎モデルに従って摩耗が進行する。この様子は SEM 像図 3, 4 から明らかである。図 3 の大粒径の CBN 工具は切刃の c-BN 粒子にマイクロ破碎が観察されることやこれに起因する c-BN 粒子の大きさに相当した脱落が観察されるが、小粒径 CBN 工具の切刃稜線では(図 4 参照)

図 1 各種工具における摩耗速度の切削温度依存性

表 1 被削材の化学成分、基礎的機械特性および組織写真

Workpiece material	Chemical composition wt%						Mechanical property	
	C	Si	Mn	P	S	Fe	Tensile strength	Brinell hardness
ADI	3.370	2.590	0.460	0.020	0.012	Bal.	1.09 GPa	400

Microstructure	
----------------	--

表 2 使用工具材種

Tool type	Content rate (c-BN grain / binding phase)	Material of binding phase	c-BN grain size μm
* CBN (a)	60 / 40	Ti N + OE	10
CBN (b)			3
CBN (c)		Ti C + OE	10
CBN (d)			3
** CBN (e)	20 / 80	Ti C + OE	3
CBN (f)	40 / 60		
CBN (g)	75 / 25		

OE: Detected element in EDX analysis (Al, W, Fe, Co)
 * Determination of optimum element for CBN tools
 ** Determination of optimum c-BN content for CBN tools

図 2 大粒径 CBN 工具の摩耗モデル図

c-BN 粒子破碎やこれに起因するような粒子の脱落はほとんど観察されず、鋭利さを保っている。第二には、c-BN 粒子と結合剤との総合的な結合力が深く関与している点である。c-BN 粒子と結合剤の配合比が等しく粒径が小さなきには c-BN 粒子の表面積、すなわち c-BN 粒子の結合剤との接触面積が増えるため結合力は向上するが、逆に粒径が大きい場合はこれが低下すると考えられる。

次に、耐摩耗特性に優れていた TiC 系材種を用いて c-BN 粒子の粒径が被削材の仕上げ面あらさ特性に及ぼす影響を調べた。図 5 は切削距離が 1 000 m に達したときの仕上げ面あらさ $R_{\max}$ をあらさ特性の一つの指標とし、これと切削速度の関係を示している。図より、両工具材種とも仕上げ面あらさは、切削速度が増加すると急激に向上する。ここで、切削速度 1.67 m/s 以下の条件下では境界摩耗の発生が顕著であるためあらさは著しく低下する(図 6 参照)。一方、粒径変化については、小粒径のものに比し大粒径のものが劣っているが、この原因としては c-BN 粒子自身の粒径に依存して切刃稜に凹凸が存在することや前述した応力集中が引き起こす c-BN 粒子の破碎によって切刃稜に凹凸が生じていることが考えられる。

図 3 大粒径 CBN 工具における c-BN 粒子破碎 SEM 像

図 4 小粒径 CBN 工具における c-BN 粒子破碎 SEM 像

以上より、ADI 材の加工においては、耐摩耗特性および表面あらさ特性から c-BN 粒径が 3 μm の c-BN 粒子を TiC 系結合剤で焼結した CBN 工具が適しており、切削温度 1 100 K (切削速度 1.67 m/s) 付近が適正条件と思われる。

3・2 配合比が切削性能に及ぼす影響 前節の結果から、ADI 材加工においては c-BN 粒径が 3 μm で TiC 系結合剤を用いて焼結した工具が優れていることが確認されたが、本節ではこの組合せを用いて、c-BN 粒子と結合剤の配合比が工具寿命に及ぼす影響について検討した。

図 7 は、切削温度 1 100 K (切削速度 1.67 m/s) の条件下における工具の配合比が摩耗速度と高温硬度 (1 273 K) に及ぼす影響について示している。また、こ

図 5 粒径の異なる工具における切削速度と仕上げ面あらさの関係

図 6 切削速度 1.0 m/s における工具切刃全体図 SEM 像および仕上げ面あらさプロフィール

図7 適正切削条件下における摩耗速度およびピッカース硬度の配合比(c-BN粒子/結合剤)依存性

の図には各配合比に対する結合剤の平均厚みを算出⁽¹⁰⁾し、併記している。図より、摩耗速度は結合剤厚みが $3 \mu\text{m}$ 付近において極小値を示し、この値の前後ではいずれも速く、耐摩耗特性に劣る結果となる。この原因として、結合剤厚みが厚くなると、高温硬度が結合剤厚みの薄い工具に比し約1/3程度(約 $H_v 500$)に低下し、結合剤自身が持つ硬度に近くなるため耐摩耗特性が低下するものと考えられる。一方、結合剤厚みが薄い場合においては、高温硬度値は維持されるものの結合力が低下するため摩耗速度が増加するものと思われる。図8は各結合剤厚みを有するCBN工具の室温(293 K)条件における K_{Ic} の値を示している。この結果からc-BN粒子の結合強度を推測すれば結合剤厚みが薄くなるほど K_{Ic} の値は小さくなり、特に $1 \mu\text{m}$ 以下となるとこの傾向は強くなることから、前述した結合力が低下することを表しているものと考えられる。一方、この結合力の低下は表面粗さ特性にも現れており、結合剤厚みが薄い工具の場合には仕上げ面あさは急増する(図9参照)傾向を示している。これは、切刃転写性のよい特性を有するCBN工具において、切刃に多くの刃こぼれを生じたことを明確にしている。

以上のことから、CBN工具を用いたADI材の加工においては $3 \mu\text{m}$ 粒径のc-BN粒子をTiC系結合剤を用いて焼結し、これの結合剤厚みを $3 \mu\text{m}$ に調整した工具が最適であると推測される。

4. 結 言

配合要素の異なるCBN工具を用いペイナイト地球状黒鉛鑄鉄の仕上加工を行い、工具の配合成分や

図8 配合比の異なる工具における工具結合剤厚みと破壊靱性値の関係(室温 293 K)

図9 代表的な配合比の異なる工具の切削距離と仕上げ面あさの関係

c-BN粒径が耐摩耗特性および表面あさに及ぼす影響を検討した結果、次の結論を得た。

- (1) c-BN粒径が $3 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ のものでは小粒径のものをを用いたCBN工具が耐摩耗特性に優れる。
- (2) 結合剤は耐摩耗性の点でTiC系が優れた特性を示した。
- (3) 配合比は40c-BN粒子/60結合剤(結合剤平均厚み $3 \mu\text{m}$)のCBN工具が優れた耐摩耗性を示した。
- (4) 切削温度 1100 K (切削速度 1.67 m/s)付近の加工条件を用いることが耐摩耗性およびあさ特性の点で最も有効である。

文 献

- (1) 塩川, オーステンパ処理によるベイナイト球状黒鉛鑄鉄の製造技術と実用化, 鑄物, **56-6**(1984), 362.
- (2) 日経メカニカル編, 強度, 耐摩耗性に優れる ADI 自動車部品などに応用広まる, *NIKKEI MECHANICAL*, **1-8**(1990), 62.
- (3) 末永・石原・大塚, ベイナイト地球状黒鉛鑄鉄の切削性について, 日本鑄物協会第 105 回全国講演大会講演論文集, (1984), 89.
- (4) 新谷・加藤・藤村・塩谷, ADI 材の切削特性, 鑄物, **63-6**(1991), 523.
- (5) Shintani, K., Ueki, M. and Fujimura, Y. Optimum Tool Geomitry of CBN Tool for Continous Turning of Carburaized Steel, *Int. J. Mach. Tool & Manufact.*, **29-3**(1989), 403.
- (6) Shintani, K., Ueki, M. and Fujimura, Y., Optimum Cutting Tool Geomitry When Interrupted Cutting Carburized Steel by CBN Tool, 文献(5)の 415 ページ.
- (7) 新谷・加藤・藤村・山本, CBN 工具によるオーステンパ処理を施したベイナイト地球状黒鉛鑄鉄の切削特性, 精密工学会誌, **56-12**(1990), 2261.
- (8) Takatsu, S., Shimoda, H. and Otani, K. EFFECT OF CONTENT ON THE CUTTING PERFORMANCE OF POLYCRYSTALLING CBN TOOLS, *New Tool Mater Met Cutt Form*, SESSION 1 PAPER 3(1982), 1.
- (9) 新原, セラミックスの微小圧子圧入破壊-その応用と問題点, セラミックス, **20-1**(1985), 12.
- (10) 鈴木・棚瀬, WC-Co 超硬合金の抗折力に及ぼす炭化物粒度, 結合相量の影響, 日本金属学会誌, **40-7**(1976), 726.