技術レター

耐熱金型の高度化に関する調査研究

田辺　寛[*]　石川　淳[**]　中川　昌幸[***]　樋口　智[****]　須藤　貴裕[**]　紫竹　耕司[*****]

Study on Improving Heat-resisting Die

TANABE Hiroshi[*], ISHIKAWA Atsushi[**] , NAKAGAWA Masayuki[***], HIGUCHI Satoru[****],
SUTOH Takahiro[**] and SHICHIKU Kouji[*****]

1. 緒　　言

金型は，自動車や家電などの製品を量産する上で必ず必要となる道具（ツール）であり，その品質が製品の品質を決定づけるため，「マザーツール」とも呼ばれている。新潟県の金型製造業は農業と並ぶ基幹産業の一つであり，平成15年度の工業統計（経済産業省）によれば，製造品出荷額で国内11位の位置にある。これは関東圏，名古屋圏，大阪圏を中心とした太平洋側の金型集積地と距離的に大きく離れた日本海側にあっては，最大の規模となっている[1)]。

一方，半凝固状態の材料を金型を用いて成形することによって，従来の鋳造組織であるデンドライト組織より微細な粒状組織を得ることができる半溶融・半凝固加工が注目されている。半溶融・半凝固加工では，組織の微細化，粒状化により，鋳造組織よりも強度・伸びで，特に良好な特性が得られるため，製品の薄肉化が可能で，軽量化に対してメリットがある。反面，成形前の半凝固スラリーを一旦生成してから成形しなければならないこと，また，スラリーの固相率を一定の状態に保つことが難しいことなど，製品化，低コスト化，量産技術で解決すべき問題点も多い[2)]。

本調査研究では，半溶融・半凝固加工のような高温領域での加工で使用される金型の高度化を目標とし，対象となる成形をガラス材料のプレス成形に絞って，ガラス材のプレス金型材料として注目されるガラス状カーボンの切削性について検討するとともに，日本のガラス産業の現状や県内企業の動向について調査研究を実施した。

*　県央技術支援センター加茂センター
**　研究開発センター
***　下越技術支援センター
****　研究開発センター
　　レーザー・ナノテク研究室
*****　企画管理室

2. 調査研究の内容

2.1　日本のガラス産業の現状

日本のガラス産業の生産額は約1.9兆円といわれ，磁気ディスク用ガラスやディスプレイ用基盤ガラス，マイクロレンズ等の各分野で日本のガラス製品が世界的に多くのシェアを有している[3)]。ガラス製品には，窓ガラスやCRTなどの市場規模において継続的な発展が見込めない分野もあるが，光ファイバーや平面ディスプレイなど今まさに成長期にある分野もある。中でも光学的機能や電気的機能等を高めたガラスは，「ニューガラス」[4)]と呼ばれ，日本のガラスメーカー各社が研究開発を競っており，需要予測では全体で年率7～8%の成長が見込まれ，2015年には2兆3800億円に達するとの予測もある[5)]。本調査研究が対象としたプレス成形によるガラスレンズの需要予測では，2015年まで年平均成長率4.6%と堅実な成長が見込まれている。

2.2　県内の企業の動向

平成17年工業統計調査によると，新潟県内におけるガラス・同製品製造業は14社，製造品出荷額は約122億円となっている。中でも，ガラスレンズを製造する企業は数社にとどまるが，非球面レンズなどの高付加価値製品を製造する企業もある。また，ゴム・ガラス用金型を製造する企業は7社あり，製造品出荷額が21

表１　ガラス状カーボンの諸特性

材　料	GC10	GC20	GC30
嵩密度 (g/cm^3)	1.48－1.51	1.47－1.50	1.44－1.47
硬　さ (HV)	267	301	230
ヤング率 (MPa)	40.8	44.6	34.2
熱伝導率 (W/mK)	3.76－4.6	8.36－9.19	15.0－17.6

億円となっている。今後成長が期待されるニューガラス等を用いた高付加価値製品の開発には，ガラス製造業や金型製造業を含めた産学官による研究開発が期待される。

2.3　ガラス状カーボンの切削加工実験

2.3.1　ガラス状カーボンの特徴

近年，高屈折率，低複屈折，低色収差，耐高温特性，耐環境性などの要求から，ガラス製光学レンズの用途が増している。

ガラス製光学レンズ用金型には，超硬合金，ステンレスなどが用いられているが，最近，その優れた特徴からガラス製光学レンズ用金型として期待されている新材料のひとつとして，ガラス状カーボンが挙げられる。ガラス状カーボンとはアモルファスカーボン，グラッシーカーボンとも呼ばれる炭素材の一種であり，以下のような特徴を有する。

・耐熱性に優れ，高強度である。
・耐薬品性，耐腐食性に優れている。
・発塵（炭素粉）のない，高純度でクリーンな材料である。
・溶融ガラス，溶融金属に濡れにくく付着しない。
・導電性，熱伝導性を有する。
・熱膨張が小さく，熱衝撃にも強い。
・ガスバリヤー性および液体遮断性が高い。

ガラス状カーボンの製造方法は，フェノール樹脂，ポリイミド樹脂，エポキシ樹脂，フラン樹脂などの熱硬化性樹脂を射出成形，圧縮成形

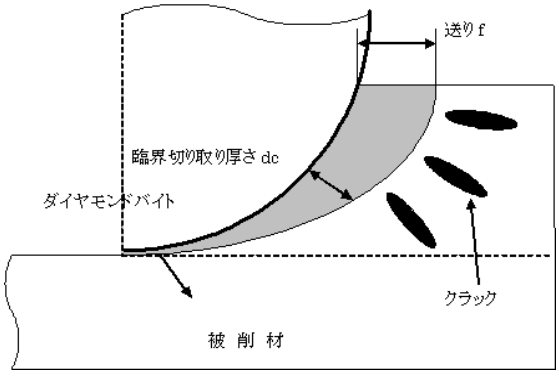

図１　ボールエンドミルによる脆性材料切削のモデル

などの方法で成型し，その樹脂成形品を不活性ガス雰囲気中において，千数百℃で焼成して炭素化する。焼成により樹脂成形品中の炭素以外の元素，すなわち水素，窒素，酸素等がまわりの炭素と化合して二酸化炭素，メタン，エタン等の分解ガスとなり放出され，最後に炭素の網目骨格だけが残り，ガラス状カーボンとなる。表１にその特性を示す[6]。不活性雰囲気中の1300℃で炭素化処理を施す過程で GC10 が作製され，引き続き 2000℃，ハロゲン系ガス雰囲気中で高純度化処理を行うことにより GC20 が作製される。その GC20 をさらに 3000℃で高純度化処理を施すと GC30 が得られる。

2.3.2　ボールエンドミルによるガラス状カーボンの正面切削加工

ダイヤモンドバイトを用いて硬脆材料を切削加工する場合に，二つの問題が指摘されている。その一つは，加工面に生じる微視的な脆性破壊であり，もう一つは，ダイヤモンドバイトの磨耗である。脆性破壊を生じない，いわゆる延性モード切削を行うためには，工具・工作物間の実質切込み（切取り厚さ）を常にある臨界値 dc(～100nm)以下にしなければならない。この臨界値を把握するために，ボールエンドミルによる切削加工を実施した。

図１に示すように，ボールエンドミルによる正面切削では，切取り厚さが切れ刃に沿って変化しており，刃先でゼロになる。したがって，刃先側すなわち工作物の前加工面の表面付近で脆性モード切削が行われているとすれば，刃先と刃元間のどこかに臨界切取り厚さ dc に対応

表 2　加工条件

工　　具	㈱オグラ宝石精機工業 単結晶ダイヤモンド ボールエンドミル （R4）
主軸回転数	35,000m^{-1}
工具送り速度	1mm/mim，5mm/mim， 10mm/mim，20mm/mim
クーラント	オイルミスト（新日本 石油製メタルワーク）

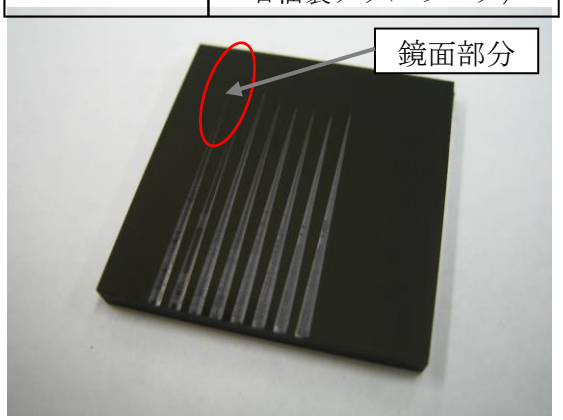

図 2　加工品外観

する脆性・延性遷移点が必ず存在する。この切削点が刃先側に近ければ，脆性破壊によるクラック層が仕上げ面にまで及び，仕上げ面は脆性破砕によって形成された面になる。また dc に対応する切削点が刃元側に近く，クラック層が最終仕上げ面に達しなければ，最終仕上げ面は延性モード切削により形成される。

ガラス状カーボンにおける臨界値 dc を確認するため，ダイヤモンドボールエンドミルによる正面切削加工を実施した。

2.3.3　ガラス状カーボンの切削加工における実験方法

切削加工実験にはファナック㈱製超精密 5 軸ナノ加工機 ROBONANO α0i-A を使用し，被削材として，東海カーボン㈱製のグラッシーカーボン GC20（鏡面仕上げ品）を用いた。

被削材を加工機へ取り付ける際に，工具進行方向に傾きを持たせることにより，NC プログラムで切込み量を変化させずとも，被削材への切込み量を連続的に変化させることができる。そこで本実験では 0.04mm/30.0mm の傾きを持たせることとした。加工条件を表 2 に示す。

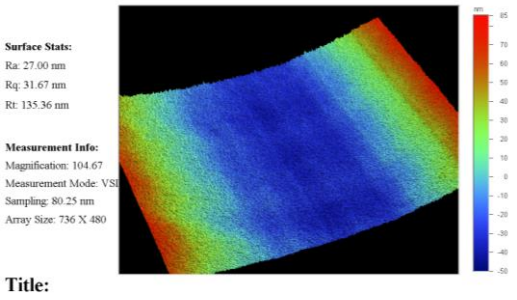

図 3　鏡面部分の粗さ測定結果

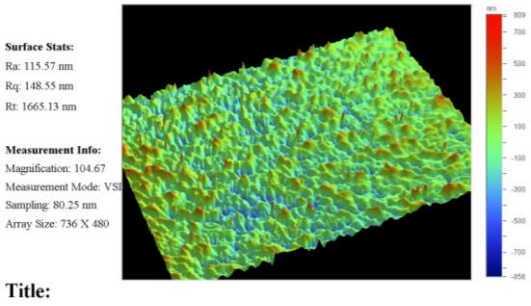

図 4　脆性破壊部分の粗さ測定結果

表 3　鏡面が得られる切込み深さとその時の工具最大周速度

溝　幅(mm)	0.32
切込み深さ(μm)	3.2
最大周速度(mm/sec)	1,190

2.3.4　実験結果

加工後の外観写真を図 2 に示す。各条件につき 2 カ所ずつ加工した。工具送り速度が 1mm/min 時に切込み深さの浅い部分で良好な鏡面が得られた。鏡面部分と脆性破壊部分の三次元構造解析顕微鏡（Veeco 製 Wyko NT-3300）での測定結果を図 3 および図 4 に示す。なお，測定面積は 60μm×45μm である。これにより脆性破壊部分の算術平均粗さ(Ra)が 107nm 程度であるのに対し，鏡面部分の中心付近の算術平均粗さ(Ra)は 3nm となっており，その数字からも良好な鏡面が得られていることがわかる。

次に鏡面部分の溝幅を測定し，それより切込み深さを算出した。正面切削加工の場合，工具中心が切削速度ゼロとなり不良となる可能性が

あるため，現実的には斜面切削加工を行う場合が多い。そこで，工具の最大周速度も併せて算出した。その結果を表 3 に示す。

3. 結　　言

(1) 日本におけるガラス産業の市場と県内関連企業について調査を行った。ガラス材料のプレス成形の市場規模は，今後とも堅調な成長が見込まれていることが分かった。

(2) ガラス状カーボンのボールエンドミルによる正面切削加工実験を行い，切削による鏡面生成が可能であることを確認した。

(3) 脆性破壊部分の算術平均粗さ(Ra)が約 107nm であるのに対し，鏡面部分の中心付近における算術平均粗さ(Ra)は約 3nm となっていることが分かった。

参考文献

1) 嶽岡悦雄,相田収平,宮口孝司,石川　淳,丸山英樹,山崎栄一,“ものづくりナンバーワン地域を目指してーにいがたの金型産業の成長戦略ー”,技術と経済,4 巻,470 号,2006,p.26-31.

2) 木内　学他,“半溶融・半凝固加工の最先端”,第 247 回塑性加工シンポジウム,2006,p.1-10.

3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構,“平成 11 年長期エネルギー技術戦略等に関する調査「産業技術戦略策定基盤調査（分野別技術戦略〈材料技術分野［ファインセラミックス技術分野］〉」”,2000,p.158.

4) 社団法人ニューガラスフォーラムホームページ.

5) 社団法人ニューガラスフォーラム・独立行政法人産業技術総合研究所,“平成 16 年度～平成 17 年度成果報告書 ナノテクノロジープログラム（ナノマテリアル・プロセス技術）ナノガラス技術プロジェクト「2015 年のナノガラス市場」”,2005,p.13-16.

6) 技術情報協会編，“高精度切削・研削・研磨・精密成形による非球面レンズの加工技術と評価～ガラス・プラスチックレンズ・材料・金型・装置・測定・評価～“,2005,p46.