

ウォータージェットみがき加工機の開発

宗廣修興，池本義則^{*1}，田原康熙^{*1}，藤原 悟^{*2}，岡田芳雄，
兼広二郎，倉本丈久^{*3}，岡野 仁^{*4}，西山秀雄^{*5}

Development of Water Jet Polishing Machine

MUNEHIRO Shuko, IKEMOTO Yoshinori^{*1}, TAHARA Yasuteru^{*1}, FUJIWARA Satoru^{*2}, OKADA Yoshio,
KANEHIRO Jiro, KURAMOTO Takehisa^{*3}, OKANO Hitoshi^{*4} and NISHIYAMA Hideo^{*5}

We had developed a polishing machine using Water Jet in order to shorten the polishing process of metal mold manufacture. It was possible that by adopting the abrasive suspension jet system, it polished it in comparison with the abrasive injection jet system in the pressure under 1/10, and that it does the processing. Therefore, the low-cost processor development became possible. And, it became a processor of which the environmental loading was small by establishing the closed system of working fluid (the abrasives + water + polymer). With polishing process of this system, it could obtain the processed profile of 0.107μmRa, 0.69μmRy.

金型みがき工程の短縮を図るため，ウォータージェットを利用したみがき加工機を開発した。アブレシブ・サスペンション・ジェット方式を採用することによって，アブレシブ・インジェクション・ジェット方式に比べて 1/10 以下の圧力でみがき加工をすることができた。このため，低価格の加工機開発が可能となった。また，加工液(研磨材 + 水 + ポリマー)のクローズドシステムを確立したことにより，環境負荷の小さい加工機となった。本システムのみがき加工により，0.107μmRa，0.69μmRy の加工面が得られた。

キーワード：ウォータージェット，みがき加工，アブレシブ・サスペンション・ジェット

1. 緒 言

金型は部品量産のツールで，一品一様の生産が行われるため，同一の金型を繰り返し生産することはほとんど行われていない。また，ユーザーニーズの多様化，商品寿命の短命化により，型製作費が削減されるとともに，急激な国際競争により，商品の競争力維持のため一段とコスト削減の要求が高まっている。

金型製作で，自動化・省力化が遅れている工程は，最終工程の「みがき工程」である。特に，金型の表面状態が製品に転写されるプラスチック成形用金型においては，全工程の 1/3 を占め，ほとんど熟練技能者の手作業に頼っているのが実情である。これまでも「みがきの自動化」に関する技術開発が行われ，いくつかの自動機が

製品化された。しかし，三次元形状をみがく際には多種の砥石が必要であるなど，必ずしも現場での使い勝手がよくないため，広く利用されていない。

そこで，自由形状に対応できるように固定砥粒を用いない遊離砥粒の利用に着目し，ウォータージェットによるみがき加工¹⁾について検討を行った。それを基にしながら並行して，熟練を要さない，使いやすい低コストで環境も配慮したウォータージェットみがき加工機を開発した。

2. みがき加工機の開発

2.1 開発目標

みがき加工機の開発目標を以下に掲げる。

低コスト

従来，ウォータージェット加工機は超高压ポンプや配管などによって非常に高コストの加工機であった。そのため，なかなか普及していない。

そこで，ウォータージェットの普及を推進するために，また，みがき加工機としての位置付けからあまり高コストの加工機としては市場に受入れられないので，1,000

平成 12，13 年度中小企業技術開発産学官連携促進事業
2002.5.31 受理 応用加工技術部

*1 株式会社ジェテック *2 有限会社藤原製作所

*3 情報技術部 *4 産業デザイン部

*5 客員研究員（現在，三菱電機㈱福山製作所）

万円以下の加工機とする。

コンパクト

手作業の占める割合の多いみがき加工現場の片隅にも設置が可能となる大きさとする。

高品質・高精度加工

手作業領域の多いみがき工程の短縮に向け、最終仕上げの前段階まで容易に加工ができるシステムとし、表面あらさを $0.1 \mu\text{mRa}$, $0.5 \mu\text{mRy}$ 以下を目標とする。

環境対応

廃研磨材や廃水を抑えた環境負荷の小さい加工機とする。

以上 4 つの目標の基に開発を行った。

2.2 アブレシブ・ジェット的方式

みがき加工を行うために研磨材を利用するが、水噴流に研磨材を混入する方法には、大きく分けて 2 種類に分類される。

まず、一般に利用されているのが図 1 に示すようなノズルヘッドである。ウォーターノズルから混合室内に高压水を噴出させると混合室内が負圧になることによる吸入、あるいは加圧供給によって、この中で研磨材を混合させる。そしてアブレシブノズル内で研磨材粒子は高压水によって加速・収束される。この方式をアブレシブ・

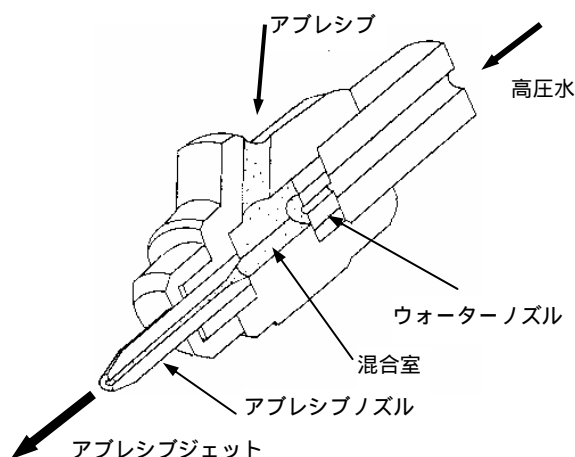


図 1 アブレシブジェットノズル

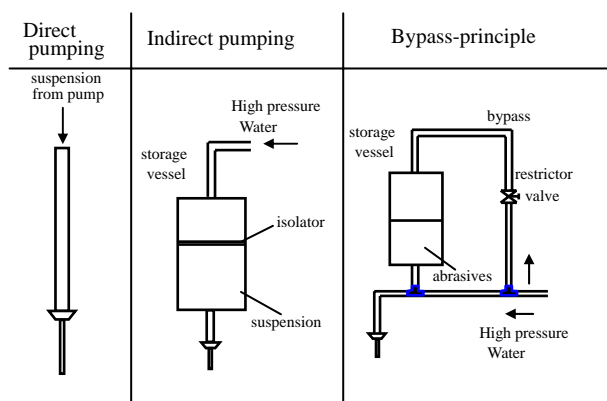


図 2 各種アブレシブ・サスペンション・ジェットシステム²⁾

インジェクション・ジェットと呼ぶ。この方式は、高压水に比べ非常に低速で供給される研磨材をいかに加速させることができるかによって加工能力が決まる。そこで研磨材を高速に加速させるために、超高压ポンプが必要になっている。

一方、研磨材と水を混合させた加工液を図 2 に示すような方法で加圧して噴出させる方法が提案されている。このような方法を用いると、研磨材は水と同程度の速度を獲得することや高濃度の研磨材も噴出可能となるので、比較的低圧でも大きな加工能力が得られる。この方式をアブレシブ・サスペンション・ジェットと呼ぶ。Hashish³⁾ は、両方式の加工能力の解析からアブレシブ・サスペンション・ジェットが優れていることを示し、次世代のアブレシブ・ジェットとして注目されている。

開発目標の および を満足させるために、サスペンション方式を採用した。この方式によって駆動ポンプの定格圧力を下げることができるので、コストの低減が図れるとともに、ポンプの小型化によって高压水発生装置がコンパクトになる。

2.3 高压水発生装置

採用したアブレシブ・サスペンション・ジェット方式は、図 2 の中の Indirect Pumping で、分離板を備えた押出機の方に充填した加工液（研磨材 + 水 + ポリマー）を、分離板を介した高压水で加圧する。装置コストの低減、コンパクト化を目指すため、高压ポンプの能力としては最大 50MPa とした。

サスペンション・ジェット方式の欠点として押出機に加工液を充填しておかなくてはならないため、通常バッチ式となり連続運転ができなかった。しかし、安定したみがき加工を行うためには、連続運転が求められる。

そこで、連続運転が可能となるように、押出機を 2 本設置して、1 本が空になると他の 1 本で運転を開始し、その間、空の押出機に加工液を再充填できる機構にして、交互運転による連続加工を可能とした。

2.4 クローズド化

通常、切断などに使用されるアブレシブ・ジェットの研磨材は、バージンのものを 1 回使用したらほとんど廃棄物として処分されている。その理由として、研磨材は乾式供給が基本（一般的なインジェクション方式の場合）となるため、使用済み研磨材の回収、乾燥が必要になる。

しかし、本研究で採用したサスペンション方式は、液供給が基本であるので、使用済み加工液を乾燥させることなく、回収液体をそのまま使用することも可能である。

そこで、開発目標に掲げた環境対応機器となるように加工液のクローズド化を図った。これは、先に述べた押出機 2 本による交互運転とリンクさせた。つまり、加工液を充填された 2 本の押出機を用いて稼動し、1 本空になると直ちに 2 本目のシリンダーにて供給を始める。空になった押出機に回収された加工液を再充填する。これを繰り返すことによって、加工液のクローズド化ルー

ブが完成し、廃棄物の減少に貢献する。

2.5 みがき加工機

まず、駆動装置の仕様を決めるにあたり、ウォータージェットノズルを駆動装置に固定することにした。すなわち、ワークピースを固定して、ノズルが形状に対応して移動するタイプで、3軸可動範囲をX軸300mm、Y軸200mm、Z軸150mmとした。そして、研磨材を再利用するクローズドシステムとするための回収機構を考慮した装置架台を作製した。そのシステム構成を図3に示す。

また、仕様を表1に示すとともに、加工機の外観を写真1に示す。

高圧発生部は、写真1の右側ユニットに対応し、その下部が高圧水発生装置である。その上部に、3軸駆動装置のドライバと、コントローラを組み込んだ制御用パソコンを設置した。

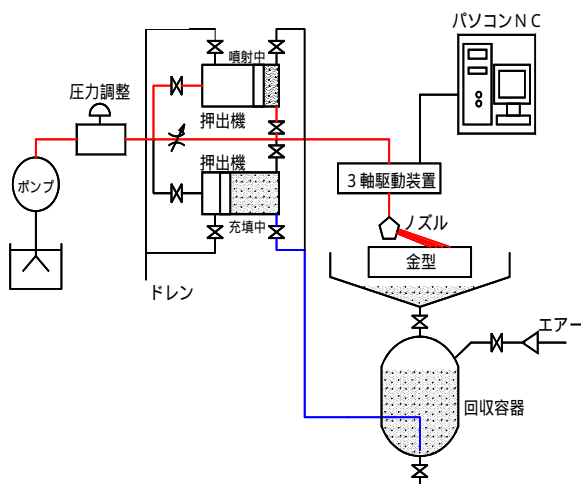


図3 システム構成図

表1 みがき加工機の仕様

高 圧 発 生 部	
噴射圧力	Max. 49 MPa
噴射流量	Max. 4.3 L/min
押出機	10 L 2 基
圧縮空気	0.55 MPa 23 L/min
所要動力	5.5 kW 3 200V
パソコン	Celeron 1.1 GHz
コントローラ	GALIL DMC-1840
外形寸法 L×W×H	1200×650×1615mm
み が き 加 工 部	
X 軸	300 mm st
Y 軸	200 mm st
Z 軸	150 mm st
軸	0 ~ 400 °
回収容器	全容 30 L
外形寸法 L×W×H	1200×625×1660mm



写真1 みがき加工機

一方、左側のユニットは、上部にX-Y-Zの3軸とX-Y平面状を回転する軸も付加した駆動装置本体、下部に研磨材のクローズド化・再利用システムのための回収容器を設置した。

みがき加工機の制御はパソコンで行うこととした。

3. 加工性能評価

開発したみがき加工機の性能を評価するために、インジェクション方式のウォータージェット加工機（株式会社スギノマシン、C2015NN-AB、AJP35025S）を比較対象とした。試験材は、プラスチック金型用鋼（NAK55；HRC40）とし、研磨材はアルミナを用いた。

また、みがき加工面の評価は、表面あらさ測定機（Rank Taylor Hobson, talysurf 6）によるあらさ測定（Ra, Ry）と、走査型電子顕微鏡（HITACHI, S-4100）による表面観察を行った。

まず、基礎実験として、金型材料の平面部をアブレスブ・サスペンション・ジェット方式と通常のアブレスブ・インジェクション・ジェット方式との比較を、みがき加工で行った。方式が異なるため加工条件は異なるが、アルミナ5μmの研磨材にポリマーを混ぜ、みがき加工を行った。入射角を90°として比較実験を行ったところ、インジェクション方式の場合、供給圧力が50MPa以上でみがき加工が可能となるのに対し、サスペンション方式では1/10以下の圧力で可能であった。みがき加工後の表面状態をSEMで観察した結果の一例を写真2に示す。

インジェクション方式の場合、研磨材が十分に加速されていないので研磨材による切削作用よりも、高速水流によって浸食されたピットが多数存在するものと考えられる。

それに対し、サスペンション方式の場合は、低圧でも

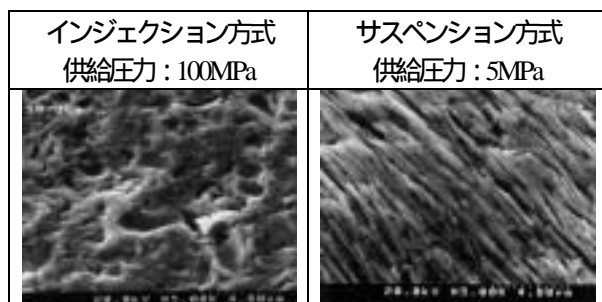


写真 2 みがき加工面の比較

十分に加速された研磨材によって加工されたため、研磨材による切削作用が主要因となって、インジェクション方式に見られたようなピットの発生がほとんどないことがわかった。

図 4 には、みがき加工前の表面状態と各方式によるみがき加工後の SEM 写真と表面あらさ結果を示す。昨年度行った研究結果¹⁾からインジェクション方式の場合、低角入射の必要性があったので、入射角 5°の結果を示す。最終的なみがき加工面の表面あらさは、インジェクション方式には及ばないものの、1/20 以下の供給圧力でほぼ同等の結果となった。

今後、加工条件の最適化を図ることによって 0.1 μmRa 以下の加工面を目指す。

SEM 観察	表面あらさ測定結果
	 0.34 μmRa , 3.6 μmRy
	 0.076 μmRa , 0.65 μmRy
	 0.107 μmRa , 0.69 μmRy

初期研磨面(SiC \wedge - Π #220)
 インジェクション方式
 供給圧力:200MPa, 入射角 5°
 サスペンション方式
 供給圧力:3MPa, 入射角 90°

図 4 みがき加工結果の比較

4. 結 言

金型のみがき工程の省力化を目的としたウォータージェットみがき加工機を開発した。得られた結果を以下に示す。

- 1) アブレシブ・サスペンション・ジェット方式を採用することによって、アブレシブ・インジェクション・ジェット方式に比べて 1/10 以下の圧力でみがき加工をすることができた。このため、低価格の加工機開発が可能となった。
- 2) 加工液(研磨材 + 水 + ポリマー)のクローズドシステムを確立したことにより、環境負荷の小さい加工機となった。
- 3) 開発したみがき加工機により、0.107 μmRa 、0.69 μmRy のみがき加工面が得られた。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご指導をいただいた 独立行政法人産業技術総合研究所 森 和男氏、広島工業大学教授 清水誠二氏に深謝いたします。

文 献

- 1) 宗廣修興ほか 9 名：広島県立東部工業技術センター研究報告，14, 34-37(2001).
- 2) Brandt C., Louis H., Meier G., Tebbing G.: Proc. 8th American Water Jet Conf. 207-217 (1995)
- 3) Hashish M.: Jet Cutting Technology, Elsevier Science Pub., 99 (1991).