

TODAY

『イノベーション25』に想う



住友金属工業㈱

取締役副社長 戸崎 泰之

18世紀の産業革命から二百数十年、科学技術と市場経済は指数関数的に発展し、当時の想像を遙かに絶するであろう高度文明社会を築いてきた。10億人未満であった人口は65億人に増え、2050年には90億人を超えると予想されている。街は光で輝き、人は自動車や飛行機で往来する。産業構造は変わり、産業のコメは鉄からシリコンとなり（私は依然鉄だと感じているが）、子供でもパソコンや携帯電話を操り楽しむ時代が到来した。この間CO₂の排出に代表される負の問題も比例して増加してきた。これから先100年後、200年後の地球はどうなるだろうか。

戦後生まれの安倍首相をリーダーとする内閣が発足した。スローガンは、子どもたちの世代が自信と誇りを持つ『美しい国、日本』。政策の第一は『イノベーション25』...2025年までの長期を視野に入れた経済成長に貢献する産業の技術革新のための指針を策定する...である。我が国経済の主体は依然加工貿易であり、その基盤は強みとするもの造り技術である。世界の趨勢はITを駆使した巨大金融資本が跋扈する何でもありの感がある中、技術革新を政策の第一にあげたことに拍手を送りたい。

私達の従事する基幹素材産業は、日本の強みとする自動車を始め、もの造り産業の競争力の基盤を支えているが、一方で、鉄鋼業は国内のCO₂の十数%を排出する産業であり、美しい国、美しい地球を守るうえでの責任は重い。日本の鉄鋼業は世界に先駆け「大型高炉 - 大型転炉 - 連続鋳造 - 高機能ミル」

プロセスモデルを完成し、その技術に磨きをかけノウハウを蓄積してきた結果、現在中高級鋼の生産技術では世界一と言える。しかし今世紀に入り世界の鉄鋼生産は中国を中心に急激に増加し、更なる拡大も必然視されており、日本の技術をもってしてもCO₂排出の総量増加を抑制することは困難である。鉄鋼業に限らず、豊かさの裏側で科学技術のもたらしたこれら負の問題を解決するには科学技術による外はないと思われる。更に技術に磨きをかけると共に、長期的な視点での研究開発、それを担う人材の育成がますます求められる。

しかしながら、一方で若者の科学技術離れ、製造業離れが進んで久しい。これはソフト産業の発展と無関係でないと考えるが、新政権の重点政策の一つである教育再生にも期待したい。携帯電話を操る子供を竹トンボや水鉄砲作りに戻すことはもはや至難かもしれないが、家庭や地域の努力を含めた新たな風土作りが必要である。

近年大学では世代交代が進むにつれ、また政府の構造改革政策もあり、更に企業のリストラも影響して鉄鋼研究は減少の一途を辿り、企業に働くものとして忸怩たる思いをしてきた。これからの鉄鋼業は適正な利益を安定して確保し、イノベーションにつながる研究開発に一層拍車をかける必要がある。そうした中、産官学連携は新たなステージを迎えつつあり、いくつかの大学で鉄鋼研究復活の動きが出てきている。企業側の真のニーズを出して連携強化を図って行きたいと考えている。大学の中長期、基礎学問、シーズ志向と企業の短中期、成果収益、ニーズ志向がぶつかり議論の渦、研究開発の渦を作り、大きな奔流が出来ることを期待するものである。またJRCMがそのような渦形成の一駆動力になることを大いに期待したい。

「難成形材のプレス加工用のマイクロ金型に関する研究開発」成果報告

非鉄材料研究部 松本信吾(現:新日鉱テクノロジー(株))

1 はじめに

本事業は日本版SBIR(中小企業技術革新制度)の一環として、中小企業の技術力・国際競争力を強化し、わが国の製造業全体の国際競争力の優位性を高め、わが国の経済活性化につなげるために、国の提示した金型分野とロボット部品分野に関する中小企業・ユーザー企業・大学等からなる共同研究体からの優れた提案について(独)中小企業整備基盤機構が研究開発を委託したものである。当センターは管理人として、平成15年から17年まで本事業を効率的に運営管理し、当初目標を上回る成果を収めることができたのでその概要について報告する。なお、参加企業及び大学は富士ダイス(株)、(株)橋川製作所、古河電気工業(株)、東京大学である。

2 事業の背景・目的

最近、IT関連機器に使用されるマイクロ金属部品のプレス成形用金型や、苛酷な600以上の高温で成形するガラスレンズ等の光学素子成形用金型の需要が増加している。しかし、現状のダイス鋼や超合金製の金型では極めて寿命が短いこと、被加工材の寸法精度が悪いこと、被加工材の離型性が悪いこと等が問題になっている。そのために、極めて高硬度で耐摩耗性が優れた焼結ダイヤモンド(SD)や、高温特性が優れた炭化珪素(SiC)セラミックスを用いたマイクロ部品やレンズ成形用の高精度、長寿命金型の研究開発を実施した。

3 研究開発成果の概要

本プロジェクトでは、素材のSiCセラミックスの強度向上と、被加工性を

改善するために、相対密度が99%以上で放電加工が可能な導電性を有したSiCセラミックス素材の開発、SDやSiCセラミックス素材への放電やレーザー加工による最適加工条件の確立、を検討した。併せて、マイクロ金型の成形面の鏡面性や離型性を向上させるために、5mm以下の細穴内部等の微細部分へのSiCセラミックコーティングとDLCコーティング条件の検討等を行った。

これらの開発技術を統合して、「幅500 μ m以下の溝で構成される銅合金製の熱交換素子を冷間プレス成形するためのSD製金型」、「V溝ピッチ精度が $\pm 0.15\mu$ mと高精度のファイバアレイを高温高压でプレス成形するSiCセラミックス製金型」、「カメラ等に使用可能な表面粗さが0.03 μ mRaの、ガラスレンズを熱間でプレス成形するSiCセラミックス製マイクロレンズ用金型」等のSD及びSiCセラミックス製の試作型を完成し、この試作型によるプレス成形テストにより、高精度のマイクロ金型であることを検証した。

以下、具体的な実施結果を示す。

3-1 SD製冷却(熱交換)素子成形用金型の作製

放電加工条件の最適化と加工回路の改造や加工精度の向上を図るとともにテーパ加工の最適化も含めて検討し、SEMOS型ヒートパイプの実現を



図-1 SEMOS型ヒートパイプ用金型

目指した。市販のSDを用いて平面度の目標値が $\pm 15\mu$ mの熱交換素子成形用のマイクロ金型(図-1)を試作し、結果として平面度 $\pm 10\mu$ mを達成した。耐久性も良好な結果が得られた。

3-2 SiCセラミックス製ファイバアレイ用金型の作製

0.15 μ mと高度なピッチ精度を得るために砥石と加工条件の最適化を行い、加工精度の向上を図った。特に連続V溝については、砥石の粒度により表面粗さが異なりピッチ精度に影響するので、表面粗さの向上を狙った。目的達成のため種々の研削砥石を準備し、開発されたSiCセラミックスの最適なV溝加工条件と砥石の粒度及びボンドを調査した。結果として、目標のV溝ピッチ精度 $\pm 0.15\mu$ mに対して+0.13 ~ -0.15 μ mのファイバアレイ用金型(図-2)が得られ、目標値を達成した。

3-3 SiCセラミックス製マイクロレンズ用金型の作製

使用砥石より表面粗さと加工精度への影響が左右されるため新たな砥石を使用し、安定した表面粗さを得られるように加工条件の調査と改善を実施し、開発されたSiCセラミックスに対し、最適なレンズ成形面の加工条件と砥石の粒度及びボンド種類を特定した。結果として、表面粗さで0.002 μ mRa、形状精度でP-V値0.08 μ mが得られ、目標値の表面粗さ0.03 μ mRaを大きく上回るLD集光ガラスレンズ成形用金型(図-3)が得られた。

3-4 開発金型を用いたプレス成形テスト及びその評価

SD製冷却素子成形用金型、SiCセラミックス製ファイバアレイ用金型、SiCセラミックス製マイクロレンズ用金型の3種類について評価を実施した。

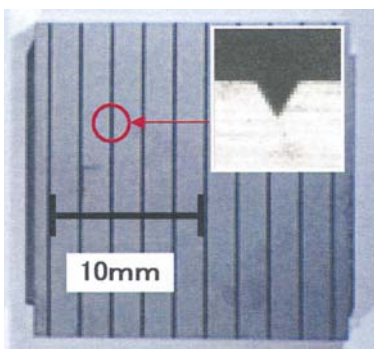


図-2 ファイバアレイ用金型

SD製冷却素子成形用金型

約0.5mmの厚さの純銅板を用いて、ヒートパイプの液体が流れる溝部をプレス成形した。大量のプレス成形テストにより、寿命や転写性等の型の性能評価を行った。大量のプレス成形テストは、精密金属部品の量産型のプレス成形機を有する大和テクノロジー(株)で実施した。プレス成形した溝付板はブレイジングにより蓋付後、溝部にアルコール等の液体を封入した。完成した冷却素子は、東京大学生産技術研究所の白樫研究室で熱伝導測定等の評価テストを行った。耐久試験の結果、同時に作製した超合金金型は40ショットで割損したが、SD製金型は500ショット以上の耐久性が得られた。また、プレス成形で得られた溝付板で冷却素子を作成したものの熱伝導測定結果は、10Wの冷却能力があることがわかった。

SiCセラミックス製ファイバアレイ用金型

ガラス製のファイバアレイを種々の高温高圧下でモールドプレス成形した。量産に近い大量のプレス成形を行い、金型の離型性や被加工材の寸法精度等の評価を行った。その結果、パイレックスの実成形実験で求められた最適成形条件で、被加工品のピッチ精度は目標以上の $125 \pm 0.2 \mu\text{m}$ を達成した。また、離型性についてはDLCコーティングの効果により連続成形が可能となった(硝材はパイレックスでも可能、石英ガラスにも適用可能と思われる)。

SiCセラミックス製マイクロレンズ用金型

LD集光用のマイクロガラスレンズを種々の高温高圧下でプレス成形した。量産に近い大量のプレス成形を行い、金型の離型性や被加工材の寸法精度等の評価を行った。その結果、金型精度は曲率半径 $r = 6.2\text{mm} \pm 0.36 \mu\text{m}$ 、表面粗さ目標 $Ra = 0.030 \mu\text{m}$ に対し $0.027 \mu\text{m}$ であった。離型性も良好であった。転写性については成形したレンズの精度で $P-V 0.2 \mu\text{m}$ 以下を達成。耐久性は150回成形後で $Ra = 0.030 \mu\text{m}$ を達成した。



図-3 マイクロレンズ用金型

3-5 開発金型の品質向上及びコスト低減

下記5項目について検討した。

SiCセラミックスの加工時間の短縮を図るためのニアネット焼結

原料の混合粉末の調製条件等を変化させた場合の、焼結時の収縮や変形を焼結シミュレーションにより解析を行い、実際の焼結との整合性を検討した。この結果からニアネット焼結に必要な形状等の諸条件を出し、ニアネット焼結によりマイクロ金型用SiCセラミックス素材を作製した。その結果、焼結シミュレーションにより焼結中の収縮、変形が推定できるようになり、ニアネット焼結が可能となった。

レーザー加工の検討

後加工を極力少なくするために、レーザー加工によって生じる変質層を調査した。併せて、変質層を少なくする条件やその除去方法を検討した。表面粗さ及び寸法精度の目標値を $1.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$

mRy 、 $\pm 7.5 \mu\text{m}$ とし、結果として $0.9 \sim 2.1 \mu\text{mRy}$ 、 $\pm 7.0 \mu\text{m}$ を達成した。SD、SiCの加工速度は目標値をそれぞれ 3.5 、 $5.5 \mu\text{m}^3/\text{min}$ としたが精度等を重視した結果、 2.7 、 $4.5 \mu\text{m}^3/\text{min}$ が限界であった。また、熱変質層を効率的に除去する方法としてSDを除去ツールとして放電加工機上で成形し、 $1 \mu\text{m}$ ずつ直接突き当てる方法を確認した。

放電加工の効率化

放電電圧、電流、パルス幅等を変化させることにより、加工速度の最適化を図った。その結果、加工開始前に導電性被膜(金の蒸着)をつけることにより当初400hrを要した加工時間をSDの粒径 $1 \mu\text{m}$ のもので $70 \sim 90\text{hr}$ 、 $20 \mu\text{m}$ で $100 \sim 120\text{hr}$ にすることができた。

DLCコーティング被膜の平滑化

穴内径部への成膜は、今までは煤状の被膜になることが問題となっていたためコーティング諸条件の調査を行った。平滑な被膜の成膜は、プラズマ発生源として表面粗さに影響を与える残渣等の発生が少ない高周波電極を導入した。その結果、平滑な被膜の成膜はプラズマ発生源としてイオンガン、高周波電極を使用した場合、残渣のない被膜が成膜できた。

SiCコーティング成膜速度の向上

反応温度の影響が大きいと思われるため、温度の影響を中心に調査を行った。温度を上げると結晶粒度や被膜の配向性が現状の被膜と比較して変化すると考えられるため、被膜の特性と加工性とを関連させながら調査した。その結果、成膜温度を 1250 とすることで従来の成膜速度より 1.7 倍($57 \mu\text{m}/\text{hr}$ $93 \mu\text{m}/\text{hr}$)を達成した。また、成膜温度を上げて鏡面性や緻密性は十分確保できることを確認した。

4 事業化計画について

3年間の研究開発により、SD及びSiCセラミックスを素材とするマイク

口金型を実現するための基礎的な製造技術がほぼ確立された。その結果、プロジェクト終了時には、IT関連の各種機器に使用される純Cu製のSEMOS型冷却素子等の金属マイクロ部品のプレス成形用SD製の金型や、光通信分野のファイバアレイやデジタルカメラ等に使用されるマイクロガラスレンズ等の光学素子のプレス成形が可能なSiCセラミックス製の金型を関連メーカーに実用テスト目的の試作サンプルを提供することが可能になった。

また、MIM(Metal Injection Molding: 金属粉末射出成形法) 金型向けに高温特性が優れるSiCセラミックス材の適用が検討されており、開発したレーザ加工技術の品質・精度が関連メーカーから高い評価を受け、今後具体的な試作金型の製作に向け調整を図ることとなった。

一方、SDとSiCセラミックス以外の新素材に対しても、開発した生産技術の応用展開が図れることが確認されており、セラミックス材中、比較的高い破壊靱性値を有する導電性ジルコニアは今後の事業化展開を図るうえで有望

な素材と考えており、現在自動車塗装用ノズルや硬質メディアを混入する洗浄用ノズルとして試作品を製作し、ユーザー企業に評価検討をしていただいている。引き続き、平成18年～20年の3か年を目安に、開発したSD製とSiCセラミックス製のマイクロ金型の用途拡大、生産性と品質の向上、需要家への認知、評価活動の展開と、生産と販売の体制の構築を図る予定である。

5 おわりに

プロジェクト終了時には、SD及びSiCセラミックスを素材とするマイクロ金型の製作技術が確立し、さらに1～2年間の、試作品の提供並びにその評価期間を経て、IT関連の精密部品やデジタルカメラ等のマイクロレンズの製造業界に供給可能となる。

SDマイクロ金型は、主に耐摩耗性の要求される高硬度金属部品のプレス成形用金型に適用でき、被加工材は銅合金やステンレス等に幅広く応用が可能なので、電子機器用部品メーカーや自動車や各種機械のマイクロ部品メーカーに供給される。市場規模は約100

億円/年程度が見込まれる。

SiCセラミックスマイクロ金型は、主に高温での耐酸化性や強度の要求されるガラスレンズ成形用金型に適用でき、ガラスレンズ以外にプリズムやその他各種の光学素子の成形にも需要が見込めるので、カメラメーカーや光通信メーカー等にも幅広く拡販が見込まれる。市場規模は約50億円/年程度が見込まれる。

いずれの場合も、本プロジェクトで開発されるマイクロ金型は、比較的設備投資金額が少なく、生産に移行が容易と判断される。プロジェクト終了の3年後には、市場の20～30%、すなわち30～45億円/年の売上が見込まれる。

これらの高性能マイクロ金型の実現により、IT関連の精密部品やデジタルカメラ等に用いられる高性能のマイクロレンズが安価に供給されるので、IT関連や光学機器業界への寄与が大きいと期待される。また、これにより産業界全体の活性化につながると考えられる。

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第242号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM 総務企画部までお寄せください。
本誌は地球環境保全を考慮し再生紙を使用しています。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2006年12月1日
発行人 小紫正樹
発行所 財団法人 金属系材料研究開発センター
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階
TEL (03) 3592-1282(代) / FAX (03) 3592-1285
ホームページURL <http://www.jrcm.or.jp/>
E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp