

## 2. 大面積電子ビーム照射による金型の手磨きレス鏡面仕上げ法の開発 (経済産業省地域新生コンソーシアム事業)

### 2. 1 概要

金型は日本の製造業を支えている基盤産業である。たとえば、中国をはじめアジア諸国に製造拠点を移した企業も金型は日本で製造している場合が多く、それほど金型はノーハウの塊であるといえる。一般に金型の加工は、多軸のマシニングセンタ、あるいは複雑な微細形状の場合には放電加工により形状加工がなされ、その後、表面粗さの低減、マイクロクラックや白層等の表面欠陥層の除去、形状精度改善のために最終的には手磨き仕上げが行われる。一部、簡単な形状の場合はロボットによる研磨が行われている例もあるが、ほとんどの金型は複雑な形状をしているため研磨による仕上げの自動化は難しい。そして、この手磨き工程は熟練者の技能に頼るところが多く、またかなりの長時間を要することから、その高能率化が従来からの課題となっている。

我々はこの工程を大面積電子ビーム照射法と言う従来存在しなかった技術で解決する画期的手法を開発した。すなわち、この方法では直径60mmという大面積を一挙に短時間で鏡面に仕上げることが可能である。これにより金型製作の納期の大幅な短縮、コスト低減が実現した。さらに、金型表面の撥水性や耐食性を表面平滑化と同時に向上させることができることも明らかとなっている。

### 2. 2 大面積電子ビーム照射法

電子ビーム加工は材料を除去する熱加工法の一つである。真空中( $10^{-6}$ Torr程度)で電子を発生させ、これを数十から百数十kVで加速し、それを電磁レンズを使って高エネルギーの細い束にして被加工物に当て、その高パワー密度によって入射点で被加工物を瞬間的に熔融・蒸発除去する加工法である。一般的には電子ビーム加工は、高パワー密度を得るために直径1mm以下に細く絞って使用され、主な用途は溶接である。我々が開発した大面積電子ビーム照射装置は従来のビームを細く絞るものとは異なり、最大でビーム直径60mmの大面積照射が可能であり、金属極表面を熔融・蒸発させるに十分なエネルギー密度を有する。大面積電子ビーム照射装置においては、予め(5~15) $\times 10^{-4}$ Torr程度のArガスをチャンバー内に混入しておき、電場と磁場を用いてプラズマを発生させる。このプラズマを利用して陰極付近の電界強度を飛躍的に増加させることで、陰極から放出された電子が高い電界によって加速される。そして工作物表面へ照射される。このようなメカニズムによって、ビームを絞ることなく金属材料表面を熔融するに十分なエネルギー密度での電子ビーム照射が可能であり、本装置においては、最大で直径60mmのビームを得ることができる(図1)。

### 2. 3 金型表面の長短時間での平滑化

この大面積電子ビームを金型材料表面に照射したときの表面の凹凸(粗さ曲線)と表面写真を図2に示す。

照射前の面は金型の複雑形状加工に利用される放電加工で加工された面であり、その表面粗さは $6\mu\text{mRz}$ である。この面に対して大面積電子ビームをパルス周波数0.2Hzで30回照射した場合の面を右側に示す。一回の照射はわずか数 $\mu$ 秒であり、5秒の休止時間を挟んで繰り返し30回照射している。従って処理時間の合計はわずか150秒である。大面積電子ビーム照射後の表面粗さは $0.7\mu\text{mRz}$ であり、鏡のような光沢面が得られる。ビームの直径は約60mmであり、60mmの大面積を一括してわずか150秒で鏡面に仕上げることに成功した。

大面積電子ビーム  
(有効ビーム径60mm)

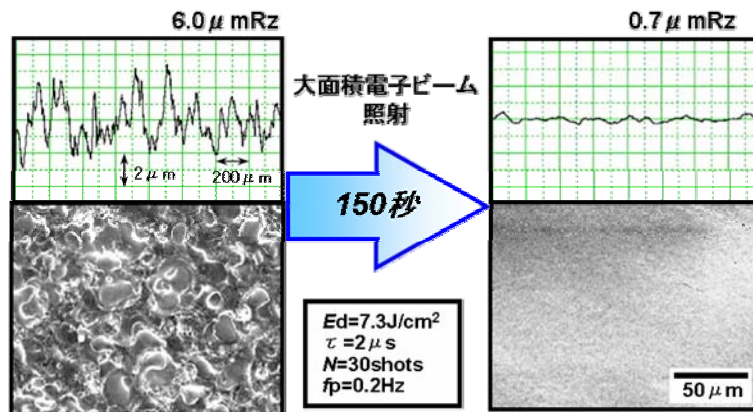
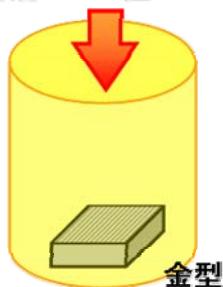


図1 大面積電子ビーム照射

図2 大面積電子ビーム照射による金型表面の平滑化



図3 曲面の平滑化

図3は曲面に対して大面積電子ビーム照射を行った場合の照射前後の写真である。照射後に非常に光沢のある鏡面が得られていることが分かる。

電子は質量が極めて小さく等電位線に対して垂直に照射される傾向があるため、傾斜した面に対してもある程度均一なエネルギー密度で照射される。したがってこのような曲面に対しても均一な鏡面が得られる。小型の金型であれば、ビーム移動や加工物の傾斜などを全く行うことなく、非常に容易に表面仕上げができることになる。また、大きいサイズの金型に対しては図4に示すように、ビームを移動させることで全体の均一な表面平滑化が可能となる。

図5は一年間大気中で放置後の電子ビーム照射試料と非照射試料である。中央の丸い部分が放電加工面、その周囲が研削面となっている。非照射試料の場合、研削面には至るところに錆が発生しており、またもともと耐食性に優れている放電加工面においてもマイクロな錆の発生が認められる。これに対して電子ビーム照射試料においては錆の発生は全く確認できず、放電加工面、研削面ともに電子ビーム照射によって得られた高い光沢を維持している。これらはもともと展示用として作成したものであったが、長時間放置しておいたことによって、耐食性の向上効果が見出された。また、撥水性の向上効果も確認しており、平滑化と同時に様々な表面改質効果を有することが明らかとなっており、金型の表面仕上げとして非常に有効であることが明らかとなっている。

### 3. おわりに

現在、大面積電子ビーム照射法による金型表面仕上げ法の高性能化の研究を継続して行っており、徐々に新しい仕上げ加工法として定着しつつある。一部には金型ではなくて、部品加工法としても有望視されており、他の分野での金属表面仕上げ法も検討している(図6)。

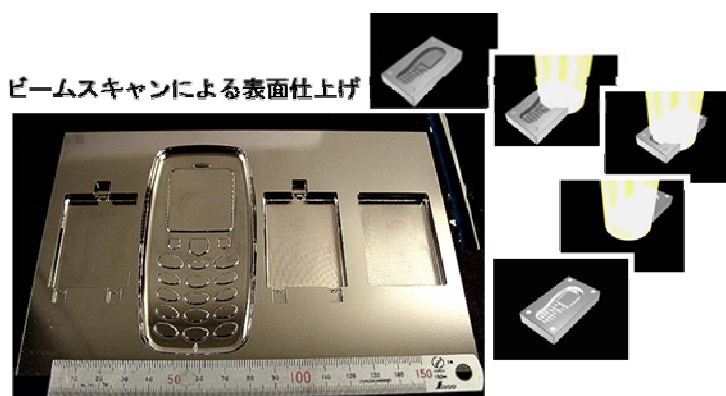


図4 ビームスキャンによる金型表面の平滑化

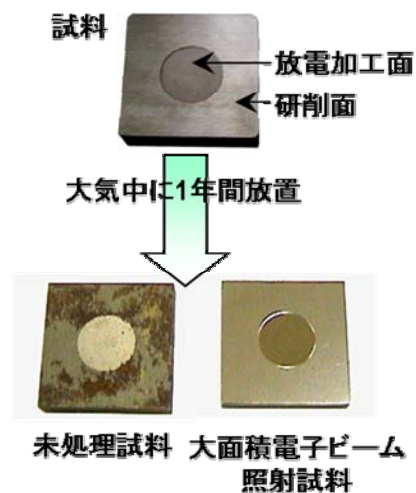


図5 耐食性向上の効果



図6 チタン合金製義歯床の表面仕上げ