

大面積電子ビームを用いた人工股関節骨頭への マイクロクレータ付与

Micro-Craters on the Artificial Head Made of Co-Cr-Mo Alloy with Large Area Electron Beam Irradiation

余田裕之・吉川満雄

Hiroyuki YODEN, Mitsuo YOSHIKAWA

キーワード 大面積電子ビーム照射/Co-Cr-Mo 合金/マイクロクレータ

KEY WORDS Large-area electron beam irradiation/Co-Cr-Mo alloy/Micro-craters

1 はじめに

現在、人工股関節の耐用年数は 15 年程度とされており、患者への負担を軽減するためにさらなる長期耐用化が望まれている^{1), 2)}。従来、人工股関節の長期耐用化は摺動部の表面粗さおよび形状精度を向上することによって行われてきた。しかし、摺動面の表面粗さが数ナノメートルであっても、人工股関節の長期耐用化は達成されていない。このため近年、機械加工・エッチングやスパッタリングといった様々な手法を用いて骨頭表面に機能性パターンを付与することにより、摺動部の潤滑性能を向上させることによって、人工股関節の長期耐用化を目指す試みがなされている^{3), 4)}。しかし、これらのパターン形状は生体関節の摺動部の軟骨表面が持つ形状(例えば直径 25 μm 深さ 2.5 μm)と比較して大きいことに加え、機械加工やエッチングによるパターン加工には数時間から数日程度必要であり、マイクロクレータ実現の障害となっている。

そこで本報告では、生体関節表面がもつ形状に近いマイクロクレータを人工股関節の骨頭表面に高効率で作製するため、超精密加工後の骨頭に大面積電子ビーム照射と研磨を用いた手法について提案を行う。

2 実験手法

図1に本実験で使用した大面積電子ビーム装置(Sodic : CRS-SOLO)の概略を示す⁵⁾。本装置は、まずアノード電極に約 5kV の電圧を印加し、チャンバー内に導入したアルゴンガス(0.05Pa)をイオン化する。次に、カソード電極に 20~30kV の負の加速電圧を印加することにより、カソード付近に電子が生成される。この電子がプラズマ内を通過することによりさらに加速される。これによって、最大直径 60mm の範囲で高い電流密度を持った電子ビーム照射が可能となる。

クレータの分布数と直径の制御を可能にするため、1 照射および総照射エネルギーをパラメータとして、

Co-Cr-Mo 合金の板材に電子ビーム照射実験を行った。1 照射あたりのエネルギーはあらかじめカロリメータで測定し、その平均値を用いた。また、総照射エネルギーは(1 照射あたりのエネルギー) $\times$ (照射回数)とした。照射によって作製したクレータの数と直径は、3 次元表面構造解析顕微鏡(ZYGO: NewView5000)による表面測定結果を画像解析することにより算出した。なお、測定領域は 2.88mm $\times$ 2.15mm であった。また、4 測定点の解析結果の平均を実験結果とした。

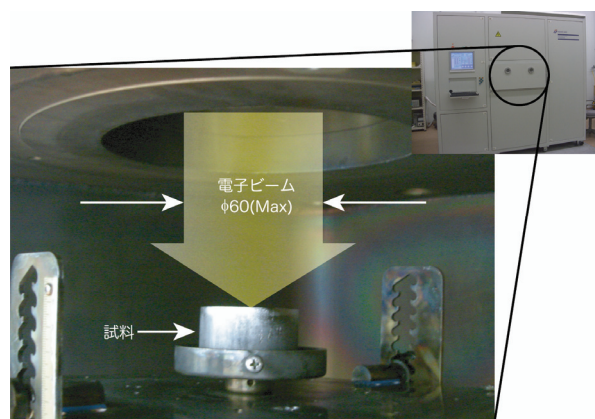


図 1 大面積電子ビーム装置

次にマイクロクレータを付与した Co-Cr-Mo 合金製ピンを超高分子量ポリエチレン(UHMWPE)製のプレート上で、生理食塩水中にて 1 軸運動の摩擦摩耗試験を行い、摩擦係数を測定した。試験時間は 4 時間であり、試験終了直前で定常状態での摩擦係数 4 点の平均値を測定値とした。表 1 に各ピンのビーム照射条件と面積比を示す。1 照射あたりのエネルギーを 5.7J/cm² に固定し 4 種類の照射回数にて照射後、研磨を行ったピン 4 つと、比較のため照射回数 10 回で未研磨のピンおよび電子ビーム未照射で研磨のみを行ったピン計 6 種類を用いた。ここで、面積比とは測定領域の全クレータ面積を測定

領域(2.88mm×2.15mm)で除した値である。この面積比は4箇所の測定結果の平均値を用いた。

3 実験結果

図2に3次元表面構造解析顕微鏡で測定したマイクロクレータの3次元プロファイルと断面形状の一例を示す。様々な直径のクレータがランダムに分散していることが確認できる。この結果から、摺動方向による影響のない潤滑性能の向上が期待できる。図2に示した例ではクレータ深さは0.6~3.0 μm 程度であった。照射条件を変化させてもクレータの最大深さは10 μm 程度であった。

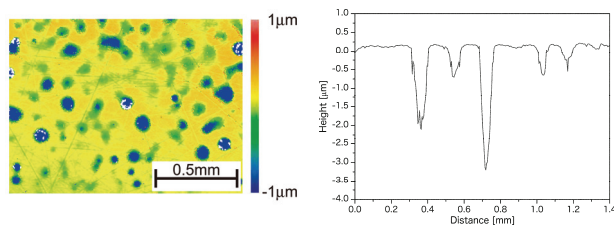


図2 マイクロクレータの分布例と断面形状例

図3に総照射エネルギーとマイクロクレータ数の関係を示す。これは1照射あたりのエネルギーが1.45~8.86 J/cm^2 までの9種類にて照射を行った場合の結果である。特に1照射あたりのエネルギーが1.45 J/cm^2 の場合は照射回数を増加させてもマイクロクレータは形成されなかった。このときの結果は水平軸上の点として示した。一方、1照射あたりのエネルギーが1.5 J/cm^2 以上の場合、総照射エネルギーに応じて、測定領域6.19mm²あたりのマイクロクレータ数は40個から300個まで変化した。総照射エネルギーが100 J/cm^2 以下ではクレータ数はエネルギー増加に伴って減少し、100 J/cm^2 以上では再び増加傾向を示すため、照射工程の高効率化のために総照射エネルギーは100 J/cm^2 以下とした。このとき、マイクロクレータの平均直径は30 μm から80 μm の範囲であった。

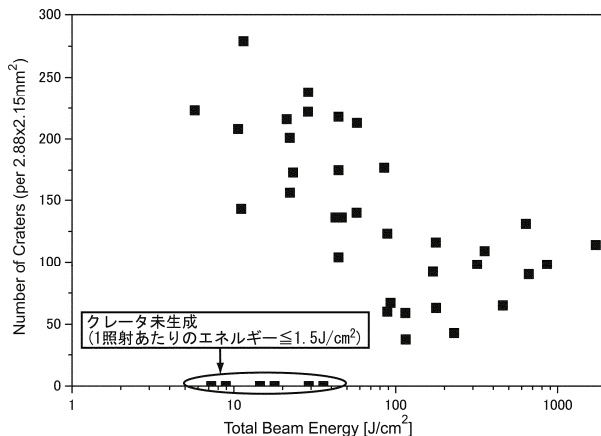


図3 総照射エネルギーとクレータ数

表1にCo-Cr-Mo合金製ピンの加工条件、面積比および平均摩擦係数を示す。電子ビーム照射後に研磨を行った場合の摩擦係数は未研磨の場合の半分と良好であった。この摩擦係数悪化の原因はクレータ作製時に2次的に生成する高さ数 μm のマイクロスパイクであると考えられる。電子ビーム照射後にマイクロスパイク除去のため、研磨が必要であることが分かる。ビーム照射を行った場合の摩擦係数はビーム未照射の場合と比較して良好であることから、マイクロクレータによってCo-Cr-Mo表面の潤滑性能が向上していることが確認できた。照射した条件同士の比較では15回照射の場合が悪化したため、最適な照射回数は5から10回と決定した。これは総照射エネルギーでは30~60 J/cm^2 に相当する。なお、このビーム照射条件での照射時間は約10分であり、従来のパターン作製と比較して高効率であるといえる。

表1 摺動試験用ピンの加工条件と摩擦係数

加工条件	面積比(%)	平均摩擦係数
照射 5回+研磨有	10.26	0.052
照射 10回+研磨有	9.33	0.054
照射 15回+研磨有	6.46	0.081
照射 10回+研磨無	—	0.113
研磨のみ	—	0.085

4 まとめ

電子ビーム照射によって、Co-Cr-Mo合金製骨頭表面に直径30~80 μm 、最大高さ10 μm のマイクロクレータを作製した。マイクロクレータは1照射あたりのエネルギーが1.5 J/cm^2 以上の場合、作製可能であった。また、ピンオンディスク摩擦摩耗試験の結果から、総照射エネルギーの最適値は30から60 J/cm^2 であった。

参考文献

- 1) 村上輝夫 編著: "生体工学概論", コロナ社 (2006) pp.157-171
- 2) 岡崎義光: "インプラント用金属材料の標準化動向および破損等の不具合解析", 金属, Vol.77 No.2(2007) pp.187-193
- 3) 勇田 敏夫, 西村 生哉, 家納 大次郎, 斉藤剛, 鈴木 富太, 田中 守: 特開 2003-4043
- 4) 濱田 忠彦, 安永 裕司: 特開 2008-54809
- 5) 宇野義幸, 岡田晃, 大面積電子ビームによる表面改質・鏡面加工技術, 機械の研究, 58, 3(2006), 339