인공뼈의 내마모 향상을 위한 이온주입기 개발

°양 형 렬, 최 병 호*, 한 전 건**, 정 기 형
서울대학교 원자핵공학과, *한국원자력연구소, **성균관대학교 금속공학과

Developement of ion implanter for wear-resistance improvement of artificial bone

°H.L. Yang, B.H. Choi*, J.G. Han**, K.H. Chung
Dep. of Nuclear Eng., SNU, *Korea Atomic Energy Research Institute, **Dep. of Metallogical Eng., Sung Kyun Kwan Uinv.

I 개요

티타늄 합금의 일종인 Ti-6Al-4V는 가볍고 기계적 강도가 클 뿐 아니라 생체친화성이 뛰어나서 인공뼈, 인공관절, 인공치아 등의 보철재료로서 널리 사용되고 있다. 특히 Ti-6Al-4V는 위와 같은 보철재료로서 갖추어야 할 가장 필수적인 요건인 생체친화성이 여타 재질에 비하여 월등히 우수하기 때문에 의용생체공학의 이용에 가장 각광받는 재료이다. 그러나 이 재료는 다른 재질에 비하여 내마모성 및 내식성이 상대적으로 취약하다는 단점이 있다. 따라서 이 단점을 인위적으로 보완한다면 Ti-6Al-4V는 인공뼈가 갖추어야 할 구비요건을 가장 우수하개 충족시켜주는 재료로서 등장하게 될 전망이다.

Ti-6Al-4V의 표면개질 기술 중 대표적인 것으로 고에너지의 이온을 표면에 주입시켜 내마모성, 내식성 향상 및 청결한 색감을 부여할 수 있는 공정이 개발중에 있으며, 최근 외국에서는 Ti-6Al-4V에 질소나 아르곤, 또는 탄소 이온주입을 함으로써 생체환경내에서 이 재료의 내식성 및 내마모성이 크게 향상된 결과를 발표하고 있다.[1][2][3] 따라서 이온 주입법을 통한 Ti-6Al-4V의 표면재질 향상은 인공뼈의 제조에 있어서 필수불가결한 요소가 될 것으로 예상된다.

II 장치 구성 및 동작특성

이와 같이 이온주입을 통한 Ti-6Al-4V 및 각종 재료의 표면개질을 위하여 최대 50mA, 100keV 의 이온빔 파라미터를 가지는 이온 주입기(Ion implanter)를 개발하였다. 개발된 이온 주입기는 크게 이온원, 가속관, 빔 수송계, 빔 진단계, 표적계, 진공계와 각종 전원장치로 구성되어 있으며, 각 구성요소들이 가지는 동작특성은 다음과 같다 :

1) 이온원

2단계 방전에 의해서 고밀도의 기체 이온을 발생시키고 고에너지로 가속시키기 위한 영역으로 발생된 이온을 인출하는 요소이다. DuoPIGatron 형태의 이 이온원은 개스주입구와 열전자 방출을 위한 필라멘트, 중간전극, 이온원 전자석, 양극 I, 양극 II, 표적음극, 인출전극등으로 구성되어 있으며, 다양한 종류의 개스로 이온을 발생시켜 대전류로 인출할 수 있는 특징이 있다. 질소이온을 인출하였을 때 도달한 최적의 빔 인출은 방전전류 4A, 이온원 전자석 전류 0.6A, 인출전압 20kV에서 40mA였다.

2) 가속관

이온원에서 인출된 이온빔을 우수한 빔 특성을 유지시키면서 최종 에너지로 가속시키는 요소로서 가속전극은 단일 공극형태로 이루어져 있으며 각 전극간에 균일한 전장구배를 위하여 분할저항(Dividing resistor)를 부착시켰다. 전극간의 절연체로는 고전압 절연재료인 원통형 Teflon을 사용하였으며, 2차 전자의 역류가속에 의해 발생되는 X-ray에 의한 절연체의 손상을 막기위하여 각 가속전극은 긴 원통형 구조로 되어있다. 질소 이온빔 인출시 최대 가속전압은 70kV 이내에서 안정하게 동작하였다.

3) 빔 수송계

이온빔 인출시의 빔 광학적인 요인과 공간전하 효과 등에 의해 발산된 빔을 집중(Focus)시키기 위한 이중 자기4극과 최종적으로 빔 모양을 결정하는 빔 차단판 (Slit)으로 구성되어 있다. 빔 집속요소는 공간전하의 영향을 받지 않는 집속력을 얻기위해 정자장에 의한 빔 집속특성을 가지는 자기4극을 선택하였으며 빔 차단판은 위, 아래로 동시에 움직여, 차단판을 통과한 빔의 모양과 크기를 조절할 수 있도록 하였다.

4) 빔 진단계

이온빔의 전류밀도를 측정하기 위한 패러데이 컵(Faraday cup)과 빔 직경방향의 전류밀도의 분포를 측정하기 위한 스캐너(Scanner)로 이루어져 있다. 빔에너지 10 - 30kV에서 전류밀도를 측정한 결과 12cm 이내에서 균일한 분포를 보였다.

5) 진공계

지속적인 고진공이 요구되는 이온원 및 가속관이 포함된 운전

함 진공계와 장착된 피조사물을 교체할 때 자주 진공을 파기해야 하는 표적함 진공계로 이루어져 있으며 두 진공계는 게이트 밸브(Gate valve)로 차단되어 있다. 빔 조사 동작시에는 게이트 밸브를 열어 이온원에서 인출된 빔이 표적까지 도달하도록 하였다. 운전함 진공계와 표적함 진공계의 진공펌프는 각각 유확산 펌프(Oil diffusion pump)와 로타리 펌프(Rotary pump)로 구성되어 있다.

6) 전원계

주요 전원계통은 150kV, 1A의 주가속전원, 40kV, 0.5A의 인출전원 및 그외 이온원 필라멘트 전원, 아크방전전원, 이온원 전자석전원, 자기4극전원, 진공계전원으로 이루어져 있다.

7) 표적계

피조사물을 장착하기 위한 원판과 이 원판을 회전시키기 위한 각종 모터(Motor)들로 이루어져 있다. 양방향 회전과 기울어짐이 가능한 회전원판은 다양한 형태의 피조사물을 최대한 효율적으로 장착시켜 동시에 조사를 함으로써 생산성을 크게 높일 수 있도록 설계되었다. 빔 조사 중 피조사물을 회전시킴으로써 피조사물이 균일한 빔 조사량을 획득할 수 있도록 하였으며 빔조사에 의한 피조사물의 온도상승을 최대한 억제하기 위하여 방사형의 냉각채널(Cooling channel)이 가공되어 있다.

Ⅲ 시험 결과

완성된 본 이온 주입기로 아르곤 이온을 Ti-6Al-4V에 조사하여 표면경도를 측정하는 실험을 수행하였다. 실험에서 사용된 시편으로서 직경 16φ, 두께 1cm의 원판모양의 Ti-6Al-4V을 사용하였으며 아르곤 이온을 $1\times10^{17}ions/cm^2$ 와 $1\times10^{18}ions/cm^2$의 조사량으로 주입하였으며 주입된 시편의 표면경도를 측정한 결과 조사량 $1\times10^{18}ions/cm^2$의 조사량일 때 200 gf의 하중에서 Knoop Hardness가 50 이상 증가하였다.

앞으로, 표면경도 향상 테스트와 더불어 동일한 시편에 질소 이온을 조사하여 내마모성, 내식성 및 표면색채 개량 테스트도 아울러 수행할 예정이다.

Ⅳ 참고문헌

[1] R.G. Vardiman and R.A. Kant, J. Appl. Phys., 53(1), 680 (1982)

[2] X. Qir, R.A. Dodd, J.R. Conrad, A. Chen and F.J. Worzala, Nucl. Instr. and Methd. in Phys. Research, B59/50, 951 (1991)

[3] Wang Xi, Yang Yunjie, and Zou Shichang, Nucl. Instr. and Methd. in Phys. Research, B80/81, 250 (1993)