دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

سمینار دفاع از رساله دکتری مهندسی مواد

با عنوان

طراحی و اصلاح سطح کاشتنی متخلخل Ti-6Al-4V ساخته شده به روش ذوب لیزری بستر پودر به منظور کاربرد در دیسک بین مهره‌ای ستون فقرات

ارائه‌کننده: مرضیه ابراهیمی

زمان: یکشنبه ۱۴۰۳/۰۵/۱۴ ساعت ۸:۰۰ صبح **مکان:** سالن سمینار دانشکده مهندسی مواد

اعضای کمیته داوری

اساتید راهنما: دکتر احمد کرمانپور، دکتر مهشید خرازیها

اساتید داور: دکتر سید مهران نحوی، دکتر مسعود عطاپور، دکتر مهدی ابراهیمیان حسین آبادی

چکیده

کاشتنی‌های متخلخل Ti-6Al-4V ساخته شده به روش‌های ساخت افزودنی (AM) به دلیل جلوگیری از پدیده سپر تنشی و اضمحلال استخوان کاربرد فراوانی در پزشکی پیدا کرده‌اند. با این حال، کاربرد گسترده این کاشتنی‌ها، به دلیل همبندی پایین با استخوان، رفتار تریبولوژیکی ضعیف و امکان رهایش یونهای مضر که می‌توانند خطر ایجاد عفونت را افزایش دهند، با چالش‌هایی روبرو است. بر همین اساس، این پژوهش در دو فاز شامل طراحی و ساخت کاشتنی‌های متخلخل Ti-6Al-4V و اصلاح سطح آنها با هدف رفع چالش‌های مذکور انجام شده است. بدین منظور، در فاز اول، کاشتنی‌هایی با سلول واحد جی‌روید و چهار اندازه حفره و ضخامت دیواره متفاوت به روش ساخت افزودنی ذوب لیزری بستر پودر (LPBF) با هدف نزدیک کردن خواص مکانیکی کاشتنی به خواص مکانیکی دیسک بین مهره‌ای ستون فقرات طراحی و ساخته شدند. در این بخش به ارزیابی اثرات متغیرهای هندسی و عملیات حرارتی پس از ساخت بر رفتار مکانیکی و خوردگی کاشتنی‌ها پرداخته شد. عملیات حرارتی در دمای ۸۵۰ °C به مدت ۲ ساعت و سپس سرمایش در کوره، منجر به تغییر ریزساختار از α′ به α/β شد. ارزیابی‌های مکانیکی نشان داد که با افزایش اندازه حفرات و انجام عملیات حرارتی، استحکام تسلیم و مدول یانگ نمونه‌های کاشتنی به مقادیر مربوط به دیسک بین‌مهره‌ای ستون فقرات نزدیک شده‌اند. بررسی‌های الکتروشیمیایی در محلول بافر فسفات سالین (PBS) در دمای ۳۷ °C نشان داد که افزایش اندازه حفره به دلیل کاهش سطح در معرض الکترولیت و عملیات حرارتی به واسطه تشکیل فاز تعادلی منجر به بهبود عملکرد خوردگی کاشتنی‌ها شد. در انتهای فاز اول، کاشتنی متخلخل با بالاترین اندازه حفره (۱۵۰۰ µm) و کمترین ضخامت دیواره (۳۰۰ µm) برای ادامه پژوهش در فاز دوم انتخاب شد. از آنجایی که رفتار تریبولوژیکی ضعیف و امکان رهایش یون‌های مضر می‌تواند کاربرد آلیاژ Ti-6Al-4V را برای ساخت کاشتنی دیسک بین‌مهره‌ای ستون فقرات با چالش مواجه سازند، در فاز دوم، اصلاح سطح کاشتنی‌ها از طریق لایه‌نشانی پوشش‌های هدفمند و تغییر در توپوگرافی سطحی، به منظور بهبود عملکرد تریبولوژیکی و رفتار زیستی (رفتار سلولی و خاصیت ضدباکتریایی) مد نظر قرار گرفت. همچنین، نقش عملیات اصلاح سطح بر رفتار خستگی کاشتنی‌های متخلخل نیز ارزیابی شد. به منظور اصلاح سطح کاشتنی‌ها، از روش‌های اکسیداسیون الکترولیتی پلاسمایی (PEO) و رسوب فیزیکی بخار (PVD) به روش کندوپاش مغناطیسی به طور متوالی استفاده شد. روش PEO برای بهبود عملکرد زیستی از طریق ایجاد لایه اکسید تیتانیوم متخلخل شامل ریزحفرات بر سطح داخلی و خارجی کاشتنی‌های متخلخل در نظر گرفته شد. سپس پوشش‌های چندلایه نیوبیوم/نیترید نیوبیوم (Nb/NbN) با پیکربندی‌های مختلف یک لایه، دو لایه و سه لایه، روی سطح کاشتنی‌های اصلاح سطح شده با PEO به روش PVD لایه‌نشانی شد. این کار با هدف بهبود عملکرد تریبولوژیکی و امکان ایجاد خاصیت ضدباکتریایی برای کاشتنی‌ها به واسطه ماهیت مقاوم به سایش پوشش‌های نیتریدی و تغییر در توپوگرافی سطحی انجام گرفت. ارزیابی ریزساختاری پوشش‌ها، تشکیل لایه اکسیدی TiO_2 به شکل فازهای روتیل و آناتاز پس از فرایند PEO و تشکیل پوشش نیتریدی NbN حین لایه‌نشانی از طریق PVD را تأیید کرد. افزایش تعداد لایه‌های Nb/NbN با هدف افزایش ضخامت انجام شد و مشخص گردید که با افزایش ضخامت، تعداد و قطر ریزحفرات ناشی از PEO کاهش یافته و سطح هموارتر گردیده است. یافته‌ها مؤید آن است که اصلاح سطح کاشتنی‌ها به روش PEO/PVD در مقایسه با کاشتنی‌های اصلاح سطح نشده/اصلاح سطح شده با PEO، رفتار تریبولوژیکی بهتری از خود بروز داده‌اند. در گروه کاشتنی‌های اصلاح سطح شده با PEO/PVD، پوشش Nb/NbN دو لایه‌ای، بهترین رفتار تریبولوژیکی را از خود نشان داده و نرخ سایش آن در مقایسه با زیرلایه Ti-6Al-4V به طور قابل توجهی کاهش یافت. آزمون خستگی نشان داد که اصلاح سطح منجر به کاهش عمر خستگی در کاشتنی‌های متخلخل گردید. عمر خستگی کاشتنی‌های متخلخل اصلاح سطح شده با PEO در مقایسه با کاشتنی‌های اصلاح سطح نشده کاهش یافت. تضعیف در عمر خستگی به وجود ریزحفرات، ریزترک‌ها و زبری بالا در سطح پوشش PEO به عنوان مکان‌های مستعد جوانه‌زنی ترک خستگی نسبت داده شد. با این حال، نتایج نشان داد که لایه‌نشانی پوشش‌های چندلایه Nb/NbN بر سطح کاشتنی‌های اصلاح سطح شده با PEO، از طریق کاهش تخلخل‌های سطحی ناشی از PEO و کاهش زبری سطحی، عمر خستگی را نسبت به کاشتنی اصلاح سطح شده با PEO بهبود می‌بخشد. هر چقدر ضخامت پوشش‌های چند لایه Nb/NbN افزایش یافت، عمر خستگی به کاشتنی اصلاح سطح نشده نزدیک‌تر شد به گونه‌ای که عمر خستگی برای کاشتنی‌های اصلاح سطح شده با PEO/PVD در نمونه‌های با Nb/NbN دو لایه‌ای و Nb/NbN سه لایه‌ای به ترتیب به حدود ۸۱ ٪ و ۸۴ ٪ عمر خستگی نمونه‌های اصلاح سطح نشده رسید. یافته‌ها نشان داد که اصلاح سطح از طریق PEO و PEO/PVD با تغییر در توپوگرافی سطحی منجر به بهبود رفتار زیستی کاشتنی Ti-6Al-4V از دیدگاه زیست‌فعالی و چسبندگی سلولی گردید. علاوه بر این، ارزیابی‌های ضدباکتریایی مؤید آن بود که ایجاد توپوگرافی سطحی هدفمند (ریزحفرات میکرو/نانو مقیاس) پس از لایه‌نشانی پوشش‌های Nb/NbN دو لایه‌ای بر سطح کاشتنی‌های اصلاح سطح شده با PEO، منجر به کاهش چسبندگی باکتری‌ها به سطح شده است. در مجموع، به نظر می‌رسد اصلاح سطح کاشتنی‌های Ti-6Al-4V به روش PEO/PVD رفتار تریبولوژیکی و زیستی را ارتقاء داده، و تأثیر منفی نسبتاً کمی بر عمر خستگی کاشتنی بر جای می‌گذارد. بر این اساس، اصلاح سطح هدفمند کاشتنی Ti-6Al-4V به روش PEO/PVD به عنوان یک گزینه امیدبخش جهت کاربرد در دیسک بین‌مهره‌ای ستون فقرات ساخته شده به روش ساخت افزودنی ذوب لیزری بستر پودر پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: *کاشتنی متخلخل فلزی، دیسک بین مهره‌ای ستون فقرات، ذوب لیزری بستر پودر، اکسیداسیون الکترولیتی پلاسمایی، رسوب فیزیکی بخار، پوشش مقاوم به سایش، رفتار زیستی، عملکرد خستگی.*