



طراحی و ساخت مفصل زانو با استفاده از آلیاژهای حافظه دار

سیدمحسن صفی^۱، پریا بخششیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی، دانشگاه سمنان،

seyed1mohsen2safy@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، pariabakhsheshiyan@gmail.com

خلاصه

در این تحقیق، به بررسی پتانسیل استفاده از آلیاژهای حافظه دار در ساخت مفاصل مصنوعی زانو پرداخته خواهد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که آلیاژهای حافظه دار به دلیل خواص منحصر به فرد خود، می توانند عملکرد مفاصل مصنوعی را به طور قابل توجهی بهبود بخشند. آلیاژهای حافظه دار به دلیل خاصیت سوپراالاستیسیته، می توانند سایش را کاهش داده و عمر مفصل را افزایش دهند همچنین تطابق بهتر مفصل مصنوعی ساخته شده با آلیاژهای حافظه دار با بافت های بدن، می تواند درد پس از جراحی را کاهش دهد افزون بر آن طراحی بهینه مفصل مصنوعی با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی، می تواند عملکرد مفصل را بهبود بخشد. مواردی که بیان شد از مهم ترین یافته های این تحقیق بودند. همچنین استفاده از آلیاژهای حافظه دار به عنوان ماده اصلی در ساخت مفصل مصنوعی، طراحی بهینه مفصل با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی.

کلمات کلیدی: آلیاژهای حافظه دار، مفصل مصنوعی، سوپراالاستیسیته، چاپ سه بعدی، شبیه سازی، آرتروز زانو

۱. مقدمه

این راهنما به در عصر حاضر، با افزایش امید به زندگی و پیر شدن جمعیت جهان، مشکلات مرتبط با سلامت استخوان ها و مفاصل به یکی از چالش های اصلی حوزه پزشکی تبدیل شده است. در میان این مشکلات، آرتروز زانو جایگاه ویژه ای دارد. این بیماری، که با تخریب تدریجی غضروف مفصلی همراه است، می تواند زندگی افراد را به شدت تحت تأثیر قرار دهد و باعث درد مزمن، محدودیت حرکتی و کاهش چشمگیر کیفیت زندگی شود. در طول دهه های گذشته، مفاصل مصنوعی زانو به عنوان یکی از موفق ترین درمان های آرتروز پیشرفته زانو شناخته شده اند. این ایمپلنت های مهندسی شده، با جایگزینی بخش آسیب دیده مفصل، به بیماران امکان می دهند تا دوباره به زندگی فعال خود بازگردند. با این حال، مفاصل مصنوعی کنونی، علی رغم تمام مزایای خود، همچنان با محدودیت هایی مواجه هستند که نیاز به بهبود و نوآوری در این زمینه را برجسته می کند. در این راستا، پژوهش حاضر به بررسی امکان استفاده از آلیاژهای حافظه دار در طراحی و ساخت مفاصل مصنوعی زانو می پردازد. این آلیاژها، با خواص منحصر به فرد خود مانند حافظه شکلی و سوپراالاستیسیته، پتانسیل بالایی برای بهبود عملکرد و افزایش طول عمر مفاصل مصنوعی دارند.



در فصل‌های پیش رو، ضمن بررسی دقیق مبانی نظری و پیشینه تحقیق، به ارائه جزئیات طراحی، روش‌های ساخت و نتایج آزمایش‌های انجام شده خواهیم پرداخت. امید است که این پژوهش، گامی مؤثر در جهت ارتقای کیفیت زندگی بیماران مبتلا به آرتروز زانو و پیشرفت دانش در حوزه مهندسی پزشکی باشد.

۱-۱- اهمیت مفاصل مصنوعی زانو: چرا به آن‌ها نیاز داریم؟

آرتروز زانو، همانند سایه‌ای شوم، بر زندگی میلیون‌ها نفر در سراسر جهان سایه افکنده است. درد مزمن، محدودیت حرکتی و کاهش کیفیت زندگی، از جمله عوارض شایع این بیماری هستند. در چنین شرایطی، مفاصل مصنوعی زانو همچون نوری در تاریکی می‌درخشند. این ایمپلنت‌های مهندسی شده، با جایگزینی بخش آسیب‌دیده مفصل، به بیماران امکان می‌دهند تا دوباره به زندگی فعال خود بازگردند. [۱]

۱-۲- آمار تکان‌دهنده: شیوع آرتروز زانو

آمارها حکایت از شیوع گسترده آرتروز زانو دارند. با افزایش سن جمعیت جهان، این بیماری به یکی از مهم‌ترین چالش‌های حوزه بهداشت و درمان تبدیل شده است. این آمارها نه تنها اهمیت مفاصل مصنوعی را برجسته می‌کنند، بلکه ضرورت تحقیقات گسترده در این زمینه را نیز نشان می‌دهند. این میزان در ایران ۲۰ درصد گزارش شده که با توجه به بیشتر بودن جمعیت جوان ایران میزان شیوع این بیماری در افراد مسن ایران بسیار بیشتر است. [۲]

۱-۳- محدودیت‌های مفاصل مصنوعی کنونی: آیا می‌توان بهتر عمل کرد؟

مفاصل مصنوعی کنونی، با وجود تمام مزایای خود، از محدودیت‌هایی نیز رنج می‌برند. عمر محدود، سایش و پارگی اجزا، درد پس از جراحی و عدم تطابق کامل با بافت‌های بدن، از جمله این محدودیت‌ها هستند. این چالش‌ها محققان را بر آن داشته‌اند تا به دنبال مواد و طراحی‌های جدیدی باشند که بتوانند عملکرد مفاصل مصنوعی را بهبود بخشند. [۳] [۴]

۱-۴- آلیاژهای حافظه‌دار: طلوع ستاره‌ای نو در آسمان مهندسی پزشکی

آلیاژهای حافظه‌دار، مواد شگفت‌انگیزی هستند که توانایی بازگشت به شکل اولیه خود پس از تغییر شکل را دارند. این ویژگی منحصر به فرد، پتانسیل بالایی برای کاربرد در ایمپلنت‌های پزشکی، از جمله مفاصل مصنوعی، دارد. [۵]



۱-۵- تعریف و مکانیسم عملکرد: چگونه آلیاژهای حافظه‌دار کار می‌کنند؟

آلیاژهای حافظه‌دار، معمولاً آلیاژهایی بر پایه نیکل-تیتانیوم هستند که دارای ساختار کریستالی خاصی هستند. این ساختار به آلیاژ اجازه می‌دهد تا با تغییر دما یا اعمال تنش، شکل خود را تغییر داده و سپس به شکل اولیه بازگردد. این پدیده، به دلیل تغییرات در ساختار کریستالی آلیاژ رخ می‌دهد. [۶]

۱-۶- خواصی که آلیاژهای حافظه‌دار را خاص می‌کند: حافظه شکل و سوپرالاستیسیته

خاصیت حافظه شکل به آلیاژ اجازه می‌دهد تا پس از تغییر شکل پلاستیکی، با اعمال محرک حرارتی یا مکانیکی به شکل اولیه خود بازگردد. خاصیت سوپرالاستیسیته به آلیاژ اجازه می‌دهد تا انرژی مکانیکی زیادی را جذب کرده و تغییر شکل‌های الاستیک بزرگی را بدون ایجاد تغییر شکل دائمی تحمل کند. [۵] [۶]

۱-۷- کاربردهای قبلی: آلیاژهای حافظه‌دار در پزشکی چه کرده‌اند؟

آلیاژهای حافظه‌دار قبلاً در برخی ایمپلنت‌های پزشکی مانند استنت‌های عروقی و سیم‌های ارتودنسی کاربرد داشته‌اند. موفقیت این کاربردها، محققان را به استفاده از این آلیاژها در مفاصل مصنوعی امیدوار کرده است. [۷]

۱-۸- هدف تحقیق: نوآوری در خدمت سلامت

هدف اصلی این تحقیق، طراحی و ساخت یک مفصل زانو مصنوعی با استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار است. با بهره‌گیری از خواص منحصر به فرد این آلیاژها، انتظار می‌رود که مفصل مصنوعی طراحی شده، عمر طولانی‌تر، سایش کمتر، تطابق بهتر با بافت‌های بدن و عملکرد نزدیک‌تر به مفصل طبیعی داشته باشد.

۱-۹- تأثیر بر کیفیت زندگی: گامی رو به سوی آینده‌ای بهتر

موفقیت در این تحقیق، می‌تواند تحولی عظیم در درمان آرتروز زانو ایجاد کند. مفصل مصنوعی طراحی شده، می‌تواند درد را کاهش دهد، عملکرد مفصل را بازگرداند و به بیماران اجازه دهد تا به زندگی فعال خود بازگردند.



۱-۱۰- نوآوری‌های تحقیق: چرا این تحقیق متفاوت است؟

این تحقیق با ارائه یک رویکرد نوآورانه در طراحی و ساخت مفاصل مصنوعی زانو، به دنبال حل برخی از چالش‌های موجود در این حوزه است. نوآوری‌های اصلی این تحقیق عبارتند از:

الف) استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار: این آلیاژها به دلیل خواص منحصر به فرد خود، پتانسیل بالایی برای بهبود عملکرد مفصل مصنوعی دارند.

ب) طراحی بهینه مفصل: با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، یک مدل سه بعدی دقیق از مفصل طراحی شده است که عملکرد بهینه آن را تضمین می‌کند.

پ) استفاده از روش‌های ساخت پیشرفته: برای ساخت مفصل مصنوعی از روش‌های ساخت پیشرفته مانند چاپ سه بعدی استفاده خواهد شد.

در فصل‌های بعدی، به بررسی دقیق‌تر مواد و روش‌های مورد استفاده، طراحی مفصل و نتایج حاصل از آزمایش‌ها خواهیم پرداخت همچنین با همراهی در این سفر علمی، به درک عمیقی از این نوآوری بزرگ در حوزه تلفیقی مهندسی پزشکی و مهندسی مکانیک دست خواهیم یافت.

۲. مروری جامع بر مطالعات مرتبط

در فصل پیشین، به اهمیت مفاصل مصنوعی زانو و پتانسیل بالای آلیاژهای حافظه‌دار در این حوزه پرداخته شد. حال، برای آنکه بتوان به طور کامل به عمق این موضوع نفوذ کرد و چشم‌اندازی روشنی از تحقیق پیش رو داشت، نیاز است به یک سفر کاوشگرانه به دنیای مطالعات مرتبط. در این فصل، به بررسی جامع انواع مفاصل مصنوعی زانو، مواد مختلفی که در ساخت آن‌ها به کار می‌رود و مطالعات پیشینی که با هدف استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار در این حوزه انجام شده‌اند، پرداخته خواهد شد. این بررسی دقیق، نه تنها به آگاه شدن در مورد آخرین دستاوردهای علمی در این زمینه کمک می‌کند، بلکه چالش‌ها و موانعی را که محققان پیشین با آن‌ها مواجه بوده‌اند، شناسایی کرده و راهکارهایی برای رفع آن‌ها ارائه می‌دهد.

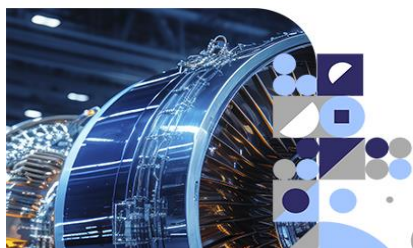
۲-۱- انواع مفاصل مصنوعی زانو [۱]

مفاصل مصنوعی زانو در انواع مختلفی طراحی و تولید می‌شوند که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. انتخاب نوع مفصل مصنوعی به عوامل مختلفی از جمله سن بیمار، سطح فعالیت، وضعیت استخوان‌ها و میزان آسیب دیدگی مفصل بستگی دارد. از جمله انواع رایج مفاصل مصنوعی زانو می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) مفاصل مصنوعی سطحی: در این نوع مفاصل، تنها سطح مفصلی آسیب دیده جایگزین می‌شود. این نوع مفاصل برای بیماران جوان‌تر و با آسیب‌های کمتر مناسب‌تر است.

ب) مفاصل مصنوعی کامل: در این نوع مفاصل، تمام سطوح مفصلی آسیب دیده جایگزین می‌شوند. این نوع مفاصل برای بیماران مسن‌تر و با آسیب‌های شدیدتر مناسب‌تر است.

پ) مفاصل مصنوعی قابل انعطاف: این نوع مفاصل از مواد پلیمری انعطاف‌پذیر ساخته شده‌اند و به بیماران امکان حرکت طبیعی‌تری را می‌دهند.



۲-۲- مواد مورد استفاده در مفاصل مصنوعی [۱]

مواد مورد استفاده در ساخت مفاصل مصنوعی باید دارای خواص مکانیکی مناسب، زیست سازگاری و مقاومت در برابر سایش باشند. از جمله مواد رایج مورد استفاده در مفاصل مصنوعی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) فلزات: از جمله تیتانیوم، کبالت-کروم و آلیاژهای فولاد زنگ نزن. این مواد دارای استحکام بالا و مقاومت در برابر سایش هستند.

ب) پلی اتیلن: یک پلیمر با چگالی بالا که به عنوان سطح لغزنده در مفاصل مصنوعی استفاده می شود.

پ) سرامیک ها: از جمله آلومینا و زیرکونیا. این مواد دارای سختی بالا و مقاومت در برابر سایش هستند.

۲-۳- مطالعات قبلی در مورد استفاده از آلیاژهای حافظه دار در مفاصل مصنوعی [۷]

در سال های اخیر، مطالعات متعددی در مورد استفاده از آلیاژهای حافظه دار در مفاصل مصنوعی انجام شده است. این مطالعات نشان داده اند که آلیاژهای حافظه دار به دلیل خواص منحصر به فرد خود، پتانسیل بالایی برای بهبود عملکرد مفاصل مصنوعی دارند. برخی از مزایای استفاده از آلیاژهای حافظه دار در مفاصل مصنوعی عبارتند از:

الف) کاهش سایش: آلیاژهای حافظه دار به دلیل خاصیت سوپرا الاستیسیته، می توانند انرژی مکانیکی را جذب کرده و از سایش اجزای مفصل جلوگیری کنند.

ب) افزایش عمر مفصل: کاهش سایش و افزایش تطابق با بافت های بدن، منجر به افزایش عمر مفصل مصنوعی می شود.

پ) کاهش درد: تطابق بهتر مفصل مصنوعی با بافت های بدن، می تواند درد پس از جراحی را کاهش دهد.

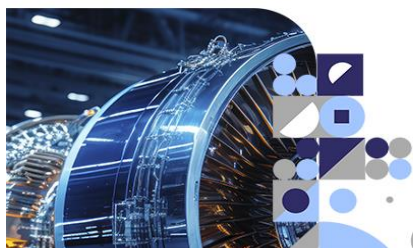
۲-۴- چالش های موجود در طراحی و ساخت مفاصل مصنوعی با استفاده از آلیاژهای حافظه دار [۸]

با وجود مزایای فراوان، استفاده از آلیاژهای حافظه دار در مفاصل مصنوعی با چالش هایی نیز همراه است. از جمله این چالش ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) پیچیدگی طراحی: طراحی مفاصل مصنوعی با استفاده از آلیاژهای حافظه دار نیازمند دانش تخصصی و استفاده از نرم افزارهای پیشرفته است.

ب) عدم وجود استانداردهای مشخص: هنوز استانداردهای مشخصی برای طراحی و ساخت مفاصل مصنوعی با استفاده از آلیاژهای حافظه دار وجود ندارد.

پ) هزینه بالا: تولید آلیاژهای حافظه دار و ساخت مفاصل مصنوعی با استفاده از این آلیاژها، هزینه بالایی دارد.



۳. مواد و روش ها

۳-۱- انتخاب آلیاژ و دلایل آن

با آلیاژهای حافظه دار به دلیل خواص منحصربه فرد خود، گزینه های مناسبی برای استفاده در مفصل زانو هستند. در این زمینه، دو نوع آلیاژ حافظه دار که به طور خاص مناسب هستند شامل نیتینول و آلیاژهای فرومغناطیسی می باشند. [۱۱] [۱۲]

۱- نیتینول:

نیتینول، که ترکیبی از نیکل و تیتانیوم است، یکی از معروف ترین آلیاژهای حافظه دار است. این آلیاژ دارای خواص زیر می باشد:

الف) اثر حافظه شکلی: نیتینول می تواند پس از تغییر شکل، با گرما به شکل اولیه خود بازگردد. این خاصیت به آن امکان می دهد که در شرایط مختلف به شکل های مختلفی تغییر کند و در نهایت به حالت اولیه خود برگردد.
ب) سوپرالاستیسیته: نیتینول تحت بارگذاری مکانیکی می تواند تغییر شکل زیادی را تحمل کند و پس از برداشتن بار به حالت اولیه خود بازگردد. این ویژگی برای مفصل زانو که در معرض نیروهای مختلف قرار دارد، بسیار مناسب است.

۲- آلیاژهای فرومغناطیسی: [۱۱]

این آلیاژها می توانند تحت تأثیر میدان های مغناطیسی تغییر شکل دهند و به همین دلیل در برخی از کاربردهای پزشکی و مهندسی مورد استفاده قرار می گیرند. این نوع آلیاژها به دلیل قابلیت تغییر شکل و بازیابی، می توانند در طراحی مفصل مصنوعی به کار روند.
انتخاب آلیاژهای حافظه دار مناسب برای مفصل زانو به دلیل خواص خاصی مانند اثر حافظه شکلی و سوپرالاستیسیته، می تواند به بهبود عملکرد و دوام مفصل های مصنوعی کمک کند. نیتینول به ویژه به دلیل سازگاری زیستی و قابلیت های مکانیکی خود، یکی از بهترین گزینه ها در این زمینه است.

۳- مشخصات آلیاژ حافظه دار نیتینول: [۱۲]

نیتینول یکی از معروف ترین و پیشرفته ترین آلیاژهای حافظه دار است که از ترکیب نیکل و تیتانیوم تشکیل شده است.

۱. ترکیب شیمیایی: نیتینول از ۷/۵۵ درصد نیکل و ۹/۴۳ درصد تیتانیوم تشکیل شده است.

۲. ساختار بلوری: در دمای پایین، نیتینول دارای ساختار مارتنزیت مونوکلینیک و نرم است که به راحتی خم می شود. در دمای بالا، ساختار آستنیت مکعبی و کشسان پیدا می کند.

۳. چقرمگی و مقاومت در برابر خستگی: نیتینول دارای چقرمگی بالایی است که به آن اجازه می دهد در برابر خستگی و شکست مقاوم باشد. این خاصیت به ویژه در کاربردهای دائمی و تحت بارگذاری مکرر اهمیت دارد.



۴. مقاومت در برابر خوردگی: این آلیاژ به دلیل ترکیب شیمیایی خود، مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارد که آن را برای استفاده در محیط‌های مختلف، به ویژه در بدن انسان، مناسب می‌سازد.

۵. قابلیت شکل‌پذیری: نیتینول قابلیت شکل‌پذیری بالایی دارد که به آن اجازه می‌دهد در فرآیندهای تولید مختلف به اشکال و اندازه‌های متفاوت تبدیل شود.

۶. دمای انتقال: نیتینول دارای دمای انتقال مشخصی است که در آن خواص مکانیکی آن تغییر می‌کند. این دما می‌تواند با ترکیب شیمیایی و فرآیند تولید تغییر کند. این خواص مکانیکی نیتینول را به یکی از بهترین گزینه‌ها برای کاربردهای پزشکی، از جمله در ساخت مفاصل مصنوعی و ابزارهای جراحی، تبدیل کرده است.

۳-۲- مقایسه با آلیاژهای دیگر

۱. سازگاری زیستی [۱۴] [۱۵]

الف) نیتینول: این آلیاژ دارای سازگاری زیستی بالایی است و به همین دلیل در کاربردهای پزشکی، از جمله در ساخت مفاصل مصنوعی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

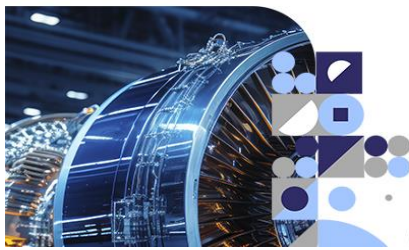
ب) آلیاژهای فرومغناطیسی: این آلیاژها ممکن است به دلیل ترکیب شیمیایی و ساختار خود، سازگاری کمتری با بافت‌های بیولوژیکی داشته باشند و ممکن است در برخی موارد موجب واکنش‌های نامطلوب شوند.

۲. کاربردها [۱۴] [۱۵]

الف) نیتینول: به دلیل خواص منحصر به فرد خود، نیتینول در ساخت مفاصل‌های مصنوعی، ابزارهای جراحی و سایر دستگاه‌های پزشکی به کار می‌رود.

ب) آلیاژهای فرومغناطیسی: این آلیاژها بیشتر در کاربردهایی که نیاز به کنترل مغناطیسی دارند، مانند حسگرها و عملگرهای مغناطیسی، مورد استفاده قرار می‌گیرند و کمتر در ساخت مفاصل‌های زانو کاربرد دارند.

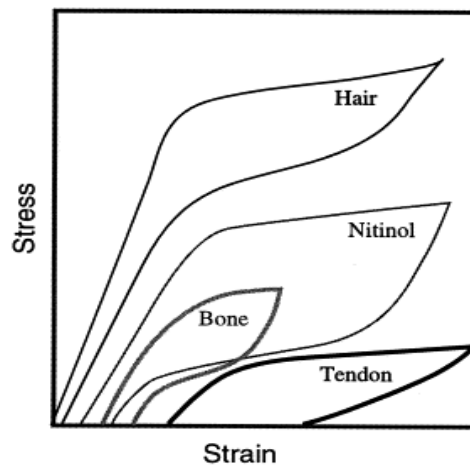
با توجه به خواص مکانیکی، سازگاری زیستی و کاربردهای مختلف، نیتینول به عنوان آلیاژ حافظه‌دار مناسب‌تری برای ساخت مفاصل زانو نسبت به آلیاژهای فرومغناطیسی به شمار می‌آید. خاصیت حافظه‌شکلی و سوپرا الاستیسیته نیتینول آن را به گزینه‌ای ایده‌آل برای این نوع کاربرد تبدیل کرده است. [۱۴]



۳-۳- شباهت‌های نیتینول با مواد بیولوژیکی

نیتینول به دلیل رفتار تنش-کرنش مشابه با بافت‌های طبیعی مانند استخوان و تاندون، قابلیت ترمیم سریع‌تر و آسیب کمتر به بافت‌های اطراف را فراهم می‌آورد. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که نیتینول در ساخت استنت‌ها و ابزارهای پزشکی دیگر که نیاز به تطابق با بافت‌های زنده دارند، بسیار مناسب باشد. [۱۴]

چند نمونه از این منحنی‌ها در شکل ۱ قابل مشاهده است:



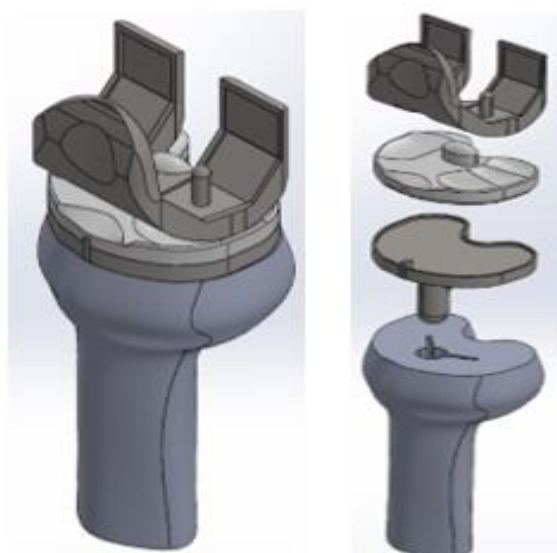
شکل ۱- منحنی‌های تنش-کرنش چندین ماده بیولوژیکی طبیعی بر روی منحنی‌های فولاد ضد زنگ و نیتینول قرار گرفته‌اند. شباهت نزدیک نیتینول به مواد طبیعی منجر به زمان ترمیم سریع‌تر و آسیب کمتر به بافت اطراف می‌شود. [۸]



۴. طراحی مفصل

۴-۱- مدل سه بعدی مفصل [۱۰]

مدل سه بعدی مفصل در نرم افزار سالیدورکس طراحی شد و در شکل ۲ قابل مشاهده است:

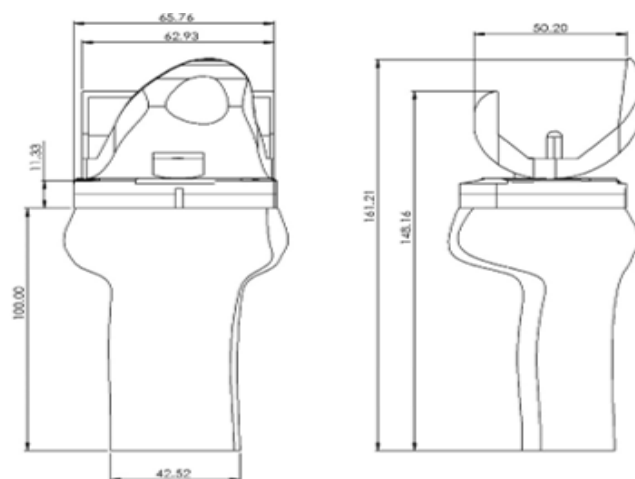


شکل ۲- مدل سه بعدی و نمای انفجاری مفصل زانو



۴-۲- ابعاد و هندسه اجزا [۱۰]

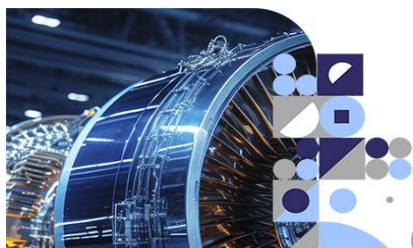
شکل ۳ و ۴ به ترتیب نشان دهنده ی ابعاد مفصل طراحی شده و به کار گیری آن به عنوان مفصل مصنوعی زانو می باشد.



شکل ۳- نمای روبه رو و نمای جانبی همراه با ابعاد



شکل ۴- استفاده و جای گذاری مفصل مصنوعی ساخته شده



۵. روش های ساخت

۵-۱- روش های ساخت آلیاژ نیتینول [۹]

روش های مختلفی برای تولید این آلیاژ وجود دارد که در ادامه به مهم ترین آن ها اشاره می شود:

۱- ریخته گری:

این روش شامل ذوب کردن نیکل و تیتانیوم و سپس ریختن آن ها در قالب های مناسب است. این روش به دو قسمت تقسیم می شود:

الف) ریخته گری القایی: در این روش، مواد در کوره های القایی ذوب می شوند که دقت بالایی در کنترل ترکیب شیمیایی و دما دارد.

ب) ریخته گری مقاومتی: در این روش از کوره های مقاومتی برای ذوب مواد استفاده می شود. این روش نیز به کنترل دقیق ترکیب کمک می کند، اما ممکن است به دلیل حرارت بالا، آلودگی هایی ایجاد شود.

۲- متالورژی پودر:

این روش شامل تولید پودرهای نیتینول از طریق فرایندهای شیمیایی و سپس فشردن سازی و سینتر کردن آن ها در دماهای بالا است. این روش مزایای زیر را دارد:

الف) کنترل دقیق ترکیب شیمیایی: با استفاده از پودرهای خالص، می توان ترکیب نهایی را به دقت کنترل کرد.

ب) کاهش آلودگی: این روش به دلیل عدم نیاز به ذوب کامل مواد، آلودگی های کمتری ایجاد می کند.

۳- روش های مکانیکی:

در این روش، نیتینول از طریق فرایندهای مکانیکی مانند نورد، کشش و شکل دهی تولید می شود. این روش ها به بهبود خواص مکانیکی و ساختاری آلیاژ کمک می کنند.

۴- روش های شیمیایی:

روش های شیمیایی نیز می توانند برای تولید نیتینول مورد استفاده قرار گیرند، به ویژه در تولید پودرهای نیتینول. این روش ها شامل واکنش های شیمیایی بین نیکل و تیتانیوم در شرایط خاص هستند.

روش های مختلفی برای ساخت آلیاژ حافظه دار نیتینول وجود دارد که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند. انتخاب روش مناسب بستگی به نیازهای خاص تولید، هزینه و خواص مورد نظر آلیاژ دارد. متالورژی پودر و ریخته گری به عنوان دو روش اصلی تولید نیتینول، به دلیل کنترل دقیق ترکیب و خواص مکانیکی، بیشتر مورد توجه قرار می گیرند.



۶. تست ها و ارزیابی ها

۶-۱- تست های مکانیکی

برای تعیین نیروی لازم برای بارگذاری استاتیکی روی مفصل مصنوعی زانو، اطلاعات خاصی از جمله وزن بیمار، نوع فعالیت و طراحی پروتز مورد نیاز است. به طور کلی، نیروی بارگذاری می تواند به عوامل زیر بستگی داشته باشد: [۱۴] [۱۵] [۱۶]

۱. وزن بیمار

نیروی بارگذاری باید قادر به تحمل وزن بیمار باشد. به عنوان مثال، اگر وزن بیمار ۷۰ کیلوگرم باشد، نیروی ناشی از وزن او برابر با ۶۸۶/۷ نیوتن خواهد بود.

۲. نوع فعالیت

در فعالیت های مختلف مانند راه رفتن، دویدن یا پریدن، نیروهای اضافی به مفصل وارد می شود. برای مثال، در هنگام دویدن، نیروی بارگذاری می تواند به دو تا سه برابر وزن بدن برسد.

۳. طراحی پروتز

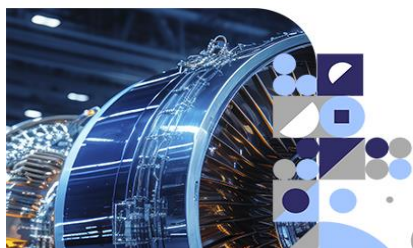
طراحی و مواد استفاده شده در پروتز نیز بر میزان نیروی لازم تأثیر می گذارد. پروتزهای مدرن معمولاً برای تحمل بارهای بالاتر طراحی شده اند.

به طور کلی، برای بارگذاری استاتیکی روی مفصل مصنوعی زانو، نیرویی در حدود ۲ تا ۳ برابر وزن بدن بیمار معمولاً مورد نظر است تا اطمینان حاصل شود که پروتز در شرایط واقعی عملکرد مناسبی دارد.

۷. اهمیت یافته ها

۷-۱- کاربردهای بالقوه مفصل مصنوعی طراحی شده

۱. جایگزینی مفصل زانو: نیتینول به دلیل سازگاری زیستی بالا و خواص مکانیکی مناسب، می تواند به عنوان جایگزینی برای مفاصل زانو در بیماران مبتلا به آرتروز یا آسیب های جدی مفصل استفاده شود. خاصیت حافظه شکلی این آلیاژ به آن امکان می دهد که به شکل طبیعی مفصل زانو پاسخ دهد. [۱۷]



۲. توسعه پروتزهای هوشمند: مفاصل زانو ساخته شده با نیتینول می‌توانند به عنوان پروتزهای هوشمند عمل کنند که با تغییر دما یا فشار، به طور خودکار تنظیم می‌شوند. این ویژگی می‌تواند به بهبود عملکرد حرکتی و راحتی بیمار کمک کند. [۱۸]

۳. استفاده در جراحی‌های ترمیمی: آلیاژ نیتینول می‌تواند در جراحی‌های ترمیمی مفصل زانو به کار رود، جایی که نیاز به استفاده از مواد با قابلیت تطبیق با حرکات طبیعی زانو وجود دارد. این آلیاژ می‌تواند به تسهیل فرآیند بهبودی و کاهش زمان نقاهت کمک کند. [۱۷]

۴. توسعه ابزارهای جراحی: نیتینول می‌تواند در طراحی ابزارهای جراحی مورد استفاده در جراحی‌های زانو به کار رود. به عنوان مثال، می‌توان از این آلیاژ برای ساخت استنت‌ها یا ابزارهای کمکی استفاده کرد که نیاز به انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر فشار دارند. [۱۷]

۵. مدل‌سازی حرکتی و شبیه‌سازی: مفاصل زانو نیتینول می‌توانند به عنوان مدل‌های حرکتی در تحقیقات بیومکانیکی و شبیه‌سازی‌های پزشکی مورد استفاده قرار گیرند. این کاربرد به محققان کمک می‌کند تا رفتار مفصل زانو را تحت شرایط مختلف بررسی کنند. [۱۹]

۶. کاهش وزن و بهبود عملکرد: آلیاژ نیتینول به دلیل وزن سبک و خواص مکانیکی مناسب، می‌تواند به کاهش وزن پروتزها و بهبود عملکرد حرکتی بیماران کمک کند. این ویژگی به ویژه در بیماران فعال که نیاز به تحرک بیشتری دارند، اهمیت دارد. [۲۰]

۸. محدودیت‌های تحقیق و پیشنهادات برای مطالعات آینده

با وجود پیشرفت‌های قابل توجهی که در این تحقیق حاصل شده است، همچنان محدودیت‌هایی وجود دارد که نیازمند بررسی بیشتر هستند. برخی از این محدودیت‌ها عبارتند از:

هزینه بالای مواد: آلیاژهای حافظه‌دار نسبت به مواد سنتی مورد استفاده در مفاصل مصنوعی، هزینه بالاتری دارند. پیچیدگی فرآیند تولید: تولید و ساخت مفاصل مصنوعی با استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار، نیازمند فرآیندهای تولید پیچیده‌تری است.

کمبود مطالعات بالینی بلندمدت: مطالعات بالینی بلندمدت در مورد عملکرد مفاصل مصنوعی ساخته شده با آلیاژهای حافظه‌دار، هنوز به اندازه کافی انجام نشده است.

با توجه به محدودیت‌های ذکر شده، پیشنهاد می‌شود که مطالعات آتی بر روی موارد زیر متمرکز شوند:

توسعه آلیاژهای حافظه‌دار با هزینه کمتر: تحقیقات بیشتر برای توسعه آلیاژهای حافظه‌دار با هزینه کمتر و خواص مکانیکی مناسب، می‌تواند به تجاری‌سازی این فناوری کمک کند.

ساده‌سازی فرآیند تولید: توسعه روش‌های تولید ساده‌تر و سریع‌تر برای ساخت مفاصل مصنوعی با استفاده از آلیاژهای



حافظه‌دار، می‌تواند هزینه تولید را کاهش دهد.

انجام مطالعات بالینی بلندمدت: انجام مطالعات بالینی بلندمدت بر روی بیماران دریافت‌کننده مفاصل مصنوعی ساخته شده با آلیاژهای حافظه‌دار، می‌تواند به ارزیابی دقیق‌تر عملکرد و ایمنی این ایمپلنت‌ها کمک کند.

۹. نتیجه‌گیری

در این مقاله، طراحی و ساخت یک مفصل زانو با استفاده از آلیاژ حافظه‌دار نیتینول مورد بررسی قرار گرفت. نیتینول به دلیل خواص منحصر به فرد خود، از جمله اثر حافظه شکلی و سوپرالاستیسیته، گزینه مناسبی برای جایگزینی مفصل زانو محسوب می‌شود. روش‌های مختلفی برای ساخت این مفصل‌ها با استفاده از نیتینول وجود دارد که شامل ریخته‌گری، متالورژی پودر، روش‌های مکانیکی و شیمیایی است. هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند و انتخاب روش مناسب بستگی به نیازهای خاص تولید، هزینه و خواص مورد نظر آلیاژ دارد همچنین تست‌های مکانیکی و بیومکانیکی مختلفی برای ارزیابی عملکرد مفصل زانو ساخته شده با نیتینول انجام می‌شود که شامل تست‌های کشش، فشار، خستگی، حرکتی، دینامیکی و تنش و فشار است. این تست‌ها به بررسی دوام، ایمنی و کارایی مفصل کمک می‌کنند و می‌توانند به بهبود طراحی و عملکرد مفصل‌های مصنوعی کمک کنند نتیجه می‌دهد مفصل زانو ساخته شده با آلیاژ حافظه‌دار نیتینول دارای کاربردهای بالقوه فراوانی در زمینه‌های پزشکی و جراحی است. این کاربردها شامل جایگزینی مفصل زانو، توسعه پروتزهای هوشمند، استفاده در جراحی‌های ترمیمی، توسعه ابزارهای جراحی، مدل‌سازی حرکتی و شبیه‌سازی و کاهش وزن و بهبود عملکرد است.

در مجموع، استفاده از آلیاژ حافظه‌دار نیتینول در طراحی و ساخت مفصل زانو می‌تواند به بهبود عملکرد و دوام مفصل‌های مصنوعی کمک کند و گزینه‌های درمانی جدیدی را در اختیار پزشکان و بیماران قرار دهد. با این حال، نیاز به تحقیقات بیشتر و ارزیابی‌های بالینی برای تأیید ایمنی و کارایی این مفصل‌ها وجود دارد.



۱۰. مراجع

1. Douglas G. Noiles, (01 Sep 1977), “Prosthetic knee joint”
2. Reva C. Lawrence, David T. Felson, Charles G. Helmick, LM Arnold, Hyon K. Choi, Richard A. Deyo, LM Helmick Cg Arnold, Sherine E. Gabriel, Rosemarie Hirsch, Marc C. Hochberg, Gene G. Hunder, Joanne M. Jordan, Jeffrey N. Katz, Hilal Maradit Kremers, Frederick Wolfe, FC Arnett, (22 Jan 2008), National Arthritis Data Work-group, “Estimates of the prevalence of arthritis and other rheumatic conditions in the United States”. Part II
3. Andre Bahler, (15 Jun 1992), “Prosthetic device for a complex joint”
4. W. E. Michael Mikhail, (29 May 1992), “Prosthetic knee joint”
5. C Naresh, P S C Bose and C S P Rao, (2016), “Shape memory alloys: a state of art review”, IOP Publishing Ltd
6. K Gall, H.J Maier, (2002), “Cyclic deformation mechanisms in precipitated NiTi shape memory alloys”
7. Daniela Tarniță, D.N. Tarniță, N. bîzdoacă, I.Mîndrilă, Mirela Vasilescu, (2009), “Properties and medical applications, of shape memory alloys”
8. L.G. Machado and M.A. Savi, (2003), “Medical applications of shape memory alloys”
9. T Duerig, A Pelton, D Stöcke, (1999), “An overview of nitinol medical applications”, Materials Science and Engineering
10. Sadashiva Mariyaiah, (March 2021), “A Review on Application of Shape Memory Alloys”, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)
11. Gao, Zihao Zeng, Shuping Peng and Cijun Shuaia, (2022), “Magnetostrictive alloys: Promising materials for biomedical applications Chengde”
12. Ismet Emircan TUNC, Gürsel Şefkat, (Sep 2023), “Development of a method for calculating loads on implants and prostheses used for the human skeleton”, Deleted Journal - pp 867-88605-
13. J. Srihari Nikhil, I. Arun Kumar, Ravi Kumar Mandava, (01 Jan 2023), “Static Structural Analysis of Below Knee Prosthesis Using Fea Prabhakar Nandivada”, (Springer Nature)- pp 929-938,
14. Philipp Egenolf, Dorothee Wasseq, Max J. Scheyerer, Andreas Prescher, Kilian Wegmann, Lars Peter Müller, Peer Eysel, Christina Otto-Lambertz, (01 Dec 2022), “Is the rod necessary? Biomechanical comparison of static knee spacers during axial loading”, Clinical Biomechanics- Vol. 101, pp 105867 – 105867,



15. John Mould, Alex Kelly, Ashley Peterson, Nuno Rebelo, (16 May 2024), "A Modular Nitinol Model with Lode Angle-Based Asymmetry and Improved Representation of the Superelastic Loops for Medical Device Applications", Journal of Medical Devices-transactions of The Asme
16. Ipsa Tripathy, Satya Prakash Rout, Manila Mallik, (01 Jan 2020), "Effect of temperature and pressure on diffusivity of nitinol pellet bonded with steel plate", Materials Today
17. Aydiner Kalaci , Vedat Uruc , Raif Özden , Ibrahim Gökhan Duman , Yunus Dogramaci , Serhat Karapinar , Mehmet Yaldiz, (July 2014), "The Biocompatibility of Nitinol in Knee Joint Spaces and Femoral Tunnels: An Experimental Study in Rats ", Journal of Hard Tissue Biology
18. Arjan Buis, (July 2011), "Nitinol for Prosthetic and Orthotic Applications, Emma Henderson", Journal of Materials Engineering and Performance
۱۹. سروش پرویزی سروش پرویزی ، حمیدرضا حفیظ پور ، سیدخطیب الاسلام صدرنژاد ، علی سنگ قلعه علی سنگ قلعه،(۱۳۸۶) ، " بررسی خواص مکانیکی آلیاژ حافظه دار نایتینول متخلخل تولید شده به روش متالورژی پودر "، یازدهمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران
۲۰. عبدالله فدائی پور ، حسام خواجه سعید ، احمد قنبری، (دی ماه ۱۳۹۶) ، "طراحی، مدلسازی و ارتقا عضله بازوی مصنوعی با استفاده از آلیاژهای حافظه دار" ، مجله مهندسی مکانیک مدرس