مطالعات علوم کاربردی در مهندسی

دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

صفحات ۵۱-۳۸

Online ISSN: ۲۴۷۶-۴۵۰۷

Print ISSN: ۲۵۳۸-۲۰۵۵

www.irijournals.com

بررسی اثر افزودن آلومینیوم و مس به آلیاژ زیست سازگار Ti-Mo با استفاده از تحلیل و شبیه سازی نرم افزاری

امید اشکانی [۱]، محمدرضا تعویقی [۲]

[۱] دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی مواد، مدرس حق التدریس دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

[۲] کارشناسی ارشد مهندسی مواد گرایش مهندسی جوشکاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، البزر.

چکیده

استفاده از تیتانیوم و آلیاژهای مبتنی بر تیتانیوم با کاربرد در بدن انسان بدلیل مقاومت به خوردگی، زیست سازگاری و نرخ استخوان سازی بالا پیشرفت چشمگیری در ترویج فناوری های جدید داشته است. یکی از آلیاژهای مرسوم تیتانیوم، آلیاژ تیتانیم - آلومینیوم - وانادیوم است که به دلیل سازگاری بالا مورد استفاده قرار میگیرد. تحقیقات اخیر عوامل سمیت وانادیوم و آلومینیوم را اثبات کرده است و لذا نیازمند جایگزینی آلیاژهای مناسب دیگر احساس می‌شود. در پژوهش حاضر با انتخاب آلیاژ Ti-9Mo عناصر آلومینیوم و مس به آن اضافه شدند و خواص آنها با استفاده از شبیه ساز نرم افزار خواص مواد JMatPro بررسی شد. این دو عنصر از این جهت انتخاب شدند که مس به عنوان یک عنصر مطلوب برای بدن و دیگری عنصر مضر برای بدن (آلومینیوم) مطرح هستند. با افزودن عنصر آلیاژی مس به آلیاژ Ti-9Mo ، مدول الاستیک به حداقل مقدار ۹۷ گیگاپاسکال کاهش می یابد و عنصر آلیاژی آلومینیوم منجر به افزایش مدول الاستیک تا ۱۱۸ گیگاپاسکال می‌شود. همچنین مس منجر به افزایش سختی و استحکام آلیاژ می‌شود. با توجه به مشابه بودن خواص، آلیاژهای Ti-Mo-Cu می‌توانند آلیاژ مناسبی برای استفاده باشند.

واژه‌های کلیدی: تیتانیوم - مولیبدن، مس، آلومینیوم، شبیه ساز نرم افزار، آلیاژ زیست سازگار.

۱- مقدمه

امروزه آلیاژهای بسیاری هستند که در زمینه ساخت قطعات بیومواد و آلیاژهای زیست سازگار کاربرد دارند. برخی از این آلیاژها شامل فولادهای زنگ نزن، آلیاژهای تیتانیم و آلیاژهای کبالت - کروم هستند [۱و۲]. انتظار می رود که آلیاژ به کار رفته و ایده آل خواصی مانند زیست سازگاری بسیار بالا را از خود نشان دهد. همچنین باید استحکام مکانیکی بالا، مقاومت در برابر خستگی، مدول الاستیک کم و مقاومت در برابر سایش خوب داشته باشد [۳].

آلیاژهای پایه تیتانیم به دلیل نسبت استحکام به چگالی بالا، مقاومت در برابر خوردگی و زیست سازگاری پس از کاشت، توجه زیادی را در کاربردهای مختلف قطعات زیست سازگار به خود جلب کرده‌اند [۴و۵]. در این بین می‌توان آلیاژ Ti-6Al-4V را یکی از مرسوم‌ترین آلیاژهای زیست سازگار دانست. این آلیاژ، یک آلیاژ دو فازی آلفا + بتا در گروه آلیاژهای تیتانیم محسوب می‌شود [۶]. آلیاژ مذکور مدول الاستیک پایینتری از فولاد زنگ نزن و آلیاژهای کبالت - کروم دارد [۷].

نتایج تحقیقات اثرات سمی عنصر آلیاژی آلومینیوم را مورد بررسی قرار داده است. شواهد نشان داده است حضور آلومینیوم در بدن انسان می‌تواند با رسوب در سلول‌های مغز منجر به تشدید بیماری آلزایمر شود که با افزایش عمر احتمال ابتلا بیشتر می-شود [۸و۹]. همچنین اثرات سمی وانادیوم نیز امروزه مورد بحث قرار گرفته است. وانادیوم بیست و یکمین عنصر فراوان در کره زمین است [۱۰]. وانادیوم به راحتی وارد سیستم تنفسی می‌شود و با اتصال به درخت تنفسی عمیقاً به راه‌های هوایی نفوذ می‌کند [۱۱]. همچنین وانادیوم می‌تواند وارد جریان خون شده و در حالت‌های چهارظرفیتی در فضای داخلی سلول باقی بماند [۱۲]. لذا این اثرات سمی به مرور زمان ممکن است آسیب‌هایی به بدن وارد کند. همچنین نتایجی از تحقیقات در زمینه آلیاژهای تیتانیم - طلا نیز نشان داد که سمیت این آلیاژها مشابه با تیتانیم خالص است [۱۳].

به همین منظور امروزه آلیاژهای مختلفی نظیر گروه‌های آلیاژی تیتانیم - منگنز یا تیتانیم - مولیبدن توسعه پیدا کرده‌اند [۱۴و۱۵]. عناصر مولیبدن و منگنز پایدارکننده فاز بتا در آلیاژهای تیتانیم محسوب می‌شوند و لذا این آلیاژها دارای فاز بتای بیشتری در ریزساختار خود هستند [۱۵]. افزایش فاز بتا در حضور منگنز یا مولیبدن منجر به کاهش مدول الاستیک تا ۱۰۰ گیگاپاسکال می‌شود و به همین دلیل توجه به پایدارکننده‌های بتا افزایش پیدا کرده است [۱۶]. در پژوهشی سانتوز و همکاران نسبت به بررسی اثر حضور منگنز در خواص مکانیکی و ریزساختار آلیاژ تیتانیم - منگنز پرداخته‌اند. نتایج نشان داد با افزودن منگنز به ترکیب تا ۹ درصد وزنی، مدول الاستیک تا ۹۵ گیگاپاسکال کاهش پیدا کرده و با افزایش درصد منگنز، مجدداً مدول افزایش پیدا می‌کند [۱۷]. همچنین در پژوهشی دیگر سوتوو و همکاران اثر افزودن مولیبدن و نایوبیم را بر خواص مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد به تریبت با افزودن ۹ و ۶ درصد وزنی مولیبدن و نایوبیم به ترکیب می‌توان مدول الاستیک را تا ۹۸ گیگاپاسکال کاهش داد [۱۸]. همچنین نتایج بولزونی و همکاران نشان داد حضور مس می‌تواند منجر به افزایش سختی و بهبود استحکام آلیاژ شود [۱۹].

با توجه به مقدمه حاضر، در این پژوهش آلیاژ Ti-9Mn به عنوان یک آلیاژ پایه انتخاب می‌شود و با استفاده از شبیه سازی نرم افزاری درصدهای مختلف آلومینیوم و مس به این ترکیب اضافه می‌گردد. عنصر آلیاژی مس از این جهت در ترکیب در نظر گرفته شده است که مس خواص مطلوب برای بدن انسان دارد [۲۰]. همچنین به منظور بررسی اثر آلومینیوم بر مدول

الاستیک، این عنصر در نظر گرفته شده است [۲۱]. خواص مورد بررسی در این پژوهش شامل تغییرات چگالی، مدول الاستیک و سختی و استحکام است که کلیه اطلاعات با استفاده از شبیه سازی نرم افزاری انجام می‌شود.

۲- روش انجام پژوهش

در پژوهش حاضر دو عنصر آلیاژی مس و تیتانیم به صورت افزودنی در محیط شبیه ساز به ترکیب آلیاژ اضافه شدند. این عناصر به این دلیل انتخاب شدند که مس زیست سازگاری مطلوبی از خود نشان می‌دهد [۲۰] و در مقابل آلومینیوم مشکلات مختلف زیستی به همراه دارد [۸و۲۱]. به منظور شبیه سازی از نرم افزار تحلیل و طراحی مواد مهندسی با نام JMatPro استفاده شده است [۲۲]. ترکیبات ذکر شده در جدول ۱ به ترتیب در محیط نرم افزار تعریف شد. مدول الاستیک، چگالی، استحکام و سختی آلیاژهای طراحی شده با استفاده از نرم افزار در قالب نمودارهای مقایسه‌ای و دقیقاً از محیط نرم افزار استخراج شد. به منظور تحلیل چگالی و مدول الاستیک، ضریب Fraction Liquid برابر با ۰/۰۱ درصد و محدوده دمایی بررسی دمای ۰ الی ۱۸۰۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. به منظور بررسی خواص مکانیکی در محیط نرم افزار کلیه نمونه‌ها در دمای یکسان ۷۲۰ درجه سلسیوس تحت عملیات حرارتی قرار گرفت و محدوده اندازه دانه آنها بین ۱ الی ۲۰ میکرون متغیر در نظر گرفته شد.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی تحلیل شده در محیط نرم افزار.

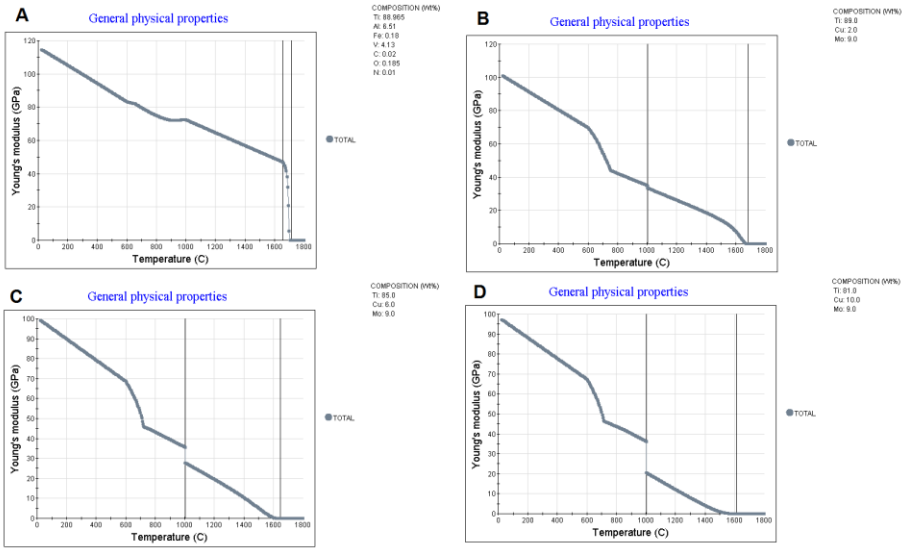
	Ti	Mo	Cu	Al	V
Ti2Cu	Base	9	2	0	0
Ti6Cu			6	0	
Ti10Cu			10	0	
Ti2Al			0	2	
Ti6Al			0	6	
Ti10Al			0	10	
Ti64		0	0	6	4

۳- نتایج

۳-۱- مدول الاستیک

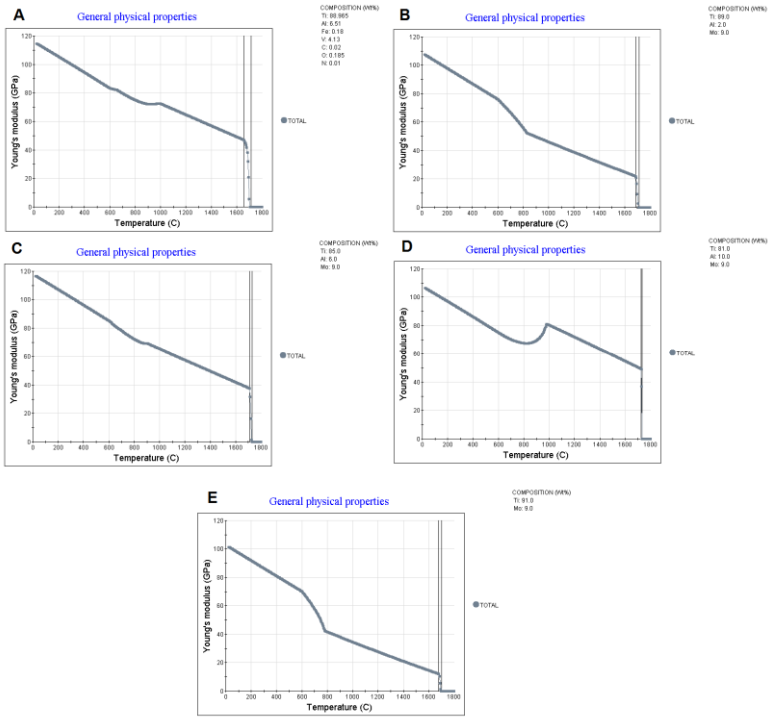
شکل ۱ نمودارهای تغییرات مدول الاستیک با افزایش دما و با افزایش درصد مس را نشان می‌دهد. همانطوری که در این شکل مشخص است با افزایش درصد وزنی مس در ترکیب شیمیایی آلیاژ Ti-9Mo مقدار مدول الاستیک کاهش پیدا کرده است. البته هنوز اختلاف زیادی با مدول استخوان (۱۵ الی ۲۵ گیگاپاسکال) [۲۳] وجود دارد، ولی آلیاژ Ti-9Mo-10Cu (با مدول الاستیک ۹۷ گیگاپاسکال) شرایط بهتری نسبت به مدول الاستیک آلیاژ Ti-6A-4V (۱۱۷ گیگاپاسکال) دارد.

دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۵۱-۳۸



شکل ۱- مقایسه آلیاژهای مختلف شامل A) Ti-6Al-4V، B) Ti-9Mo-2Cu، C) Ti-9Mo-6Cu و D) Ti-9Mo-10Cu

شکل ۲ نتایج مقایسه‌ای آلیاژ Ti-6Al-4V را با آلیاژهای Ti-9Mo-xAl نشان می‌دهد. حضور آلومینیوم در در ترکیب آلیاژ Ti-9Mo در تمامی درصدهای وزنی منجر به افزایش مدول الاستیک شده است به گونه‌ای که در بیشترین حالت مدول الاستیک تا ۱۱۸ گیگاپاسکال افزایش پیدا می‌کند. این عدد تقریبا برابر با مدول الاستیک آلیاژ Ti-6Al-4V است. هرچند که در آلیاژهای Ti-9Mo-xAl اثر منفی وانادیوم حذف شده است، اما همچنان اثر منفی آلومینیوم بر آلزایمر [۲۴] و اثر منفی مدول الاستیک بالا باقی است.

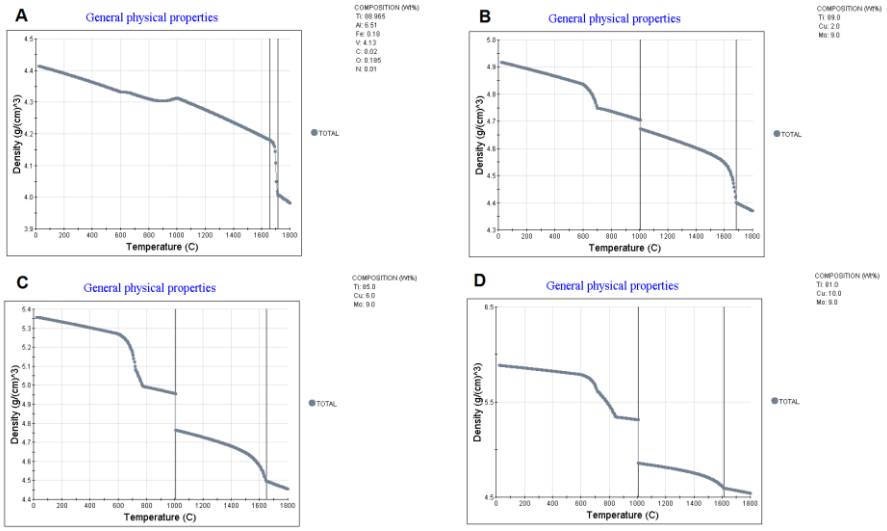


دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۵۱-۳۸

شکل ۲- نتایج مدول الاستیک به صورت مقایسه‌ای برای آلیاژهای (A Ti-6Al-4V (B ، Ti-9Mo-2Al (C ، Ti-9Mo-6Al (D ، Ti-9Mo-10Al (E و Ti-9Mo

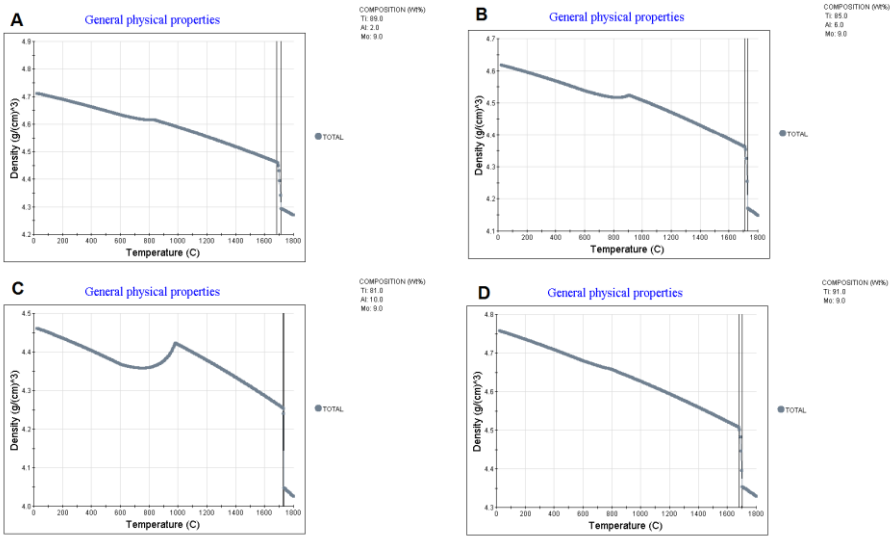
۲-۳- مقایسه تغییرات چگالی

شکل ۳ نتایج مقایسه‌ای حالات مختلف آلیاژ Ti-9Mo-xCu را با آلیاژ Ti-6Al-4V نشان می‌دهد. به طور کلی با افزایش درصد وزنی مس چگالی در آلیاژ افزایش پیدا می‌کند به گونه‌ای که با افزودن ۱۰ درصد وزنی مس به ترکیب شیمیایی چگالی تقریباً برابر است با ۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب. این افزایش چگالی در برخی کاربردهای پزشکی مانند مفاصل لگن ممکن است مناسب نباشد چرا که در اثر افزایش چگالی، افزایش وزن در قطعه ایجاد می‌شود و می‌تواند مشکلاتی را برای بیمار ایجاد کند. شکل ۴ نیز نتایج مقایسه‌ای حالات مختلف آلیاژ Ti-9Mo-xAl را با آلیاژ Ti-9Mo نشان می‌دهد. با افزودن درصدهای وزنی مختلف آلومینیوم به آلیاژ چگالی تغییرات چشم گیری نداشته است. همچنین چگالی تمامی آلیاژهای حاوی آلومینیوم از چگالی آلیاژهای حاوی مس کمتر است.



شکل ۳- تغییرات چگالی در آلیاژهای (A Ti-6Al-4V (B ، Ti-9Mo-2Cu (C ، Ti-9Mo-6Cu (D و Ti-9Mo-10Cu

دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۵۱-۳۸

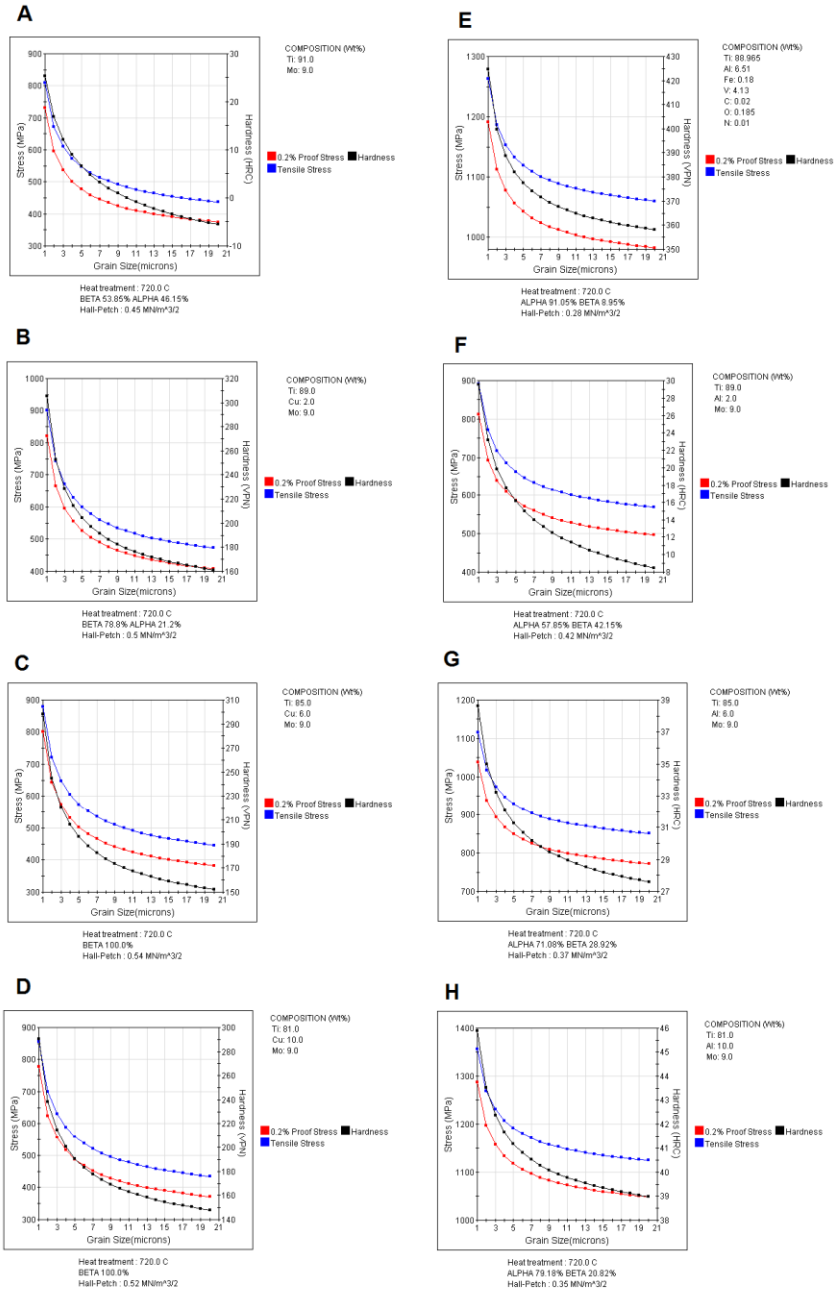


شکل ۴- تغییرات چگالی در آلیاژهای A) Ti-6Al-4V، B) Ti-9Mo-2Al، C) Ti-9Mo-6Al، D) Ti-9Mo-10Al و D) Ti-9Mo

۳-۳- تغییرات سختی و استحکام

شکل ۵ مقایسه سختی، استحکام تسلیم و استحکام کششی تمامی نمونه‌های مورد بررسی را نسبت به تغییرات اندازه دانه نشان می‌دهد. حداکثر استحکام کششی حاصل در نمونه Ti-9Mo برابر با ۸۳۰ مگاپاسکال گزارش گردید که با افزودن هر دو عنصر آلیاژی مس و آلومینیوم استحکام افزایش پیدا می‌کند. براساس محاسبات تحلیلی نرم افزار حداکثر استحکام قابل دسترس پس از افزودن عنصر آلیاژی مس برابر با ۹۶۰ مگاپاسکال در ۲ درصد وزنی مس و حداکثر استحکام قابل دسترس پس از افزودن عنصر آلیاژی آلومینیوم برابر با ۱۳۵۰ مگاپاسکال در ۱۰ درصد وزنی آلومینیوم ثبت گردید.

دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۵۱-۳۸

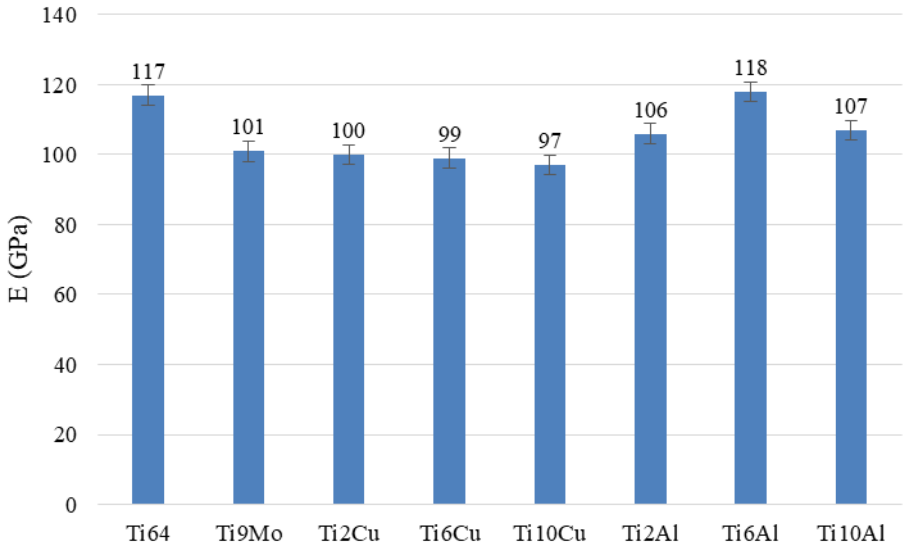


شکل ۵- مقایسه تغییرات سختی در نمونه‌های مختلف (A ،Ti-9Mo (B ،Ti-9Mo-2Cu (C ،Ti-9Mo-6Cu (D و Ti-9Mo-10Cu (E ،Ti-6Al-4V (F ،Ti-9Mo-2Al (G ،Ti-9Mo-6Al (H ،Ti-9Mo-10Al

۳- بحث

نمودار شکل ۶ مقایسه مقادیر مدول الاستیک را به صورت خلاصه نشان می‌دهد. همانطوری که در این شکل مشخص است کمترین مدول الاستیک در آلیاژهای مورد بررسی مربوط به آلیاژ Ti-9Mo-10Cu با مقدار ۹۷ گیگاپاسکال است که نسبت به آلیاژ Ti64 تقریباً ۲۰ گیگاپاسکال کمتر گزارش می‌شود. این موضوع در دراز مدت می‌تواند منجر به کاهش درد بیمار شود [۱۵].

در آلیاژهای فلزی، مدول یانگ با فاصله بین اتمی تعادلی نسبت عکس و فاصله بین اتمی تعادلی با پارامتر شبکه ارتباط مستقیم دارد [۲۵]. افزایش برخی عناصر فلزی نظیر منگنز می‌توانند با کاهش پارامتر شبکه منجر به کاهش فاصله بین اتمی شوند و در نتیجه با کاهش فاصله بین اتمی، مدول یانگ افزایش می‌یابد [۱۷]. این حالتی است که دقیقاً با افزایش آلومینیوم، منجر به افزایش قابل توجه مدول الاستیک شده است و برعکس آن، مس باعث کاهش مدول الاستیک می‌شود. لازم به ذکر است در برخی پژوهش‌های پیشین حضور فاز امگا عاملی برای کاهش مدول الاستیک است [۱۵] که در پژوهش فعلی این موضوع مشاهده نشد.

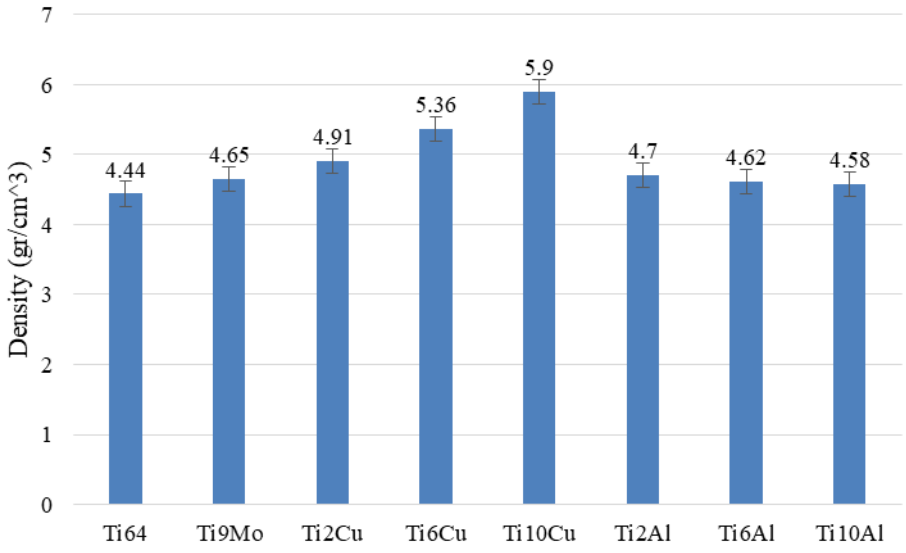


شکل ۶- مقایسه نتایج مدول الاستیک حاصل از تحلیل نرم افزاری.

نمودار شکل ۷ نتایج مقایسه‌ای مقادیر چگالی را پس از تحلیل نرم افزار در دمای محیط (۲۵ درجه سلسیوس) نشان می‌دهد. همانطوری که مشخص است با افزایش درصد وزنی مس تا ده درصد وزنی، چگالی آلیاژ به نزدیک ۶ گرم بر سانتیمتر مکعب افزایش یافته است که نسبت به آلیاژ Ti64 ۱/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب بیشتر است. با توجه به رابطه ۱ ، از آنجایی که عدد جرمی مس تقریباً ۲/۳ برابر آلومینیوم است، لذا چگالی آلیاژ پس از افزودن مس افزایش چشم گیری داشته است.

$$\rho = \frac{n.M}{V_{unit.cell} \cdot N_a}$$

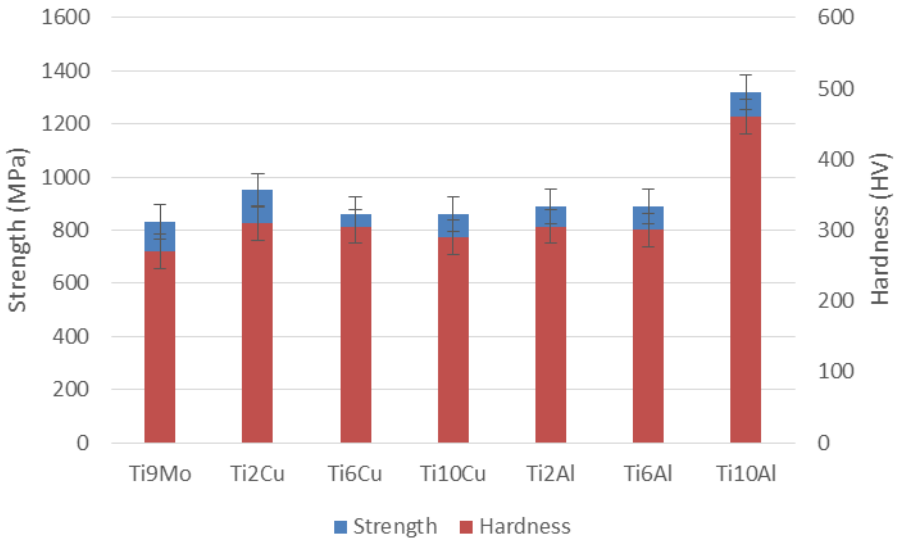
که در رابطه ۱، n تعداد اتم‌های متعلق به سلول واحد، V حجم سلول واحد، M وزن اتمی فلز و N_A عدد آووگادرو است.



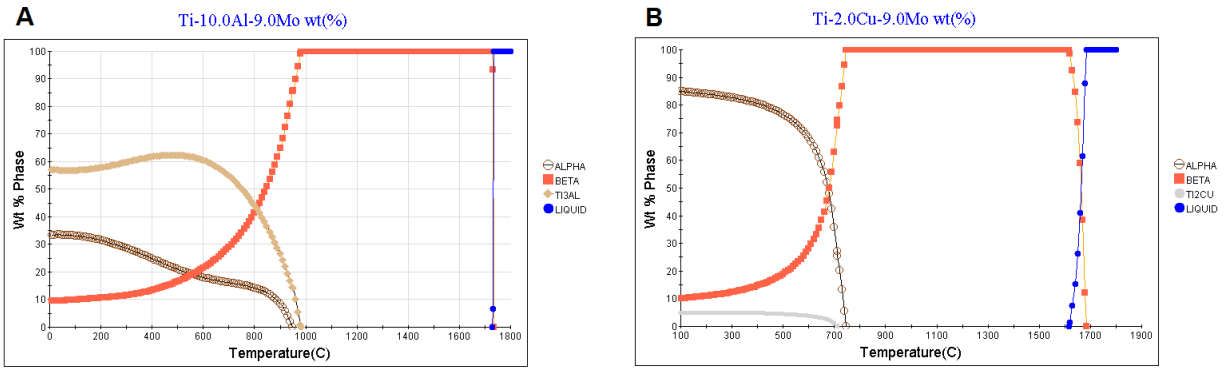
شکل ۷- مقایسه نتایج تغییرات چگالی در آلیاژهای مورد بررسی.

شکل ۸- نتایج مقایسه‌ای استحکام کششی و سختی را در دمای محیط و در آلیاژهای مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج شبیه سازی حضور ترکیبات بین فلزی در آلیاژ مشاهده گردید که می‌توان یکی از دلایل افزایش استحکام دانست. با افزایش درصد وزنی آلومینیوم به ده درصد وزنی، حضور ترکیب Ti_3Al در تحلیل نرم افزار اثبات شد که این ترکیب با مقاومت در برابر حرکت ترک، می‌تواند عاملی برای افزایش استحکام باشد. همچنین این موضوع در آلیاژهای مس نیز اثبات شد. همانطوری که در نمودار شکل ۹-B مشاهده می‌شود، حضور ترکیب Ti_2Cu اثبات شده است که این ترکیب نیز عاملی برای استحکام بخشی است.

نکته قابل توجه حضور درصد فازهای شکل گرفته در دمای محیط است که دلیل اختلاف استحکام را می‌توان این عامل دانست. همانطوری که در شکل ۹-A مشاهده می‌شود، حضور ترکیب بین فلزی Ti_3Al حدوداً ۶۰ درصد گزارش می‌گردد که این عاملی برای افزایش استحکام، مقاومت در برابر رشد و اشاعه ترک و حرکت نابجایی‌ها است. این در حالی است که در شکل ۹-B میزان ترکیب بین فلزی Ti_3Cu کمتر از ده درصد وزنی گزارش می‌شود که این عامل اختلاف استحکام بین این دو ترکیب آلیاژی است.



شکل ۸- تغییرات استحکام و سختی آلیاژ در محیط نرم افزار.



شکل ۹- فازهای تشکیل شده در آلیاژ با افزایش دما A) آلیاژ Ti-9Mo-10Al و B) آلیاژ Ti-9Mo-2Cu

نتیجه گیری

پژوهش حاضر یک طراحی آلیاژ در محیط نرم افزاری بود که نتایج آن کاملاً در قالب شبیه سازی ارائه شد. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده بود که آلیاژهای Ti-xMo می‌توانند به عنوان آلیاژ مطلوب برای برخی قطعات زیست سازگار استفاده شوند اما برخی خواص آنها نظیر استحکام و سختی نیازمند بهبود است. در پژوهش حاضر با انتخاب آلیاژ Ti-9MO عناصر آلومینیوم و مس به آن اضافه شدند. این دو آلیاژ از این جهت انتخاب شدند که یک عنصر به عنوان یک عنصر مطلوب برای بدن و دیگری عنصر مضر برای بدن مطرح هستند. نتایج نشان داد:

۱- با افزودن عنصر آلیاژی مس به آلیاژ Ti-9Mo ، مدول الاستیک کاهش می‌یابد و حداقل مقدار آن ۹۷ گیگاپاسکال ثبت می‌شود. عنصر آلیاژی آلومینیوم منجر به افزایش مدول تا ۱۱۸ گیگاپاسکال می‌شود.

۲- با افزودن عناصر آلیاژی مس و آلومینیوم به ترکیب آلیاژ Ti-9Mo در تمامی حالات استحکام و سختی افزایش پیدا می‌کند که با توجه به فازهای تشکیل شده، مقدار افزایش استحکام در آلیاژ آلومینیوم قابل توجه است.

۳- چگالی آلیاژهای حاوی مس افزایش بیشتری نسبت به آلومینیوم دارد.

۴- با توجه به مشکلات اشاره شده در مقدمه پژوهش حاضر برای آلیاژهای آلومینیوم (خطر بیماری آلزایمر)، و همچنین افزایش مدول الاستیک در تمامی درصدهای وزنی بررسی شده، ترکیب آلیاژی حاوی مس را می‌توان یک آلیاژ مفید شناسایی کرد چرا که از نظر پارامترهای استحکام و سختی در وضعیت مطلوبی قرار داشته و مدول الاستیک نسبت به آلیاژ Ti64 کاهشی برابر با ۲۰ گیگاپاسکال داشته است. همچنین مس یک عنصر مفید و ضروری برای بدن انسان بوده و فاقد خطرات انسانی است.

۵- در بین آلیاژهای بررسی شده، آلیاژ Ti-9Mo-2Cu و Ti-9Mo-6Cu به ترتیب بهترین خواص را از نظر مدول الاستیک و استحکام و سختی دارا هستند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را از سازندگان نرم افزار تحلیل مواد JMatPro اعلام کرده و اعلام میکنند اطلاعات این مقاله به جز اطلاعات تحلیلی با کمک این نرم افزار استخراج شده است.

منابع

[1] Elias, C. N., et al. "Biomedical applications of titanium and its alloys." Jom 60.3 (2008): 46-49.

[2] Bălţatu, Mădălina Simona, et al. "Ti-Mo Alloys used in medical applications." Advanced Materials Research. Vol. 1128. Trans Tech Publications Ltd, 2015.

[3] Oldani, Carlos, and Alejandro Dominguez. "Titanium as a Biomaterial for Implants." Recent advances in arthroplasty 218 (2012): 149-162.

[4] Kim, Ji-Woo, et al. "Effect of manganese on the microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of titanium alloys." Materials Chemistry and Physics 180 (2016): 341-348.

[5] Mareci, Daniel, et al. "The estimation of corrosion behaviour of ZrTi binary alloys for dental applications using electrochemical techniques." Materials Chemistry and Physics 141.1 (2013): 362-369.

[6] Niinomi, Mitsuo. "Recent metallic materials for biomedical applications." Metallurgical and materials transactions A 33.3 (2002): 477-486.

[7] Rao, S., et al. "Effect of Ti, Al, and V ions on the relative growth rate of fibroblasts (L929) and osteoblasts (MC3T3-E1) cells." Bio-medical materials and engineering 6.2 (1996): 79-86.

[8] Frisardi, Vincenza, et al. "Aluminum in the diet and Alzheimer's disease: from current epidemiology to possible disease-modifying treatment." Journal of Alzheimer's Disease 20.1 (2010): 17-30.

[9] Miu, Andrei C., and Oana Benga. "Aluminum and Alzheimer's disease: a new look." Journal of Alzheimer's disease 10.2-3 (2006): 179-201.

[10] Thompson, Katherine H. "Vanadium and diabetes." Biofactors 10.1 (1999): 43-51.

[11] Rojas-Lemus, Marcela, et al. "Toxic effects of inhaled vanadium attached to particulate matter: a literature review." International Journal of Environmental Research and Public Health 18.16 (2021): 8457.

[12] Rosales-Castillo, José Alberto, et al. "Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos." Salud pública de México 43 (2001): 544-555.

[13] Oh, Keun-Taek, et al. "Cytocompatibility and electrochemical properties of Ti–Au alloys for biomedical applications." Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials 83.2 (2007): 320-326.

[14] Buzatu, Mihai, et al. "On the Design of New β-Phase Titanium Alloys Ti-Mo-W." Univ. Politeh. Buchar. Sci. Bull. Ser. B 78 (2016): 161-172.

[15] Santos, Pedro Fernandes, et al. "Microstructures, mechanical properties and cytotoxicity of low cost beta Ti–Mn alloys for biomedical applications." Acta biomaterialia 26 (2015): 366-376.

[16] Zhang, Faming, and Eberhard Burkel. "Novel titanium manganese alloys and their macroporous foams for biomedical applications prepared by field assisted sintering." Biomedical engineering, Trends in materials Science 9 (2011): 203-224.

[17] Santos, Pedro Fernandes, et al. "Fabrication of low-cost beta-type Ti–Mn alloys for biomedical applications by metal injection molding process and their mechanical properties." Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 59 (2016): 497-507.

[18] Sutowo, Cahya, et al. "Microstructure, Mechanical Properties, and Corrosion Behavior of New βType Ti–Mo–Nb Based Alloys by Mn Addition for Implant Material." Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 1.12 (2020): 103.

[19] Alqattan, Mohammad, et al. "Antibacterial Ti-Mn-Cu alloys for biomedical applications." Regenerative biomaterials 8.1 (2021): rbaa050.

[20] Angelova, M., et al. "Copper in the human organism." Trakia journal of sciences 9.1 (2011): 88-98.

[21] Trofimov, E. A., R. Ya Lutfullin, and R. M. Kashaev. "Elastic properties of the titanium alloy Ti-6Al-4V." Письма о материалах 5.1 (2015): 67-69.

[22] Dai, Shi-juan, et al. "Design of new biomedical titanium alloy based on d-electron alloy design theory and JMatPro software." Transactions of Nonferrous Metals Society of China 23.10 (2013): 3027-3032.

[23] Blondel, Margaux, et al. "Identification of effective elastic modulus using modal analysis; application to canine cancellous bone." Journal of Biomechanics 110 (2020): 109972.

[24] Ferreira, Pricilla Costa, et al. "Aluminum as a risk factor for Alzheimer's disease." Revista latino-americana de enfermagem 16 (2008): 151-157.

[25] Dowling, N. E. "Mechanical Behaviour of Materials. Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. Fourth." (2013).

مطالعات علوم کاربردی در مهندسی

دوره ۸، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صفحات ۵۱-۳۸

Simulation of Investigating the Behavior Adding Aluminum and Copper(Cu) to Biocompatible Alloy Ti-Mo using Software Analysis

Omid Ashkani[1] , MohammadReza Tavighi[2]

[1]*Ph.D. Candidate in materials engineering and lecturer at the University of Science and Research, 1477893855, 14515/775, Tehran, Iran(corresponding author)*

[2]*Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, 9968111, Karaj, Iran*

Abstract

The use of titanium and titanium-based alloys with applications in the human body has made significant progress in promoting new technologies due to its corrosion resistance, biocompatibility, and high ossification rate. One of the common titanium alloys is the titanium-aluminum-vanadium alloy, which is used due to its high compatibility. Recent research has proven the toxicity factors of vanadium and aluminum, and therefore it is felt necessary to replace other suitable alloys. In the present study, by choosing Ti-9Mo alloy, aluminum and copper elements were added to it and their properties were checked using JMatPro material properties simulator. These two elements were chosen because copper is a favorable element for the body and the other is a harmful element for the body (aluminum). By adding the copper alloy element to the Ti-9Mo alloy, the elastic modulus decreases to a minimum value of 97 GPa, and the aluminum alloy element leads to an increase in the elastic modulus up to 118 GPa. Also, copper increases the hardness and strength of the alloy. Due to the similar properties, Ti-Mo-Cu alloys can be a good alloy to use.

Keywords: Titanium - molybdenum, copper, aluminum, software simulator, biocompatible alloy.