



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc"

مهندسی مواد- شناسایی و انتخاب مواد فلزی

عنوان:

کاشتنیهای فلزی، بررسی خواص مکانیکی

استاد راهنما:

نگارش:

فهرست مطالب :

چکیده 1

فصل اول : مقدمه

1-1- مقدمه 3

فصل دوم : زیست مواد

- 1-2- برداشت کلی از زیست مواد و کاربردهای آنها در وسایل پزشکی 6
- 2-2- کاربردهای زیست مواد 9
- 3-2- انواع زیست مواد 14
- 4-2- مثالهایی از کاربرد زیست مواد 16
- 5-2- احتیاجات فیزیکی و مکانیکی برای مواد قطعات پزشکی 24
- 1-5-2- شرایط بدن 25
- 2-5-2- قابلیت زیست‌سازگاری (Biocompatibility) 27
- 3-5-2- رفتار مکانیکی و آزمونهای خواص مکانیکی 28
- 1-3-5-2- آزمونهای خستگی 29

- 30.....2-3-5-2 آزمونهای استاتیک: دیاگرامهای تنش- کرنش
- 33.....3-3-5-2 آزمونهای سختی
- 34.....4-3-5-2 آزمون چقرمگی شکست
- 36.....5-3-5-2 آزمونهای سایش
- 37.....4-5-2 خواص مکانیکی استخوان
- 39.....5-5-2 مدول الاستیکی
- 46.....6-2 مواد فلزی
- 55.....1-6-2 فولادهای زنگ‌نزن
- 58.....1-1-6-2 مارتنزیتی
- 60.....1-1-1-6-2 معرفی یک فولاد مارتنزیتی جدید مقاوم به سایش
- 68.....2-1-6-2 فریتی
- 69.....3-1-6-2 آستنیتی
- 72.....4-1-6-2 آستنیتی دوتایی
- 72.....5-1-6-2 سختی-رسوبی
- 74.....6-1-6-2 کاشتنی (Implant-Grade)
- 75.....1-6-1-6-2 گرید 316L
- 78.....7-1-6-2 نیتروژن مستحکم‌شده (Nitrogen-Strengthened)
- 82.....8-1-6-2 نیکل پایین با نیتروژن بالا (Low-Ni & High-N)
- 88.....2-6-2 آلیاژهای پایه کبالت
- 99.....1-2-6-2 سایر آلیاژهای ایمپلنت جراحی پایه کبالت
- 100.....3-6-2 آلیاژهای تیتانیوم و پایه تیتانیوم
- 103.....1-3-6-2 متالورژی فیزیکی

- 104..... 2-3-6-2- تاثیر عناصر آلیاژی
- 106..... 4-3-6-2- سیستمهای آلیاژی
- 108..... 1-4-3-6-2- تیتانیوم خالص تجاری
- 109..... 2-4-3-6-2- آلیاژهای آلفا- شبه آلفا ($near-a$)
- 110..... 3-4-3-6-2- آلیاژهای آلفا-بتا ($a - b$)
- 113..... 4-4-3-6-2- آلیاژهای بتا (b)
- 116..... 5-3-6-2- خواص خستگی
- 119..... 6-3-6-2- خواص اصطکاکی و سایش
- 120..... 4-6-2- مقایسه مواد ایمپلنت ارتوپدی
- 121..... 5-6-2- آلیاژهای شکل حافظه (Shape Memory Alloys)
- 123..... 1-5-6-2- نیتینول (NITINOL)
- 128..... 6-6-2- سایر فلزات استفاده شده برای قطعات پزشکی
- 128..... 1-6-6-2- تانتالوم
- 130..... 2-6-6-2- زیرکونیوم
- 131..... 3-6-6-2- فلزاتی برای الکترودهای پزشکی
- 133..... 4-6-6-2- نقره

فصل سوم: ایمپلنتهای ارتوپدی

- 135..... 1-3- مقدمه‌ای بر ایمپلنتهای ارتوپدی و شکست آنها
- 137..... 2-3- انواع وسایل ارتوپدی

- 140..... 1-2-3- ابزار پرتزی
- 142..... (Internal Fixation Implants) ایمپلنتهای تثبیت داخلی
- 144..... (Straight Bone Plates) پلاکهای استخوانی مستقیم
- 148..... 3-3- مواد ایمپلنت فلزی
- 150..... 4-3- فولادهای نیکل پایین به عنوان یک ماده موردنظر برای پلاکهای استخوانی کوچک

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- 158..... نتیجه گیری
- 162..... پیشنهادات
- 164..... منابع لاتین
- 167..... چکیده لاتین

- جدول 1-2- لیست و کاربرد زیست مواد بکار رفته در ایمپلنتهای پزشکی و دندانپزشکی 11
- جدول 2-2- لیست برخی از قطعات کاشتنی و زیست مواد به کار رفته در ساخت آنها 17
- جدول 3-2- لیست برخی ترکیبات موادی در پرتزهای جایگزین لگن 19
- جدول 4-2- خواص فیزیکی بافتهای نرم و سخت و برخی از مواد مهندسی 26
- جدول 5-2- آزمونهای ویژه استاندارد برای برخی مواد ایمپلنت 30
- جدول 6-2- آزمونهای استاندارد مربوط به سایش 37
- جدول 7-2- خواص مکانیکی استخوان 38
- جدول 8-2- خواص مکانیکی استخوانهای بلند و مجمه 39
- جدول 9-2- خواص مکانیکی برخی مواد بیولوژیک و زیست مواد 42
- جدول 10-2- خواص مکانیکی فلزات به کار رفته در ساخت ایمپلنت 44
- جدول 11-2- تاریخچه استفاده از فلزات به عنوان زیست مواد 45
- جدول 12-2- مقایسه خواص مکانیکی مواد ایمپلنت فلزی با استخوان کورتیکال 50
- جدول 13-2- عناصر به کار رفته در ایمپلنتهای فلزی 53
- جدول 14-2- برخی از کاربردهای پزشکی فلزات 53
- جدول 15-2- ترکیبات برخی از آلیاژهای مورد استفاده در ساخت ایمپلنت 54
- جدول 16-2- برخی آلیاژهای فولادهای زنگ نزن و کاربردشان 56
- جدول 17-2- خواص مکانیکی ایمپلنتهای جراحی ساخته شده از فولادهای زنگ نزن 56
- جدول 18-2- ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی رایج در جراحی و دندانپزشکی 59
- جدول 19-2- ترکیب نوعی X15T.N و مقایسه با برخی از فولادهای مارتنزیتی 64
- جدول 20-2- ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن آستنیتی غیر کاشتنی در قطعات پزشکی 71

- جدول 2-21- ترکیب برخی از فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی رایج 71
- جدول 2-22- ترکیب شیمیایی نیمه آستنیت و فولادهای PH مارتنزیتی در صنایع پزشکی 73
- جدول 2-23- استاندارد فولادهای رایج مورد استفاده در قطعات تثبیت داخلی موقت 74
- جدول 2-24- ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی کاربرد در قطعات تثبیت شکست 75
- جدول 2-25- الزامات مکانیکی برای فولادهای زنگ نزن 316L، سیم و شمش 76
- جدول 2-26- الزامات مکانیکی برای آلیاژهای ASTM F1314، F1586 , F2229 79
- جدول 2-27- ترکیب نوعی فولادهای نیکل پایین مشهور با کاربردهای پزشکی 83
- جدول 2-28- خواص مکانیکی فولادهای کاشتنی نیکل پایین و مقایسه با فولاد 316L 84
- جدول 2-29- ترکیب شیمیایی آلیاژهای پایه کبالت مورد استفاده در ایمپلنتهای پزشکی 90
- جدول 2-30- اثر فورجینگ روی خواص مکانیکی آلیاژ ویتالیوم 91
- جدول 2-31- خواص نوعی آلیاژهای ریختنی و چکش‌خوار پایه کبالت 92
- جدول 2-32- ترکیب آلیاژهای Co-Cr استفاده شده در جراحی و دندانپزشکی 98
- جدول 2-33- خواص مکانیکی آلیاژهای Co-Cr 99
- جدول 2-34- الزامات مکانیکی برای محصولات آلیاژ چکش‌خوار ASTM F563 100
- جدول 2-35- الزامات مکانیکی برای سیم آلیاژی ASTM F 1058، کارسرد و پیرشده 101
- جدول 2-36- خواص مکانیکی و فیزیکی برای محصولات تولیدی از آلیاژ Havar 102
- جدول 2-37- مشخصه ASTM و شماره‌های UNS آلیاژهای تیتانیوم با کاربرد در پزشکی 107
- جدول 2-38- خواص کششی و محدودیتهای ناخالصی برای تیتانیوم غیرآلیاژی ASTM F67 109
- جدول 2-39- خواص آلیاژ تیتانیوم توسعه داده‌شده برای کاربردهای ارتوپدی 113
- جدول 2-40- مقادیر مدول الاستیکی برای مواد اتصالی طبیعی و مصنوعی 115
- جدول 2-41- استحکام خستگی صاف (Smooth) آلیاژهای ایمپلنت ارتوپدی 117
- جدول 2-42- استحکام خستگی شیاری (Notch) آلیاژهای ارتوپدی تیتانیومی 119

- جدول 2-43- مقایسه برخی از خصوصیات مواد ایمپلنت فلزی ارتوپدی 121
- جدول 2-44- خواص آلیاژهای حافظه شکل دوتایی نیکل-تیتانیوم 126
- جدول 2-45- الزامات مکانیکی برای تانتالوم غیرآلیاژی مطابق با ASTM F560 129
- جدول 2-46- رنج مدولهای الاستیک و خواص کششی تانتالوم غیرآلیاژی 129
- جدول 3-1- تخمین سیکل باری روی پا در طی عمل راه رفتن 137
- جدول 3-2- مقایسه خواص مکانیکی BioDur با 316L و Cp-Ti 153

- شکل 2-1- نیازهای مواد کاشتنی در کاربردهای ارتوپدی 6
- شکل 2-2- شماتیکی از فاکتورهای مهندسی موثر وابسته بهم در موفقیت یک جایگزین مفصل 8
- شکل 2-3- شرح شماتیکی از احتمال معیوب شدن ایمپلنت به زمان کاشت 8
- شکل 2-4- طرحی شماتیک از اجزاء مختلف یک مفصل 10
- شکل 2-5- قسمتهای مختلف یک پرتز هیپ 18
- شکل 2-6- رفتار سایشی ترکیبات مختلفی از کاسه و کله فمور 20
- شکل 2-7- قسمتهای مختلف پرتز زانو 22
- شکل 2-8- مقایسه مدول الاستیکی مواد ایمپلنتی فلزی مختلف با استخوان 41
- شکل 2-9- شمایی کلی از شکل و محل قرارگیری پرتزهای زانو و هیپ 47
- شکل 2-10- اجزاء مختلف پرتزهای زانو و هیپ 47
- شکل 2-11- پرتز هیپ ساخته شده از آلیاژ ASTM F562 48
- شکل 2-12- نیلهای اینترمدولار به کاررفته در تیبیا و فمور 49
- شکل 2-13- رابطه بین مقاومت پلاریزاسیون و زیست سازگاری فلزات خالص و چند زیست مواد 52
- شکل 2-14- مقایسه مقاومت خوردگی X15 T.N با چند فولاد مقاوم به سایش 65
- شکل 2-15- مقایسه مقاومت سایشی فولاد X15 T.N با فولادهای مقاوم به برش 67
- شکل 2-16- مقایسه مقاومت برشی فولاد X15 T.N با فولادهای مقاوم به سایش 68
- شکل 2-17- تاثیر Ni و Cr بر فاز آستنیتی فولادهای زنگ‌نزن شامل 0/1% کربن 70
- شکل 2-18- تاثیر کار سرد بر خواص میله‌های از جنس فولاد زنگ‌نزن 316L آنیل شده 77
- شکل 2-19- مقایسه دمای بحرانی شیار و PRE آلیاژهای ASTM F138 , F1314 , F2229 81
- شکل 2-20- مقایسه استحکام تسلیم به درصد کار سرد 3 آلیاژ نیتروژن مستحکم‌شده و 316L 81

- شکل 2-21- افزایش استحکام تسلیم بر اثر کارسرد 85
- شکل 2-22- عکس SEM از پودر آلیاژ Co-Cr-Mo، با کاربرد در ساخت ایمپلنتهای کاملاً چگال 94
- شکل 2-23- فنجانهای فمورال ساخته شده از آلیاژ Co-Cr-Mo فشرده 94
- شکل 2-24- مقایسه ریزساختار آلیاژ Co-Cr-Mo ، HIP و ریخته‌گری بسته شده 96
- شکل 2-25- خواص کششی آلیاژ ASTM F562 کارسرد شده و پیر شده 97
- شکل 2-26- دیاگرام فازی سیستم تیتانیوم برای پایدارکننده *a* (با Al) و پایدارکننده *b* (با V) 105
- شکل 2-27- کرنش خستگی به تعداد سیکل تا شکست آلیاژهای $a - b$ (Ti-6Al-4V) و *b* 107
- شکل 2-28- انتقال نوعی به منحنی دمایی یک آلیاژ شکل حافظه 123
- شکل 2-29- منحنی تنش-کرنش آلیاژ NiTi 125
- شکل 2-30- مقایسه منحنیهای تنش-کرنش سیمهای فنری از جنس فولاد زنگ‌نزن و TiNi SMA 125
- شکل 3-1- شماتیکی از پرتزهای مفصلی مختلف 138
- شکل 3-2- شماتیکی از قطعات تثبیت داخلی 139
- شکل 3-3- نمایی از یک پرتز هیپ واقعی همراه با شرایط استخوان طبیعی متناظر با آن 141
- شکل 3-4- شماتیکی از درجات مختلف پایداری بوسیله ابزار تثبیت داخلی 150
- شکل 3-5- Compact Locked Plate و پیچهای 2mm ای 152
- شکل 3-6- تغییر ریزساختار BioDur 108 مورد استفاده در ساخت پلاکها و پیچها 153
- شکل 3-7- تعداد سیکل تا شکست BioDur 108 و مقایسه با Cp-Ti در آزمون خمش معکوس 154
- شکل 3-8- دیاگرام وهلر (Woehler) 155

چکیده:

هدف از این تحقیق بررسی انواع زیست‌مواد فلزی، خواص مکانیکی و کاربردهای آنها می‌باشد. به‌همین منظور از منابع و تحقیقات گسترده و جدید موجود در این زمینه استفاده شده است. در این تحقیق سعی شده است که اکثر زیست‌مواد فلزی و کاربردهایشان مورد بررسی قرار گیرند. در این راه فولادهای زنگ‌نزن بخش عمده‌ای را به خود اختصاص داده‌اند که در آن علاوه بر اشاره به گریدهای موجود و رایج فولادهای زنگ‌نزن و کاربردهایشان، یک فولاد مارتنزیتی جدید مقاوم به سایش با نام X15 T.N معرفی شده و بسیاری از خواص آن با سایر گریدهای معروف مقاوم به سایش مقایسه شده است که نشان دهنده مقاومت به سایش بالاتر و کیفیت خوب برش این فولاد است. همچنین فولادهای زنگ‌نزن نیکل پایین مورد بررسی قرار گرفتند و چون این فولادها اساساً برای غلبه بر معایب مشهور Ti و مشکلات ناشی از آلرژی‌زایی Ni در فولادهای پرکاربردی مثل 316L ساخته شده‌اند با آنها مقایسه شد که نشان دهنده استحکام کشش استاتیک و مقاومت به خمش چندگانه بالاتر آنها نسبت به آلیاژهای Ti و 316L می‌باشد. در ادامه نیز به سایر آلیاژهای فلزی مانند انواع آلیاژهای پایه کبالت، روشهای ساخت و کاربردهایشان، انواع آلیاژهای Ti خصوصاً آلیاژهای $b-Ti$ با مزایای زیاد در کاربردهای زیست‌پزشکی (با داشتن پایین‌ترین مدول الاستیک در بین آلیاژهای فلزی ایمپلنت و زیست‌سازگاری بالا)، آلیاژهای شکل حافظه (مفصلاً نیتینول) و سایر فلزات مورد استفاده در وسایل پزشکی مانند تانتالوم، زیرکونیوم و غیره پرداخته شد. در بخش پایانی نیز به انواع ایمپلنت‌های ارتوپدی خصوصاً ایمپلنت‌های تثبیت داخلی اشاره شد و فولادهای نیکل پایین به‌عنوان آلیاژی مناسب برای ساخت پلاک‌های استخوانی کوچک معرفی شد.

فصل اول :

مقدمه

امروزه زیست مواد در پزشکی کاربردهای فراوانی پیدا کرده است. گستره این مواد از فلزات گرفته تا کامپوزیتها و پلی مرها متغییر است. بطور کل علم زیست مواد علم جدیدی به شمار می رود و دانشمندان هنوز در حال تحقیق بیشتر در این زمینه برای تولید زیست موادی با کیفیت و زیست سازگاری بهتر می باشند. امروزه فعالیت در عرصه زیست مواد به عنوان فعالیت در یک صنعت چند ده میلیارد دلاری به شمار می رود که سود بسیاری را برای صاحبان آن به ارمغان آورده است. یک زیست مواد اساس ساخت ایمپلنتها و پرتزها را تشکیل می دهد چنانکه کارایی آن ایمپلنت یا پرتز بشدت تحت تاثیر نوع و کیفیت زیست موادی است که در ساختشان به کار رفته است.

در این تحقیق یک زیست مواد این چنین تعریف می شود: «هر ماده ساختگی ای که برای جایگزین یا تعمیر و ترمیم طرزکار و عملکرد یک بافت بدنی که بطور پیوسته یا متناوب در تماس با مایعات بدن است استفاده می شود» [1]. این تعریف قدری محدودکننده است چرا که شامل مواد مورد استفاده برای وسایلی به عنوان تجهیزات جراحی یا دندانپزشکی نمی شود. هرچند که این تجهیزات در معرض مایعات قرار داده می شوند ولی آنها جایگزین یا مکملی برای عملکرد بافت انسان نیستند که این باید مدنظر قرار گیرد، به هر حال آن موارد برای تجهیزات جراحی (خصوصاً فولادهای زنگ نزن) در بخشهای بعدی موجود در این تحقیق (مواد فلزی) بطور مفید مورد بررسی قرار می گیرد.

در تعریف فوق الذکر موادی که برای پرتزهای خارجی مانند دست و پای مصنوعی یا سمعکها استفاده می شوند مستثنی می باشند چرا که این مواد در معرض مایعات بدن نیستند. در معرض

مایعات بدن قرار گرفتن معمولاً این را می‌رساند که زیست مواد در داخل بدن جای داده می‌شوند که این مکانها محدودیتهای سختی روی موادی که می‌توانند آنجا استفاده شوند ایجاد می‌کند.

بطور کل یک زیست مواد باید دو خصوصیت را توماً با هم داشته باشد، یعنی هم زیست‌سازگار باشد و هم باید خواص مکانیکی و فیزیکی مناسبی داشته باشد. برای استفاده بهینه، یک زیست مواد باید قابلیت تغییر یا ماشین کاری برای شکلهای مختلف (با داشتن هزینه نسبتاً پایین) و دسترسی آسان را داشته باشد.