

تحلیل خستگی خوردگی آمالگامهای پر مس

اعظم بیگی خردمند

جمشید آقازاده
دانشیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد

چکیده

آمالگام دندان به مقیاس وسیعی در دندانپزشکی کاربرد دارد. این آلیاژ با ترکیبات شیمیایی متنوع و اشکال کروی و تراشه ای و مخلوط بکار برده می شود. اما مطلوبترین خواص فیزیکی و شیمیایی، از آلیاژهای حاوی درصد مس زیاد با رسوب پراکنده و فاقد روی و با مورفولوژی کروی حاصل میگردد که علت آن عدم وجود فاز ضعیف ۲۲ می تواند باشد. در این تحقیق مقاومت خستگی خوردگی سه نوع آمالگام Solilanova، Cinalux و Cinalloy مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. مورفولوژی Solilanova و Cinalloy تراشه ای بوده و مورفولوژی Cinalux کروی میباشد.

برای آزمایش خستگی خوردگی از دستگاه سرو هیدرولیک استفاده گردید. خستگی آمالگامها در محیطهای هوا، سرم فیزیولوژی و سرکه در دو فرکانس ۱۰ و ۲۰ هرتز تحت شرایط فشاری - فشاری آزمایش گردید. نتایج آزمایشها نشان داد که استحکام خستگی آمالگام با مورفولوژی کروی از دو آمالگام دیگر بیشتر است و استحکام خستگی Solilanova بیش از Cinalloy میباشد. همچنین استحکام خستگی هر سه نوع آمالگام با افزایش فرکانس افزایش یافت. آزمایش خستگی در محیط سرم فیزیولوژی نشان داد که در هر سه نوع آمالگام، مقاومت خستگی نسبت به هوا کاهش می یابد. ولی رفتار خستگی آمالگامها در محیط سرکه نسبت به سرم متفاوت بود، بطوریکه مقاومت خستگی آمالگامها در سرکه، نزدیک و یا کمی از مقاومت آن در هوا بالاتر است. به منظور تفسیر این رفتار، مقاومت خستگی در محیطی با شدت اسیدی بیشتر نظیر اسید استیک ۳٪ آزمایش شد. نتایج نشان داد که مقاومت خستگی در این محیط نیز نسبت به هوا بالاتر است. همچنین مقاومت خستگی پرکردگی دندان در محیطهای هوا، سرم و سرکه به کمک روش المانهای محدود شبیه سازی شد. نتایج این تحلیل تنشی نشان داد که سهم خستگی آمالگام در شکست آن کم بوده و عوامل کلینیکی نظیر روش انجام و پولیش نهایی آمالگام بر عمر خستگی پرکردگی مؤثرترند.

کلمات کلیدی

آمالگام - خستگی - کروی - تراشه ای - خوردگی

Analysis of Corrosion Fatigue Behaviour of High Copper Amalgams

A.B.Kheradmand
M.S Graduate
In Materials Engineering

J.Aghazadeh Mohandesi
Associate Professor
In Materials Engineeri

Department of Mining & Metallurgical Engineering
Amir Kabir University of Technology

ABSTRACT

Dental amalgam has been used extensively in dentistry. This alloy is produced in several varieties of chemical compositions & morphologies such as lath cut and spherical; however the best mechanical and clinical properties are shown by high copper non zinc content amalgams with disperse particles having spherical morphology. This is due to the absence of γ_2 weak phase. In this investigation fatigue behavior of three amalgams, Solilanova, Cinalux, Cinalloy have been examined. Morphology of the Cinalloy and Solilanova powders were lath cut and for that of Cinalux was spherical. Servohydrolic machine was used for fatigue testing amalgams in air, physiology serum and a solution of acetic acid environment under two frequencies of 10 & 20 Hz. Fatigue strength of amalgam with spherical morphology was higher and also the fatigue strength of Solilanova was more than Cinalloy. By increasing the frequency fatigue strength was increased. The lowest fatigue strength was observed in physiology serum. The high fatigue strength observed in acetic acid solution seems to be related to the polishing effect of the solution on amalgam surface (ie. removing microcracks). Finally the fatigue life of two types of fillings were simulated using Basquin constant of the amalgam. The results showed that the fracture of amalgam as the result of fatigue is not likely to happen at the filling, rather clinical procedure seems to have major effect on filling life.

Key word

Amalgam, fatigue, spherical, lath cut, corrosion

۱- مقدمه

آمالگام به معنی ملقمه و ملقمه دندان‌آلیازی از جیوه همراه با نقره، قلع، مس به میزان ۹۴٪ و عناصر دیگری نظیر روی است. مخلوط بدست آمده از فلزات فوق بنام آلیاژدندانی شناخته میشود. این ترکیب دارای رفتار پلاستیک میباشد و این امکان را فراهم می آورد که بخوبی در حفره آماده شده دندان قرار گرفته و با فشار جاگذاری شود. آمالگام به ساختار دندان چسبندگی نداشته و باید برای ابقا به این حفره تکیه داشته باشد [۱]. بنابر مدارک موجود، در سال ۱۸۲۶ در فرانسه، این ملقمه برای اولین بار به شکل خمیرنقره - جیوه بمنظور ترمیم بافت دندان‌آلیازی مورد استفاده قرار گرفت [۲ و ۳]. در این زمینه افراد مختلفی کار کردند، بویژه دونفر بنامهای Flag و Townsend همکاری قابل توجهی در اصلاح این ماده داشتند [۴]. Ryge و Gray بطور جداگانه طی یکسری مطالعات و تحقیقات فازهای موجود در آمالگام را معرفی نمودند [۵-۱۱]. پس از آن Youdelis و Innes آلیاژ اصلاح شده ای با ترکیب جدید و با استحکام بالا تولید کردند [۱۲].

از نظر ترکیب شیمیایی آمالگامها به دو دسته آلیاژهای حاوی مس زیاد و حاوی مس کم تقسیم میشوند. مرز ترکیبی بین این دو دسته در مراجع مختلف متفاوت است [۱۳ و ۱۴ و ۱۵]. بطور کلی آلیاژ آمالگام از نظر مورفولوژی و شکل ذرات در دو نوع تراشه ای یا براده ای و کرووی تولید میشود [۱۶ و ۱۷ و ۱۸]. فازهای مهم موجود در آمالگام عبارتند از: $Ag_{22}SnHg_{27}$, $[Ag_3Sn]$, $[Cu_6Sn_3]$, $[Cu_3Sn]$, $[Sn_8Hg]$, $[Sn_7Hg]$ ، فاز γ_1 در بعضی منابع با فرمول Ag_2Hg_3 معرفی شده است. فاز γ_2 بصورت مناطق کوچکی در زمینه (فاز γ_1) پراکنده است [۱۹].

ملقمه دندان‌آلیازی به دلیل برخی از خواص ویژه مانند تغییرات ابعادی، مقاومت در برابر نیروهای فشاری و تمایل به خزش و سیلان تحت نیروهای فشاری بی نظیر است ولی در برابر اعمال تنش کششی یا فشاری ضربه ای ترد عمل کرده و میشکند. شکست آمالگام به دلایل متفاوتی نظیر خزش، ضعف مارچین، خوردگی و خستگی اتفاق می افتد. بررسی رفتار خستگی آمالگام اولین بار توسط Wilkinson و Haack انجام شد [۲۰]. پس از آن در سالهای ۱۹۸۵ و ۱۹۸۹ Williams و Cahoon اثر خستگی را بر شکست مارچینال آمالگام بررسی نمودند [۲۱]. شکست ناشی از خستگی در ترمیم آمالگام در دو قسمت اتفاق می افتد: شکست در رزین چسبیده در فصل مشترک دندان - ترمیم و شکست در ملقمه [۲۲ و ۲۳]. نتایج بررسی استحکام

خستگی آمالگام ها نشان داده است که متوسط استحکام خستگی با استحکام فشاری اولیه رابطه دارد بطوریکه در 10^4 و 10^5 سیکل به ترتیب مقاومت خستگی به ۶۶٪ و ۵۸٪ مقاومت فشاری می رسد. [۲۴]

در مورد خستگی آمالگام در محیط خورنده به نظر نمی رسد که تحلیل مدونی صورت گرفته باشد، اما به عقیده محققین فرایند کلی خستگی خوردگی فلزات در مراحل جوانه زنی و رشد ترک خستگی، بستگی مستقیم به شدت تنش، فرکانس بارگذاری، نسبت تنش، اکتیویته شیمیایی محیط و تولید محصولات خوردگی دارد [۲۵]. برای بررسی رفتار خستگی خوردگی از روشهای متفاوتی نظیر زمان دادن [۲۶]، اندازه گیریهای پلاریزاسیون با پتانسیو استات بر پایه الکتروود تنش دار [۲۷] و همزمان کردن رفتار مکانیکی و الکتروشیمیایی [۲۸] استفاده میشود. در این تحقیق نیز آمالگامها به طور همزمان تحت اعمال تنش در محیط خورنده قرار گرفته اند.

۲- مواد و روشها

در این تحقیق از سه نوع آمالگام پر مس استفاده شده است. به علت پرمس بودن این آمالگامها فاقد فاز ضعیف γ_2 میباشد [۲۹]. ترکیب شیمیایی سه نوع آمالگام که با استفاده از شیمی تر بدست آمده، در جدول (۱) داده شده است. آمالگامهای Cinalloy و Cinalux ساخت شرکت تهیه مواد اولیه دندانیه شهید فقیهی (سینا) و آمالگام Solilanova ساخت کشور انگلستان میباشد. ترکیب مواد اولیه برای آمالگام Cinalloy و Cinalux یکسان است. ولی فرایند تولید آنها متفاوت میباشد. لذا در ترکیب شیمیایی آنها اندکی تفاوت وجود دارد. بطوریکه ذرات پودر آمالگام Cinalloy حاصل از فرایند ذوب و ریخته گری و تراشکاری بوده و آمالگام Cinalux طی فرایند اتمایزینگ گازی بصورت ذرات کروی تولید میشود. مورفولوژی ذرات پودر Solilanova نیز تراشه ای میباشد. کلیه نمونه های آزمایشی طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۲۴ ساخته شدند، بطوریکه نمونه ها به روش تمام مکانیکی بصورت استوانه هایی به قطر ۴ mm و ارتفاع ۸ mm تهیه شدند. نمونه های مربوط به آزمایشهای مکانیکی پس از تهیه به محیطی با دمای $37 \pm 1^\circ C$ منتقل گردیدند. مشخصات مربوط به تولید نمونه ها در جدول ۲ آمده است. آزمایش فشار یکساعت پس از پایان ملقمه سازی انجام شد. سرعت تغییر مکان 0.25 mm/min بود. و نمونه ها با توجه به استاندارد ADA به طور یکسان آزمایش شدند.

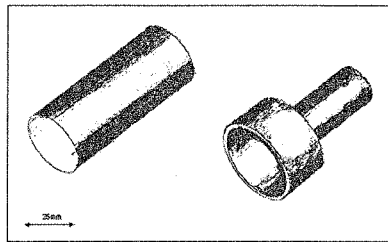
جدول (۱): ترکیب شیمیایی آمالگامها با استفاده از آنالیز شیمی تر

ترکیب شیمیایی				نام آمالگام
Zn	Cu	Sn	Ag	
۰	۲۲/۷	۲۶	۴۷/۵	Solilanova
۰	۲۶/۳۶	۲۵/۹۲	۴۳/۱۱	Cinaalloy
۰	۲۸/۸۴	۲۵/۹۶	۴۴/۲۹	Cinalux

جدول (۲): مشخصات لازم برای تهیه نمونه های آزمایش

نام آمالگام	فشار کندهائی	زمان خودگیری	زمان مخلوط کردن	نسبت جیوه به آلیاژ
Solilanova	۱۴Mpa	۴Min	۸S	۱/۱.۲
Cinaalloy	۱۴Mpa	۶Min	۸-۱۰S	۱/۱.۰۵
Cinalux	۱۴Mpa	۴Min	۸-۱۰S	۱/۱.۰۸

تمام نمونه های آزمایش خستگی قبل از انجام آزمایش به مدت یک هفته در دمای 37°C پیر شدند. از آنجا که بنظر نمیرسد در آزمایش خستگی خوردگی آمالگام استاندارد خاصی ارائه شده باشد، لذا برای انجام آزمایش محفظه ای برای نگهداری نمونه و محلول خورنده و سنبه ای جهت اعمال فشار طراحی گردید. سنبه و قالب از فولاد زنگ نزن ساخته شدند و سطح افقی آن ها نسبت به محور اصلی خود کاملاً عمود تراشیده شدند، به این ترتیب خطای ناشی از آزمایش به حداقل رسید (شکل ۱). برای نگهداری نمونه در قالب و جلوگیری از هرگونه اعمال تنش خارجی به نمونه از یک واشر لاستیکی به قطر ۳۰ mm دارای سوراخی به قطر ۴mm در مرکز آن استفاده گردید. با توجه به مقادیر استحکام فشاری هر سه نوع آمالگام روند آزمایش خستگی طراحی شد. بطوریکه اولین تنش اعمالی برابر 0.75UTS در نظر گرفته شد. کلیه آزمایشهای خستگی بر روی سه نوع آمالگام در سه محیط هوا، سرم فیزیولوژی [آب مقطر + 0.9% نمک] و سرکه، توسط دستگاه سروهیدرولیک Instron و بصورت فشاری-فشاری و در دو فرکانس ۱۰ و ۲۰ هرتز با مقدار R ثابت $(R = \sigma_{\text{Min}} / \sigma_{\text{Max}})$ در طول آزمایش انجام شد. در کلیه آزمایشها مقدار تنش حداکثر 0.1Mpa در نظر گرفته شد.



شکل (۱): شماتیک طرح سنبه و قالب

به منظور تحلیل تنش ترمیمهای آمالگام در پرکردگیهای کلاس I و II double Box در حالت های استاتیک از نرم افزار NISA استفاده گردید. ابتدا مدلسازی از دندان کرسی عقب (پرملار) انجام شد و ترمیمهای کلاسهای فوق در آن ایجاد گردید. سپس با استفاده از منحنیهای تغییرمکان - نیرو، تنش تسلیم و مدول یانگ آمالگامها بدست آمد. برای تحلیل خستگی ترمیمهای ایجاد شده در دندان پرملار، ثوابت خستگی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بدست آمدند، به این منظور منحنی S-N حاصل از آزمایش بر حسب log-Log رسم شد. بنابراین به عنوان اولین تقریب و با صرف نظر از بخش پلاستیک رابطه عمر خستگی، دامنه تنش $[\sigma_a = \Delta\sigma/2]$ بر حسب تعداد سیکل تا شکست یا تعداد معکوس شدنهای نیرو به صورت رابطه باسکوئین در نظر گرفته شد [۳۰]:

$$\Delta\sigma/2 = \sigma_f = \sigma_f [2N_f]^b \quad \text{[معادله ۱]}$$

که σ_f استحکام خستگی بوده و بوسیله اکستراپوله کردن منحنی $\log S - \log N$ به نیم سیکل اول خستگی یا $[2N_f=1]$ بدست آمد و b توان استحکام خستگی یا ثابت باسکوئین که برابر شیب منحنی می باشد. از این دو پارامتر بعنوان خصوصیات ماده جهت شبیه سازی عمر خستگی پرکردگی دندان به کمک نرم افزار NISA استفاده شد. با تقریب بسیار خوب σ_f را میتوان معادل با σ_f' یعنی استحکام کششی حقیقی در نظر گرفت

۳- بحث و نتیجه گیری

۳-۱ مقاومت فشاری آمالگامها

نتایج آزمایش فشار بر روی نمونه های آمالگام [جدول ۳] نشان میدهد که استحکام فشاری Cinalux نسبت به دو آمالگام دیگر بیشتر است. دلیل این موضوع را می توان به مورفولوژی ذرات پودر نسبت داد. آمالگام Cinalux به دلیل مورفولوژی کروی، در هنگام ملقمه سازی مقدار جیوه کمتری نسبت به آمالگام تراشه ای مصرف میکند، بنابراین استحکام نهایی آن باید افزایش یابد [۳۳ و ۳۲ و ۳۱ و ۳۰]. از طرف دیگر کاهش مصرف جیوه در این نوع آمالگام سبب کاهش درصد فاز زمینه γ_1 و

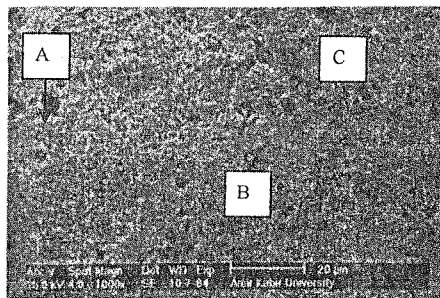
کاهش انبساط و تغییرات ابعادی آن نسبت به آمالگام تراشه ای میشود. همچنین این جدول نشان میدهد که استحکام فشاری آمالگامها در طی ۲۴ ساعت اول بعد از خودگیری بشدت افزایش می یابد و این بدلیل کنترل فرایند ملقمه سازی توسط مکانیزم نفوذ می باشد.

جدول (۳): نتایج آزمایش فشار ۱ و ۲۴ ساعته آمالگامها

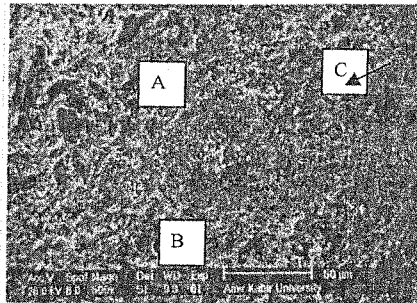
نام آمالگام	استحکام فشاری (Mpa)	
	یک ساعته	۲۴ ساعته
Solilanova	۱۶۰	۴۴۰
Cinaalloy	۱۴۰	۴۰۰
Cinalux	۲۳۰	۴۶۰

۲-۳ مکانیسم ملقمه سازی و ریزساختار آمالگامها

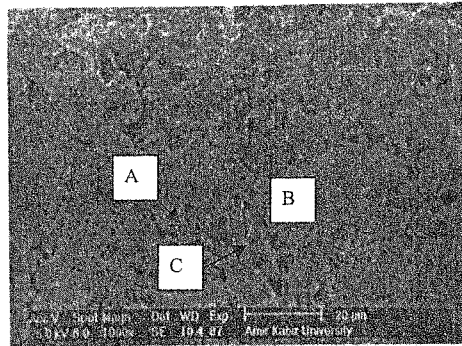
مهمترین فاز در آلیاز اصلی آمالگام فاز γ با فرمول Ag_3Sn میباشد [۷ و ۸]. نمودارهای آنالیز فازی وجود این فاز را نشان داده اند. همانگونه که تصاویر ریزساختاری نشان میدهند، فاز γ در آلیاز Cinalux کروی و بزرگ می باشد و در آمالگامهای Solilanova و Cinaalloy کوچکتر و نامنظم است. Fusuyama و Mayashi [۳۴] نیز چنین نتایجی را در آمالگامهای با مورفولوژی تراشه ای و کروی مشاهده نموده اند. فاز Cu-Sn نیز در این آمالگامها مشاهده میشود. فاز غالب از سیستم فازی Cu-Sn در ذرات پودر فاز Cu_3Sn و فاز غالب در آلیاز ملقمه شده Cu_6Sn_5 میباشد [۳۵]. به طور خلاصه مکانیسم ملقمه سازی آمالگامها بدین صورت است که: در هنگام اختلاط، جیوه به ذرات اولیه آلیاز نفوذ کرده و در واکنش با ذرات Ag-Sn فاز $Ag-Hg$ را تشکیل می دهد [۳ و ۴]. ولی بدلیل کمتر بودن حلالیت جیوه در مس نسبت به نقره و قلع، مس با جیوه تشکیل ملقمه نمیدهد [۱۵]. شکلهای ۲ تا ۴ فازهای موجود در آمالگامها را نشان میدهند: شکل ۳ نشان می دهد که در داخل ذرات اولیه واکنش نکرده [آمالگام Solilanova]، فاز γ_1 تشکیل شده است. بنظر میرسد که در هنگام ملقمه سازی، جیوه به عمق ذرات کوچکتر آمالگام [بدلیل دامنه نفوذی کوتاهتر] نفوذ می کند و این ذرات با جیوه واکنش داده و فاز $Ag-Hg$ را تشکیل میدهد و فاز Cu-Sn از ذرات اولیه واکنش نکرده را پس میزنند. اما ذرات بزرگتر پودر به دلیل دامنه نفوذ طولانیتر زمان بیشتری برای تشکیل فاز γ_1 لازم دارد و به همین دلیل مقداری از این ذرات بصورت واکنش نکرده [فازهای Cu-Sn و Ag-Sn] به شکل اولیه باقی میمانند [۳۶]، در واقع واکنش جیوه با این ذرات تنها به سطح آلیاز محدود میشود. از طرف دیگر تصاویر میکروسکوپی و نمودارهای آنالیز فازی نشان میدهند که این آمالگامها فاقد فاز γ_2 میباشند. و این بدلیل مقدار زیاد مس در این آمالگامها (بیشتر از ۱۰٪) است. وجود این مقدار مس در آمالگام سبب میشود که در هنگام تشکیل فاز γ_1 ، قلع آزاد شده از ذرات اصلی در نواحی مجاور فاز ϵ به صورت $[Cu_2Sn]$ واکنش داده و فاز Cu_6Sn_5 تشکیل شود. نقاط سیاه پیرامون ذرات اولیه در تصاویر میکروسکوپی نشان دهنده این فاز هستند. این واکنش فازی سبب حذف فاز γ_2 میشود.



شکل (۳): ریزساختار آمالگام Solilanova
A: فاز γ_1 ; B: فاز Cu_6Sn_5 ; C: فاز Ag_3Sn



شکل (۲): ریزساختار آمالگام Cinalux
A: ذرات اولیه آلیاز; B: فاز $Ag-Hg$

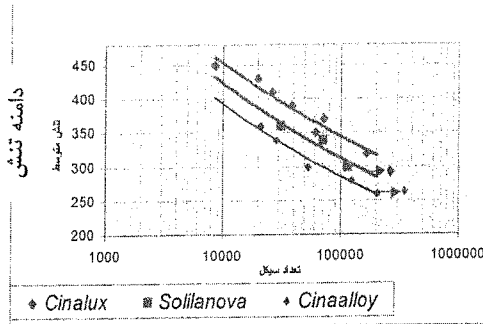


شکل (۴): ریز ساختار آمالگام Cinalloy
 A: فاز Cu_3Sn_5 ; B: فاز γ ; C: فاز Cu_3Sn

۳-۳ مقاومت خستگی آمالگامها

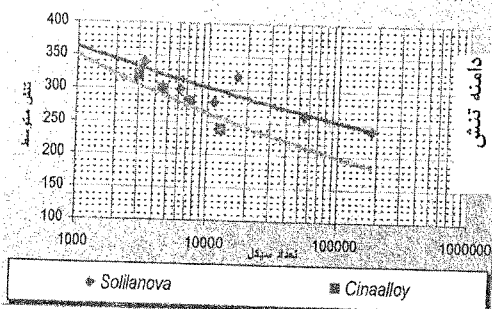
شکل ۵ مقایسه ای بین نتایج حاصل از آزمایشهای خستگی در محیطهای هوای و سرم فیزیولوژی در سه نوع آمالگام را نشان میدهد: مقاومت به خستگی آمالگام Cinalux (با مورفولوژی کروی) بیش از دو آمالگام با مورفولوژی تراشه ای بوده و مقاومت به خستگی آمالگام Solilanova نسبت به آمالگام Cinalloy بیشتر است. دلیل این افزایش مقاومت را میتوان ناشی از شکل ذرات پودر، اندازه، ترکیب و مش بندی آنها دانست. اشکال ۸ تا ۶ نشان دهنده مورفولوژی ذرات پودر آمالگامها است که توسط میکروسکپ الکترونی گرفته شده است. با مقایسه شکل ۷ با شکل ۸ مشاهده میشود که ذرات پودر در آمالگام Solilanova نسبت به Cinalloy به طور منظمتری تراشیده شده اند و دارای دو اندازه مختلف می باشند. این نظم و دوگانگی ابعاد تراشه ها سبب میشود که در هنگام ملقمه سازی و پس از خودگیری کامل ملقمه، میزان حفره های سطحی در آمالگام Solilanova نسبت به Cinalloy کمتر شود. در واقع میزان تخلخل و حفره های سطحی آمالگام ملاکی برای انتخاب نوع آلیاژ می باشد. اشکال ۹ و ۱۰ میزان حفره های سطحی در آمالگامهای Solilanova و Cinalloy را نشان میدهد. با توجه به اینکه ترکهای خستگی در آمالگامها ابتدا از حفرات و سپس از فاز γ جوانه زنی میکنند [۳۷، ۳۸ و ۳۹]، بنابراین کاهش میزان حفره های سطحی سبب افزایش مقاومت به خستگی Solilanova نسبت به Cinalloy میشود. از طرف دیگر مورفولوژی ذرات پودر Cinalux و توزیع ذرات آن به گونه ای است که این پودرها به دلیل شکل کروی خود، بعنوان فاز اصلی آمالگام (γ) از تمرکز تنش جلوگیری کرده و از طرف دیگر وجود ذرات ریز کوچکتر از $37 \mu m$ سبب پرکردن فضای خالی بین پودرهای درشتتر شده و بنابراین میزان حفره های سطحی به طور وسیعی کاهش می یابد. در واقع میتوان نتیجه گیری کرد. که حضور همزمان فازهای کروی و کاهش حفره های سطحی سبب افزایش مقاومت خستگی آمالگام با مورفولوژی کروی نسبت به آمالگام با مورفولوژی تراشه ای میشود. شکل ۱۱ فازهای موجود در آمالگام Cinalux را نشان میدهد که فاز اصلی آن به شکل کروی در زمینه پخش است. در واقع بنظر می رسد در مورد پودرهای کروی نیز فقط یکسان بودن اندازه ها، جهت حصول به مقاومت حداکثر کافی نمی باشد، بلکه پودرها باید دارای یک ترکیب مناسب مش بندی باشند، بصورتیکه بعد از اختلاط با جیوه و ملقمه سازی بصورت ساختاری فشرده^۱ در کنار یکدیگر قرار گیرند. همان گونه که قبلا ملاحظه شد در مورد پودرهای تراشه ای هم، تراش پودر باید به گونه ای باشد که فشرده ترین حالت را بهنگام مخلوط کردن و ملقمه سازی ایجاد نماید.

^۱Closed packed

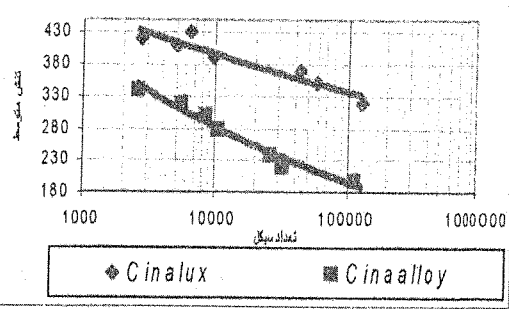


شکل (۵) - الف : مقایسه مقاومت خستگی آمالگامها در هوا در فرکانس ۲۰ هرتز

دامنه تنش



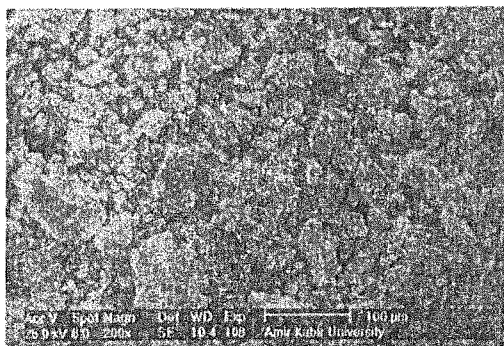
شکل (۵) - ج : مقایسه خستگی آمالگامهای Solilanova و



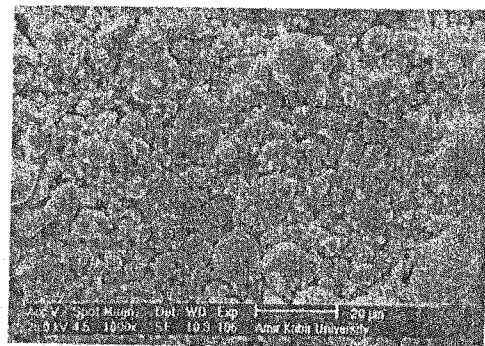
شکل (۵) - ب : مقایسه خستگی آمالگامهای Cinalux و

Cinalloy در سرم فیزیولوژی و در فرکانس ۱۰ هرتز

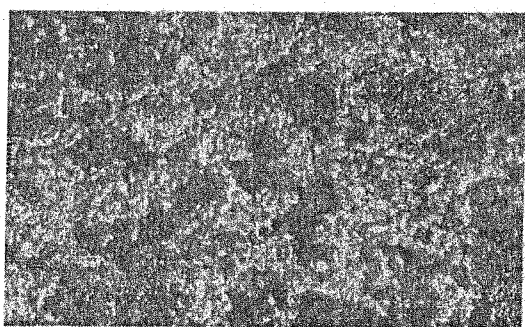
Cinalloy در سرم فیزیولوژی و در فرکانس ۲۰ هرتز



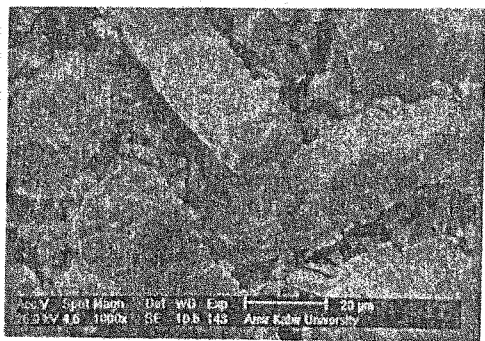
شکل (۷): مورفولوژی ذرات پودر Cinalloy



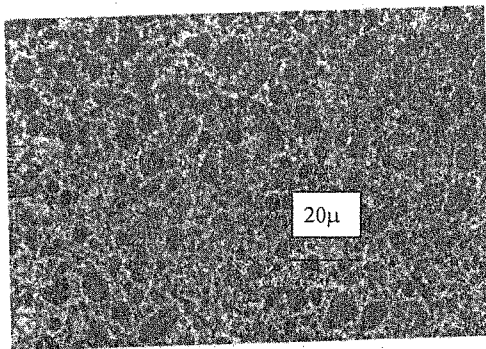
شکل (۶): مورفولوژی ذرات پودر Cinalux



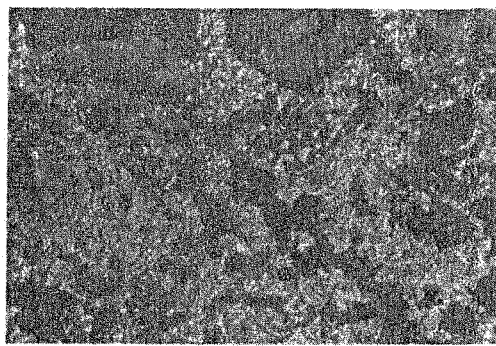
شکل (۹): حفره های موجود در آمالگام Cinalloy



شکل (۸): مورفولوژی ذرات پودر Solilanov



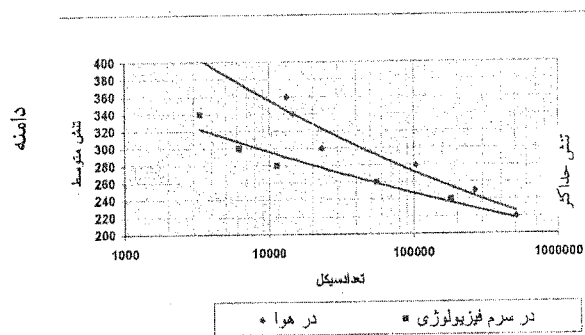
شکل (۱۱): حفره های موجود در آمالگام Cinalloy



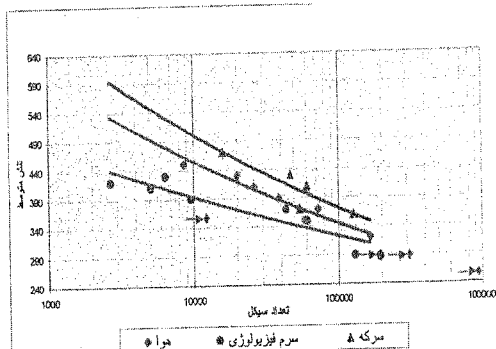
شکل (۱۰): حفرات موجود در آمالگام Solilanova

۳-۴ مقایسه خستگی آمالگامها در سرم فیزیولوژی

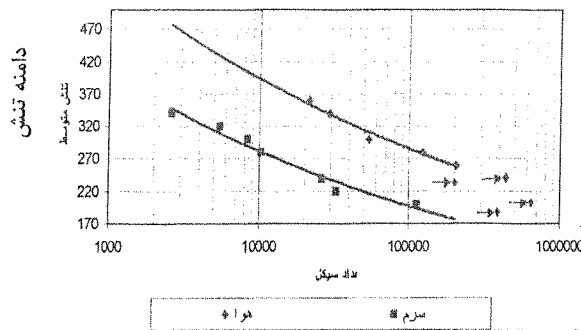
نتایج آزمایشهای خستگی در سرم فیزیولوژی (شکلهای ۱۲ تا ۱۴) نشان میدهند که مقاومت خستگی هر سه نوع آمالگام در این محلول کاهش می یابد. همچنین رنگ آمالگامهای درون سرم به سرعت تیره شدند. محلولهای سرم فیزیولوژی که نمونه های آمالگام در آنها تحت تنش بوده اند، قبل و بعد از شکست آمالگام دچار کدورت شد، این کدورت که بوضوح با چشم غیر مسلح قابل مشاهده بود در اثر ذرات معلق در محلول ایجاد شده بود. برای شناسایی نوع رسوبات موجود در محلول، دو نمونه آمالگام Cinalux با دو تنش متفاوت، در محلول سرم فیزیولوژی تحت بارگذاری سیکلی قرار گرفتند، به محلول سرم کدر شده حاصل مقداری اسید کلریدریک غلیظ افزوده شد و مشاهده گردید که بعضی رسوبات حل شدند. با افزایش بیشتر اسید کلریدریک و گرم کردن محلول تمامی رسوبات حل شدند. این انحلال نشان میدهد که احتمالاً رسوبات موجود در محلول عبارتند از: کلرید جیوه، اکسید قلع و هیدروکسید مس [۴۰]. این محلول شفاف، آنالیز شیمیایی بروش جذب اتمی شد. همچنین نمونه ای دیگر از آمالگام Cinalux بدون اعمال تنش، به مدت دو روز در محلول سرم فیزیولوژی قرار گرفت. این محلول نیز بعنوان شاهد آنالیز شیمیایی جذب اتمی شد. نتایج این آزمایش در جدول ۴ آمده است. این جدول نشان میدهد که میزان ورود قلع به محلول و خوردگی آن، نسبت به دو عنصر دیگر بیشتر است. Schoonover نیز در بررسی خوردگی آمالگام در محلول کلرید سدیم رقیق نشان داد که قسمت اصلی محصولات خوردگی را قلع تشکیل میدهد [۴۱].



شکل (۱۳): مقایسه خستگی آمالگام Solilanova در دو محیط هوا و سرم فیزیولوژی و در فرکانس ۱۰ هرتز



شکل (۱۲): مقایسه خستگی آمالگام Cinalux در سه محیط هوا، سرم فیزیولوژی و سرکه، در فرکانس ۱۰ هرتز



شکل (۱۴): مقایسه خستگی آمالگام Cinalloy در دوحیط هوا و سرم فیزیولوژی و در فرکانس ۲۰ هرتز

بنظر میرسد اتصال ضعیف Sn-Hg در سیستم فازی $Ag-Hg [\gamma_1]$ با فرمول $[Ag_{22}Sn_{27}Hg_{27}]$ عامل جدایش قلع باشد ، چرا که خوردگی فاز γ_1 تابعی از اتصال آن به سطح است . همچنین نتایج آنالیز فوق نشان داد که با افزایش تنش اعمالی میزان ورود اتم های Ag, Sn, Cu به محلول بیشتر میشود، از طرفی بدون حضور تنش ، ورود عناصر فوق به محلول کمتر از حد استاندارد دستگاه و تقریباً صفر بود . Reese و همکارانش نیز نشان دادند که خوردگی آمالگام در غیاب نیروهای مکانیکی ۱۴ ماه بعد از ترمیم در دهان اتفاق می افتد [۴۲] . از طرف دیگر با افزایش تنش ، جوانه زنی ترک زودتر آغاز میشود . با شروع جوانه زنی ترک از حفرات و فاز ضعیف γ_1 (به لحاظ مکانیکی و شیمیایی) [۴۳] ، واکنش نقره ، مس و قلع با یونهای OH^- و Cl^- موجود در محلول شروع میشود و در نتیجه رسوبات $AgCl$ و $CuCl_2$ و SnO_2 تشکیل میشوند . تضعیف باند های اتمی در فاز γ توسط بارگذاری سیکلی و واکنش اجزاء تشکیل دهنده آمالگام با یونهای موجود در محلول ، بطور همزمان سبب کاهش مقاومت به خستگی آمالگام در سرم فیزیولوژی میشود .

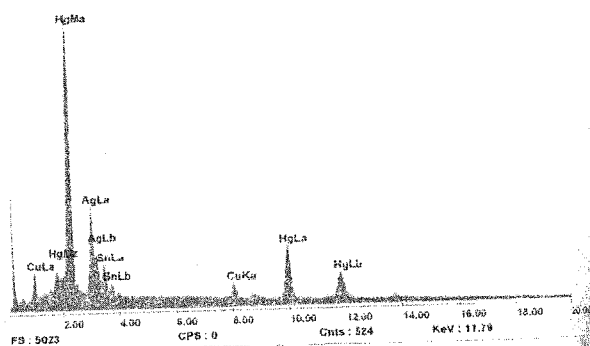
جدول (۴): نتایج آنالیز جذب اتمی بر روی سرم فیزیولوژی

میزان عناصر موجود (ppm)			میزان تنش (Mpa)
Sn	Cu	Ag	
۱۸/۷	۴/۴	۲/۳	۳۰
۲۵	۱۵/۹	۷/۱	۳۲
<<	<<	* <<	.

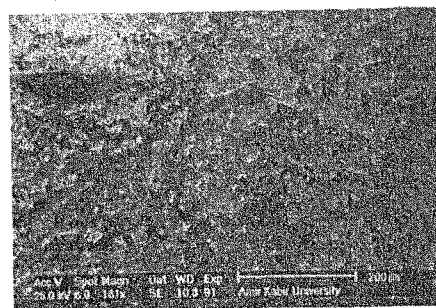
* کمتر از حد استاندارد دستگاه . این حد برای نقره = ۰.۰۰۳٪ ، قلع = ۰.۰۱۵٪ و مس = ۰.۰۰۴٪ میباشد

شکل ۱۵ نشاندهنده تصویر SEM از یک نمونه آمالگام Cinalux است که در محلول سرم فیزیولوژی تحت تنش سیکلی بوده و قبل از شکست ، آنالیز EDX و SEM بر روی آن انجام گرفت . شکل ۱۶ آنالیز EDS منطقه کنده شده [منطقه ای که ترک از آن جوانه زنی کرده] را نشان میدهد . این نمودار تأییدی بر این نظریه است که قبل از وقوع شکست ، ذراتی از سیستم فازی $Ag-Hg$ ، واقع در نزدیکی سطح کنده شده و به صورت محل های مرجح برای جوانه زنی عمل مینمایند . در واقع در آمالگام با مس کم ، ترک ابتدا از فاز γ_2 جوانه میزند ، ولی در آمالگام با مس زیاد در غیاب فاز γ_2 ، ابتدا فاز γ_1 و سپس ϵ_1 و η_1 خورده میشوند [۴۴] . محصولات خوردگی عبارتند از $AgCl$ و Hg_2Cl و $CuCl_2$ و SnO [۴۷ و ۴۶ و ۴۵] . در حقیقت سطح آمالگام ، تحت تنش سیکلی در سرم فیزیولوژی دچار نوعی سایش میشود (Erosion) و میتوان فرض نمود که مکانیزم خوردگی در سرم فیزیولوژی از نوع نفوذ عمقی از ترکها به مارجین و شیارهای حفره دندانی بوده و یک تغییر ساختاری بصورت رشد و نفوذ ترک در مارجین و جوانه زنی ترکهای سطحی در آمالگام قابل مشاهده است [۴۸] . همچنین این مشاهدات تأییدی بر این مطلب است که آمالگامهای درون سرم فیزیولوژی ، قبل از شکست کامل تحت بار سیکلی فشاری - فشاری ، ابتدا دچار شکست مارجین شده اند [شکل ۱۷] و این بدان علت است که مارجین آمالگام در مقابل فشار ضعیف عمل میکند [۴۹] . در واقع جوانه زنی ترکهای خوردگی در نواحی مارجین ترمیم اتفاق افتاده و با سرعتی وابسته به

فرکانس و دامنه تنشهای وارده رشد میکنند. از طرف دیگر شکست مارچین آمالگام بستگی به رفتار خزشی آن دارد. بنابراین بنظر میرسد که با کاهش کرنش خزشی در آمالگامها میزان شکست مارچین نیز کاهش یابد



شکل (۱۶): آنالیز EDS از فازهای سطحی کنده شده



شکل (۱۵): سطح آمالگام Cinalux که درون سرم فیزیولوژی

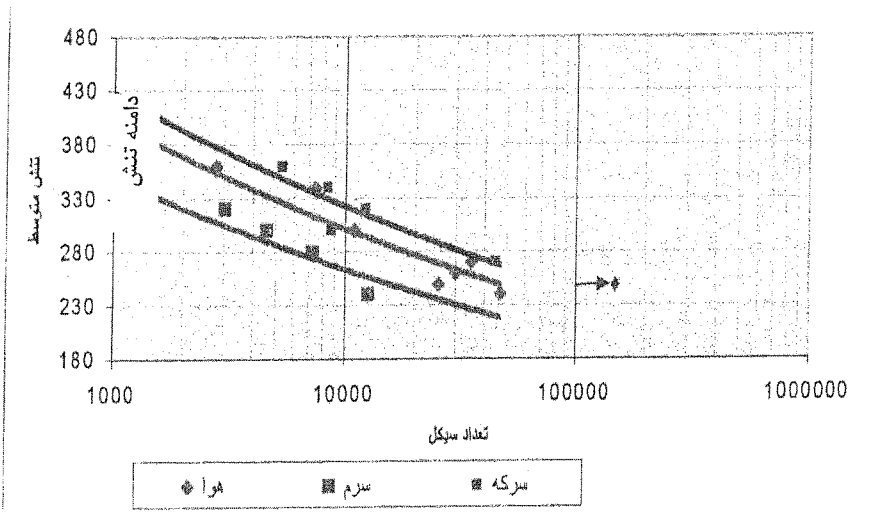


شکل (۱۷): مقطع شکست مارچینال آمالگام

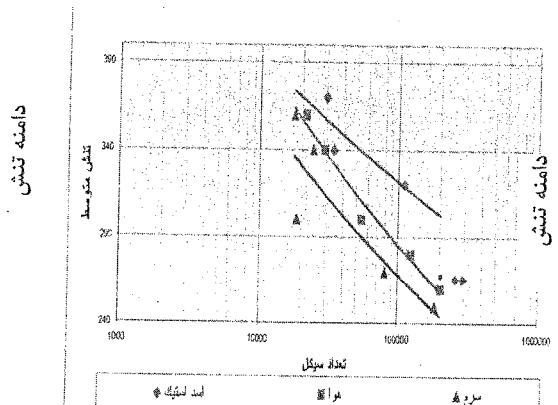
۳-۵ مقایسه رفتار خستگی آمالگامها در محیط سرکه

شکلهای ۱۲ و ۱۸ نشان میدهند که مقاومت خستگی آمالگام در سرکه افزایش مییابد. برای اطمینان از نتایج آزمایش و چگونگی اثر سرکه بر آمالگام، آزمایش خستگی در محلول اسید استیک ۲۷٪ برای آمالگام Cinalloy و Cinalux تکرار شد. شکلهای ۱۹ و ۲۰ مقایسه ای بین منحنی های خستگی این آمالگامها در هوا، سرم فیزیولوژی و اسید استیک را نشان میدهد. ملاحظه می شود که مقاومت خستگی در اسید استیک افزایش می یابد. با مقایسه شکل ۱۵ با شکل ۲۱ مشاهده میشود که زبری سطحی آمالگام تحت تنش سیکلی در محیط اسید استیک در مقایسه با سرم فیزیولوژی کاهش یافته است. همچنین سطح آن در مقایسه با آمالگامهای تحت تنش سیکلی در هوا و سرم فیزیولوژی صافتر شده و ترکهای سطحی آن از بین رفته است (شکل ۲۲). جدول ۵ نیز تأییدی است بر این که اسید استیک چه در غیاب تنش سیکلی و چه در حضور آن سبب خوردگی سطحی آمالگام شده است. منتها مقدار این خوردگی در معرض تنش سیکلی بیش از هنگامی است که نمونه بدون تنش در محلول اسید استیک قرار گرفته است. در واقع چون در این محلول خوردگی سطحی رخ داده و ترکهای ریز سطحی در اثر حضور اسید استیک از بین رفته است، بنابراین جوانه زنی ترک خستگی به تعویق افتاده و در نتیجه مقاومت به خستگی نمونه مزبور افزایش می یابد. بعبارت دیگر بنظر میرسد مکانیزم خوردگی آمالگام در اسید استیک، از نوع خوردگی لایه سطحی [فقط یک تغییر شیمیایی در سطح] بوده که در نتیجه آن ترکهای سطحی از بین می روند. در واقع اثر اسید استیک بر نمونه به منزله نوعی عملیات سطحی بشمار می آید که به واسطه آن سطح آمالگام پولیش شده و این سطوح صاف و

پولیش شده مقاومت به خوردگی بالاتری از خود نشان میدهند [۵۰]. بنابراین عمر خستگی افزایش می یابد. این عملیات را می توان مشابه فرایند اسید شویی آمالگام بمنظور انجام عملیات پایانی و پولیش نهایی آن ، در هنگام ترمیم دندان دانست. این موضوع بر لزوم انجام صحیح عملیات نهایی ترمیم [پولیش و براق کردن] ، برای افزایش مقاومت آمالگام تأکید می کند.

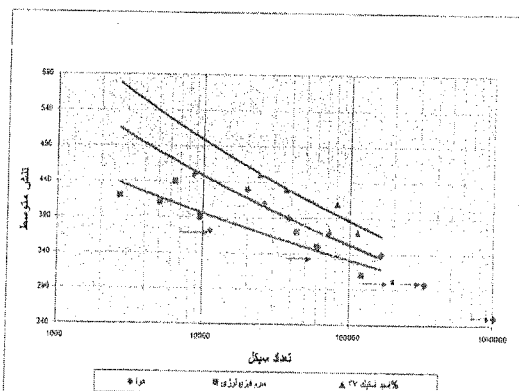


شکل (۱۸): مقایسه خستگی آمالگام Cinalloy در سه محیط هوا، سرم فیزیولوژی و سرکه ، د فرکانس ۱۰هرتز



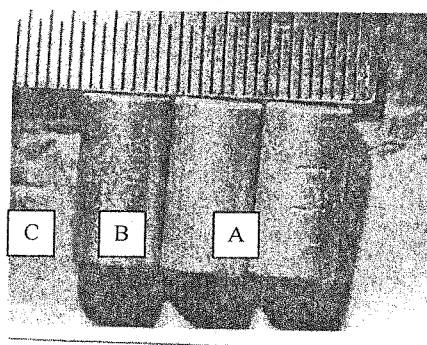
شکل (۲۰): مقایسه خستگی آمالگام Cinalloy در

هوا، سرم و اسید استیک



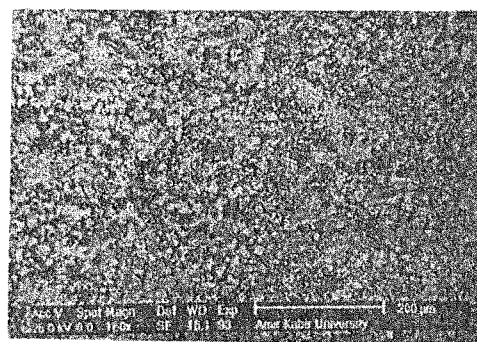
شکل (۱۹): مقایسه مقاومت خستگی Cinalux در هوا،

سرم و اسید استیک



شکل (۲۲) سطوح آمالگامها در: A-سرم ، B- هوا و C-

اسیداستیک درون اسید به طور یکنواخت خورده شده است



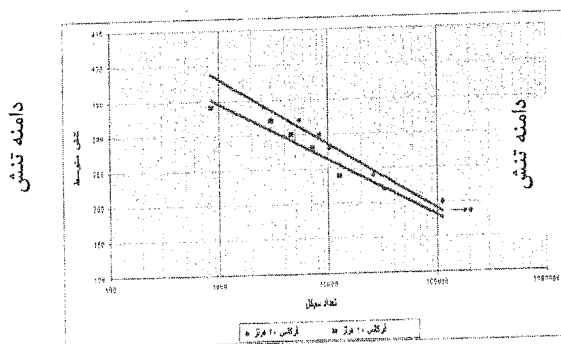
شکل (۲۱): سطح آمالگام درون اسید استیک: این آمالگام

جدول (۵): نتایج آنالیز جذب اتمی بر روی اسید استیک

میزان عناصر موجود (ppm)			میزان تنش (Mpa)
Sn	Cu	Ag	
۱۸/۷	۴/۴	۲/۳	بدون اعمال تنش
۲۵	۱۵/۹	۷/۱	با اعمال تنش

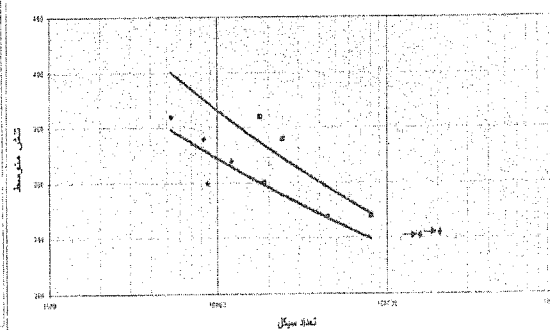
۳-۶ تأثیر فرکانس بارگذاری بر روی مقاومت خستگی آمالگامها

شکلهای ۲۳ تا ۲۵ نشان میدهند که با افزایش فرکانس، مقاومت به خستگی آمالگام افزایش می یابد. دلیل این موضوع را میتوان در زمان تماس نمونه های مورد آزمایش با محیط اکسیدی دانست. با افزایش فرکانس، زمان تماس نمونه ها با اکسیژن هوا و یون کلر موجود در سرم فیزیولوژی کاهش یافته و مقاومت خستگی افزایش می یابد. نتایج کارهای قبلی نیز نشان داده اند که خوردگی در افزایش سرعت شکست خستگی نقش مؤثر داشته و آن را تشدید میکند. از طرف دیگر آسیب خوردگی با افزایش زمان تماس قطعه با محیط خورنده به طور خطی افزایش می یابد [۵۱ و ۵۲].



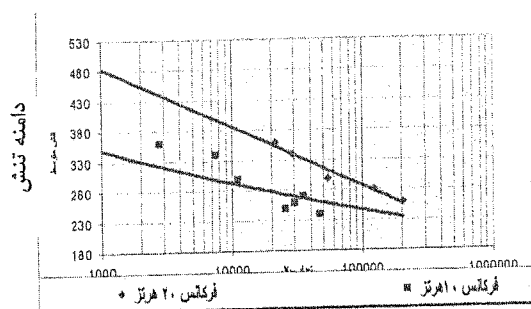
شکل (۲۴): مقاومت خستگی آمالگام Cinalloy

در سرم و در دو فرکانس ۲۰ و ۱۰ هرگز



شکل (۲۳): مقاومت خستگی آمالگام Cinalloy در سرکه

و در دو فرکانس ۲۰ و ۱۰ هرگز



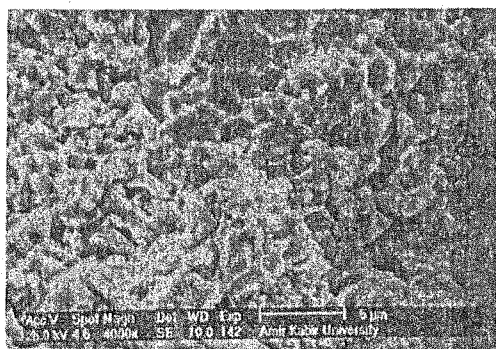
شکل (۲۵): مقاومت خستگی آمالگام Cinalloy در هوا و در

دو فرکانس ۱۰ و ۲۰ هرگز

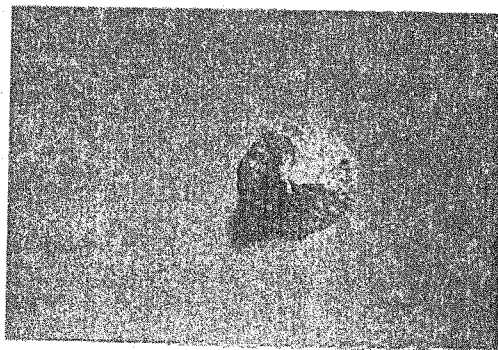
۳-۷ بررسی مقطع شکست آمالگامها

نتایج مطالعات مقاطع شکست آمالگام های تحت تنش سیکلی، نشان میدهد که غالباً سطح شکست با محور نیرو زاویه ۴۵ میسازد که مشخصه شکست ترد آمالگام است [شکل ۲۶]. در واقع آمالگام در بارگذاری خستگی رفتار ترد نشان میدهد

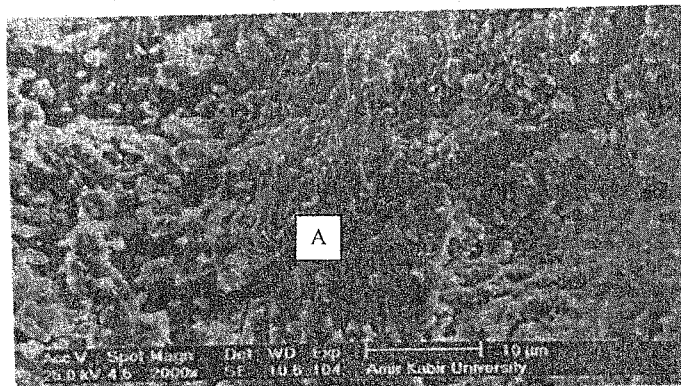
[۵۳]. از طرف دیگر مطالعات شکست نگاری توسط میکروسکوپ الکترونی نشان میدهد که شکست آمالگام غالباً از نوع مرزدانه ای بوده و جوانه زنی ترک در آمالگام ابتدا از حفرات و فاز ضعیف γ_2 و در غیاب آن ها از مرز دانه های γ_1 شروع می شود. در واقع بنظر میرسد که وجود حفرات در مرز ذرات پودر اولیه که بعد از ملقمه سازی تبدیل به فاز γ_1 می شوند، می توانند محل مناسبی جهت جوانه زنی ترک باشند. علی الخصوص که بعضی از فضاهای خالی به اندازه کافی بزرگ می باشند تا مقدار مؤلفه تنش برشی سیکلی به حد آستانه ای رشد ترک در شرایط فشاری - فشاری برسد. از طرف دیگر نوع شکست بستگی به فرکانس بارگذاری دارد، بطوریکه فرکانس پایین شکست مرزدانه ای ایجاد میکند. با توجه به مشاهده الگوهای متفاوت رشد ترک خستگی در سطح نمونه های شکسته شده بنظر میرسد، مکانیزم رشد ترک در فازهای Cu_3Sn ، γ_1 ، γ_2 متفاوت باشد. همانگونه که در تصاویر ۲۷ و ۲۸ مشاهده میشود، مکانیزم شکست فاز γ_1 بعلت وجود حفرات بین ذرات پودر اولیه از نوع مرزدانه ای است. در واقع فضاهای بین ذرات مسیر مناسب جهت رشد ترک خستگی را فراهم نموده اند. همچنین بنظر میرسد مکانیزم رشد در فاز Cu-Sn از نوع درون دانه ای باشد. نکته جالب اینکه در سطح این فاز خطوطی موازی یکدیگر مشاهده میشوند [نقاط A در شکل ۲۸] که شباهت به خطوط موج (Striation) [۵۴ و ۵۵ و ۵۶] دارند. البته به نظر نمی رسد که مکانیزم تشکیل چنین خطوطی به مانند مکانیزم تشکیل خطوط موج تحت بارگذاری سیکلی کششی باشد [۵۷] و بیشتر شباهت ظاهری با خطوط موج تشکیل شده در مواد ترد علی الخصوص در محیط خورنده دارند [۵۸ و ۵۹]. Suresh نیز وجود چنین خطوطی را در حالت خستگی فشاری - فشاری مشاهده نموده است. در هر صورت بهنگام حضور تنشهای کششی، پدیده بازشوندگی نوک ترک و تغییر فرم پلاستیک در گوشه های بالایی و پایینی ترک عامل ایجاد خطوط موج بر سطح شکست هستند [۶۰]. اما در شرایط خستگی فشاری در مواد دارای محدودیت در تغییر شکل پلاستیک، بنظر میرسد که مکانیزمهای برشی عامل ایجاد خطوط موج به علت توقفهای لحظه ای نوک ترک بعد از رشد ترک در هر سیکل بارگذاری باشند. البته با توجه به مکانیزمهای ارائه شده در این دو مکتب فکری، عامل رشد ترک خستگی مؤلفه کششی تنش سیکلی می باشد. اما در شرایط بارگذاری فشاری - فشاری، رشد ترک تحت تنشهای فشاری توسط مؤلفه تنش برشی انجام میگردد. لذا هیچگونه بازشدگی نوک ترک اتفاق نمی افتد و دو لبه بالایی و پایینی ترک در حالت لغزشی در دو جهت مخالف هم و بطور نوسانی، مشابه یکدیگر قرار دارند. در هر صورت بنظر میرسد حفره های موجود در مرز ذرات پودر اولیه پودر باعث تسریع رشد ترک خستگی می گردد.



شکل (۲۷): شکست مرز دانه ای در آمالگام solilanova در سرم فیزیولوژی این نمونه بعد از ۱۸۰۰۰۰ سیکل شکسته است



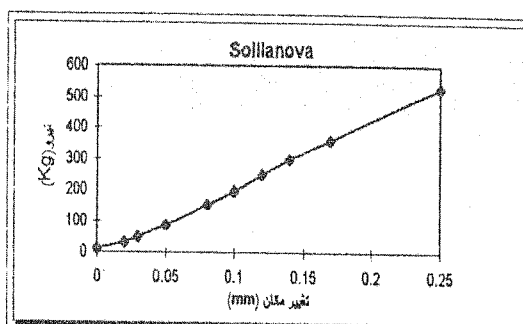
شکل (۲۶): مقطع شکست ۴۵° آمالگامها



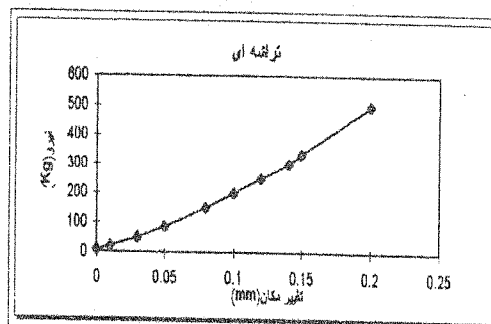
شکل (۲۸): شکست درون دانه ای در فاز Cu-Sn و خطوط شبه مواج در آمالگام Solilanova (منطقه A)

۳- شبیه سازی عمر خستگی پرکردگی دندان

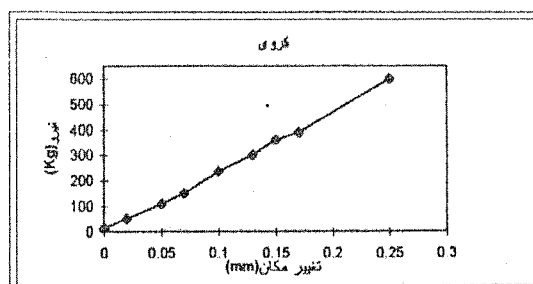
شکل‌های ۲۹ تا ۳۳ منحنیهای تغییر مکان - نیرو در آمالگامها را نشان می دهد که توسط آنها تنش تسلیم و مدول یانگ آمالگامها بدست آمد. این نتایج ثوابت لازم برای تحلیل تنشی دندان را ارائه می دهند که در جدول ۶ آمده است. شکل‌های ۳۳ و ۳۴ نمونه‌ای از منحنیهای لگاریتمی تنش - سیکل برای بدست آوردن ضرایب باسکوئیچین از آن‌ها استفاده شده است را نشان می دهد. جدول ۷ ثوابت خستگی بدست آمده را نشان می دهد.



شکل (۳۰): منحنی تغییر مکان - نیرو برای آمالگام Solilanova



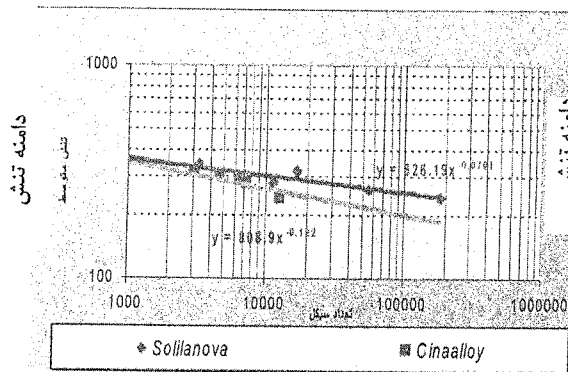
شکل (۲۹): منحنی تغییر مکان - نیرو برای آمالگام Cinalloy



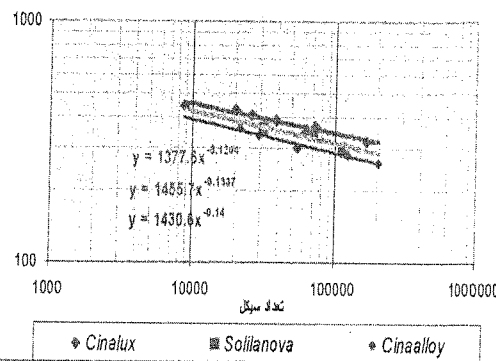
شکل (۳۱): منحنی تغییر مکان - نیرو برای آمالگام Cinalux

جدول (۶): مشخصات لازم برای تحلیل تنش دندان

نام آمالگام	مدول یانگ (Gpa)	ضریب پواسن	استحکام شکست (Mpa)
Solilanova	۱۵/۷۶	۰/۳	۵۲۳
Cinaalloy	۱۵/۶	۰/۳	۵۰۳
Cinalux	۱۵/۹۸	۰/۳	۶۰۰
دندان	۳۴/۵	۰/۳۲	--



شکل (۳۳): منحنی لگاریتم تنش بر حسب تعداد سیکل (در محیط سرم فیزیولوژی)



شکل (۳۲): منحنی لگاریتم تنش بر حسب تعداد سیکل (در محیط هوا)

جدول (۷): ضرایب باسکوئین برای تحلیل عمر خستگی ترمیم

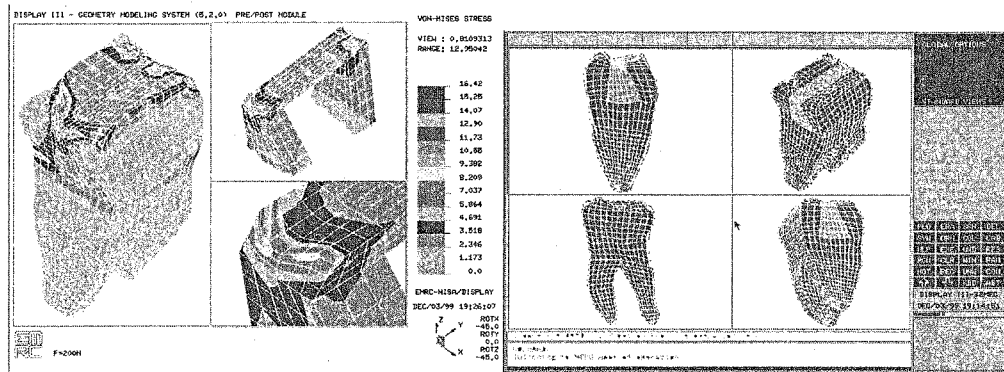
نام آمالگام	نوع محیط و فرکانس (HZ)		
	هوا (f=۲۰)	سرم (f=۱۰)	سرم (f=۲۰)
Solilanova	-۰/۱۳۳۴	-۰/۰۷۹۱	-۰/۱۴۲۸
Cinaalloy	-۰/۱۴	-۰/۱۲۲	-۰/۱۵۹۸
Cinalux	-۰/۱۲۰۴	-۰/۶۹۹	-۰/۱۳۰۲

در این تحقیق فرض شده است که با تقریب خوبی میتوان از رابطه باسکوئین در شرایط بارگذاری فشاری-فشاری استفاده نمود. شکل ۳۴ شبیه سازی ترمیم کلاس II double box را نشان مدهد.

شکل‌های ۳۵ تا ۳۷ تحلیل تنشی استاتیکی ترمیم‌های کلاس I و II double box را تحت دو نیروی ۲۰۰ و ۴۰۰ نیوتن نشان میدهند. چگونگی توزیع تنش در قسمتهای مختلف دندان و ترمیم، نشان میدهد که ترک ابتدا در مارجین آمالگام جوانه زنی میکند. همچنین در گوشه های تیز ترمیم تمرکز تنش بیشتری وجود دارد. و این خود نشان میدهد که در ترمیم بایستی از گوشه های تیز اجتناب نمود. از طرف دیگر با مقایسه توزیع تنشها در نیروهای ۲۰۰ و ۴۰۰ نیوتن، نتیجه میشود که با کاهش نیروی وارده بر سطح دندان [و ترمیم] تمرکز تنش کاهش یافته و احتمال شکست آمالگام نیز کم میشود. همچنین توزیع مولفه تنشها در ترمیمهای فوق نشان میدهد که احتمال شکست در ترمیمهای شامل سطوح اکلوسال دندان [سطح چونده]، نسبت به ترمیمهای دیگر کمتر می باشد. بنابراین حالت ایمن برای استفاده از آمالگام، استفاده از ترمیمهای کلاس I و II می باشد.

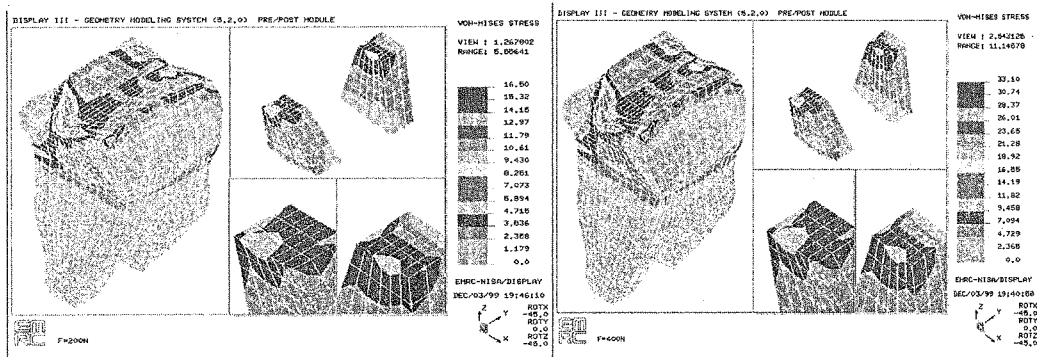
جداول ۸ تا ۱۰ عمر ترمیم به دست آمده به کمک شبیه سازی در شرایط بارگذاری واقعی [۲۰۰ و ۴۰۰ N] با استفاده از نرم افزار NISA را نشان میدهند. با مقایسه این جداول با نمودارهای بدست آمده از شرایط آزمایشگاهی، مشاهده میشود که اعداد

عمر بدست آمده با کمک روش المانهای محدود نتایج قبلی را تأیید میکنند. بطوریکه مقاومت خستگی ترمیمها در سرم نسبت به هوا کاهش یافته و در سرکه افزایش می یابد. همچنین اعداد عمر بدست آمده نشان دهنده این موضوع هستند که عمر ترمیم کلاس I نسبت به ترمیمهای دیگر بیشتر است. از طرف دیگر در مقایسه با شرایط واقعی، بنظر میرسد که سهم خستگی در شکست آمالگام کمتر از عوامل دیگر است. و خستگی آمالگام به تنهایی سبب شکست زودرس آمالگام نمیشود. بطوریکه عواملی نظیر چگونگی کار دندانپزشک در عملیات نهایی ترمیم [پولیش]، خوردگی خود دندان [که سبب نفوذ مواد خورنده از ترکهای حفره دندانی به ترمیم میشود]، نوع آمالگام مصرفی از لحاظ مورفولوژی و ... در شکست آمالگام نقش موثرتری دارند.

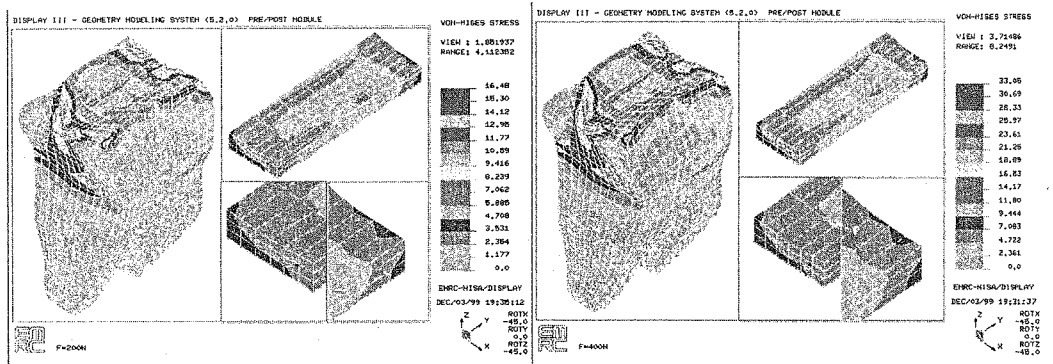


شکل (۳۴): نمای کلی پرکردگیهای کلاس double box II

شکل (۳۵): تحلیل تنش پرکردگی کلاس I



شکل (۳۶): تحلیل تنش پرکردگی کلاس I Single box تحت نیروهای فشاری ۲۰۰ و ۴۰۰ نیوتن



شکل (۳۷): تحلیل تنش پرکردگی کلاس I و مقاطع دندان تحت نیروهای فشاری ۲۰۰ و ۴۰۰ نیوتن

جدول (۸): نتایج محاسبه عمر ترمیم کلاس I در نیروهای ۲۰۰ و ۴۰۰ نیوتن

نوع محیط و فرکانس (HZ) (F=۴۰۰N)				نام آمالگام
سرم (f=۲۰)	سرم (f=۱۰)	سرم (f=۲۰)	هوا (f=۲۰)	
	۰.۵۶۴۷		۰.۷۳۴۸	Solilanova
۰.۶۹۹۷	۰.۱۳۹۲۷	۰.۱۱۶۸	۰.۱۷۳۸	Cinaalloy
۰.۱۸۵۱۸		۰.۳۳۸۹	۰.۲۲۵۱۰	Cinalux
نوع محیط و فرکانس (HZ) (F=۲۰۰N)				نام آمالگام
سرم (f=۲۰)	سرم (f=۱۰)	سرم (f=۲۰)	هوا (f=۲۰)	
	۰.۲۱۳۷		۰.۱۰۹۷۱	Solilanova
۰.۱۶۶۰۷۱۲	۰.۹۰۶۸	۰.۱۲۴۷۱۰	۰.۲۰۳۹۷۱۰	Cinaalloy
۰.۲۶۰۷۲۲		۰.۵۶۹۷۱۱	۰.۵۷۷۷۱۲	Cinalux

جدول (۹): محاسبه عمر ترمیم کلاس II در نیروی ۲۰۰ نیوتن

نوع محیط و فرکانس (HZ)				نام آمالگام
سرم (f=۲۰)	سرم (f=۱۰)	سرم (f=۲۰)	هوا (f=۲۰)	
	۰.۵۸۹۷۵		۰.۶۸۷۷۶	Solilanova
۰.۴۲۲۷۷	۰.۲۸۱۷۵	۰.۱۴۸۷۶	۰.۲۰۲۷۶	Cinaalloy
۰.۲۴۹۷۱۴		۰.۲۸۲۷۷	۰.۱۲۷۷۸	Cinalux

جدول (۱۰): محاسبه عمر ترمیم کلاس II Single box در نیروهای ۲۰۰ و ۴۰۰ نیوتن

نوع محیط و فرکانس (HZ) (F=۴۰۰N)				نام آمالگام
سرم (f=۲۰)	سرم (f=۱۰)	سرم (f=۲۰)	هوا (f=۲۰)	
	۰.۷۶۵۷۷		۰.۴۳۸۷۸	Solilanova
۰.۳۹۷۷۹	۰.۹۰۴۷۶	۰.۷۱۸۷۷	۰.۱۰۶۷۸	Cinaalloy
۰.۶۹۴۷۱۷		۰.۱۹۹۷۹	۰.۱۲۷۷۱۰	Cinalux
نوع محیط و فرکانس (HZ) (F=۲۰۰N)				نام آمالگام
سرم (f=۲۰)	سرم (f=۱۰)	سرم (f=۲۰)	هوا (f=۲۰)	
	۰.۸۹۷۷۹		۰.۶۵۲۷۱۰	Solilanova
۰.۹۴۴۷۱۱	۰.۵۸۹۷۸	۰.۷۶۹۷۹	۰.۱۲۴۷۱۰	Cinaalloy
۰.۹۷۳۷۲۱		۰.۳۳۵۷۱۱	۰.۳۲۵۷۱۲	Cinalux

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند بدینوسیله مراتب سپاس و تشکر خود را از معاونت محترم دانشگاه صنعتی امیرکبیر به خاطر حمایت مالی از این طرح اعلام دارد.

مراجع

- [1] Santos, A.C. and Meiers, J.C. Operative Dentistry 19:2-6, 1994
- [2] Craig, Robert G., et al. The C.V. Mosby Company, 1983.
- [3] Philips, Rolph W... W.B. Saunders Company, 1973.
- [4] Townsend, R.B... Dent. Mag Foral Topics, 58:249, 1941.
- [5] Gray, A.W. Trans. Amer. Inst. Min. Engs, 60:657; 1919.

- [6] Gray ,A.W. Phys.Res;19:405;1922.
- [7] Gray ,A.W. J.Amer.Dent.Ass;9:324;1922.
- [8] Gray ,A.W. J.Inst.Met;29:139;1923.
- [9] Gray ,A.W. J.Am.dent.Ass;8:196;1921.
- [10] Ryge ,and Moffett,J.G. J.Dent .Res;152-167;April1953..
- [11] Ryge ,Gunnar.et.al., J.D.R.36(6):986-991,1959.
- [12]Innes ,D.B.K.and Youdlies,W.V., J.Can.Dent .Ass.29,587,1963.
- [13]Greener E.H.et.al., The Williams and Wilkiny Co.1972.
- [14] Mahler,David B.and Adey ,Jerome., J.Dent.Res ;921-925;1984.
- [15]Okabe,T.and Mitchell,et.al.,Part I;J.D.R.,57(7-8):759-767;1978.
- [16]Wirjosumarto,Harsono and Mateer , Richard S., ;J.Dent.Res.;13-18;Feb1973.
- [17]Demaree,Neilc. And Taylor,DuaneF., J.D.R.;41:890-906;1960.
- [18]Koran,Andrew.andAsger ,Kamal., J.A.D.A.75:912;1967.
- [19]Johnson,Lonard.N., J.D.R.;51(3):789-794;1972.
- [20]Wilkinson,E. G.and Haack,D.c.;J.Dent.Res;37:136-143;1958.
- [21]Williams,P.T.and Cahoon,J.R; J.Dent.Res;68(7);1188-1193;july1989.
- [22]Bonill-E,S.Nwhite, Oper-Dent;21(3);122-126;May1996.
- [23]Fissore,Bruno.et.al, J Prosthes Dent;65:80-85;1991.
- [24]Hugaman,M.C.D.N.J.M.et.al, J.Dent.Res.71(5):1145-1149;May1994.
- [25]Xiulin et.al. Engineering Fracture Mechanics,V57n6;P:617-624;Aug1997.
- [26]Eliezer ,A. Corrosion Reviews V16n1-2 P:1-26;1998.
- [27]Delafosse,D.Magnin ,T.I , Solid State Phenomena V59-60;P:221-25;1998.
- [28]Zheng , Xiulinwang ,Rong Minerals Materials Soc(TMS);Warrendale,Pa,USA;P:247- 259;1997.
- [29]Eddie ,Johnw .and Boyer , DaneilB. J.D.R.;57(2) :277-282;1978.
- [30]Crowell,Walter S.and Philips, Ralph W. J.Dent Res;845-853;1951.
- [31]Crowell ,Walter .S.. J.Dent .Res;592-596;October 1954.
- [32]Smith ,DentonI.,et.al.. J.A.D.a.47:304-311,1953.
- [33]Jarabak ,Joeeph R.and Harbor ; Indiana , Part I ;J.A.D.A.;22:563-605;1942.
- [34]Fusayama , Takao.and Hayashi Kent .. J.D.R.;49(4):733-741;1970.
- [35]Boyer , Daiel B.et.al. Jornal of Oral Rehabilitation , 5:223-228;1978.
- [36]Sutfin ,L.V.and Ogilvie ,R.E.. J.Dent.Res:1159-1165;September -October 1970.
- [37]Sutow , E.G.et.al. J.Dent .Res;64(1) :62-66;January 1985.
- [38]Williams,P.T.and Hedge G.L.;J. Dent Res .64(3) :470-475;March 1985.
- [39]Philips , Ralph W.. J.Dent .Res .28(4) :348-354;August 1949.

[۴۰] دکتر حسین زادمرد ، شیمی آنالیتیکی ، ۱۳۵۲

- [41]Schoonver,Irl.et.al.. J.A.D.A;28:1278-1291;
- [42]Reese ,S.B., Warfield,D.and Marek , M.. ADR Abst 62:No.180;1983.
- [43]Takatsu , Toshio . et . al .. J. Dent . Research .56(6):1077-1083;1977.
- [44]Guthrow , G. Earl , et .al.;Corrosion of Dental Amalgam and its Component Phases
- [45]Ravnholt. Scandinavian - Journal- of Dental - Research- DenmarkV94;370-376;1986.
- [46] Brune ,D, Scandinavian- Journal - of Dental - Research - Denmark;V89;506-514;1981.
- [47]Jensen ,S.J. Scandinavian - Journal - of Dental- Research - Denmark , V90;239-242;1982.
- [48] Malhotra , Manoharl . and Asgar Kamal.. J.D.R;56(12) 1481 -;1977.
- [49] Rodriguez , Mario S. and Dickson , George.. . Dent . Res41(4) :840-852 ;July -Agust 1962.
- [50]Mateer, Richard S. and Reitz, Clair D. J. Dent . Res.: 399-407, March- April 1970
- [51] Wie , Landes\ Mat.Res . Stand .ASTM,9,25;1962.
- [52] Klensil , Mirko, Fattigue Of Metallic Materials; 1992.
- [53]Asgar , Kamal and Sutfin, Lloyd.. J.Dent . Res.44(5):977-988;September- October1965.

- [54] Hertzberg, ASTM STP , 415,P.205;1967.
[55]Forsyth , Ryder, Metallurgia 63,117:1961.
[56] Jacoby .G. EXP. Mech.5(3).65;1965.
[57] Laird, In ASTM Spec. pub,415,131;1967.
[58]Pelloux .R.W. Trans . Quart. ASM;62(1),281;1969
[59] El- Soudani , Pelloux, Met Trans,4,519;1973.
[60] Suresh,Fatigue of matherials Cambridge Solid State Science ,Cambridge University Press,Cambridge ,U.K. (1980)