

اثر دوره عملیات حرارتی آستمپر کردن روی خواص مکانیکی و ساختار میکروسکوپی چدنهای نشکنی با درصد های مختلفی از مس

عباس نجفی زاده* - محمدعلی گلعاذر*

خلاصه

در این تحقیق به بررسی اثر دوره عملیات حرارتی آستمپر کردن بر خواص مکانیکی و ساختار میکروسکوپی چدنهای نشکنی با درصد های مختلفی از مس (بین ۰/۵ تا ۲ درصد) پرداخته شده ، جهت انجام این پژوهش ابتدا ۴ - بلوک هایی از جنس چدنهای نشکنی با درصد های مختلفی از مس از طریق ریخته گری تهیه گردید و سپس با استفاده از آنها نمونه های متالوگرافی ، کشش و ضربه ساخته شدند . نمونه های ساخته شده در دمای ۸۹۰ درجه سانتیگراد بمدت یک ساعت آستینیته و سپس در دما های ۲۸۵ ، ۳۳۵ و ۳۷۵ درجه سانتیگراد بمدت زمان های مختلف ۱۵ ، ۳۰ ، ۷۵ و ۱۵۰ دقیقه آستمپر گردیدند . نتایج حاصله نشان داد که چدن نشکنی با یک درصد مس که در دما های ۲۸۵ و ۳۳۵ درجه سانتیگراد بمدت ۷۵ دقیقه آستمپر شده مناسب ترین ترکیب خواص مکانیکی را ، نسبت به سایر آلیاژ هایی که در همان شرایط آستمپر گردیده اند ، داراست و این درحالی است که در دمای آستمپر کردن ۳۷۵ درجه سانتیگراد ، آلیاژی با دو درصد مس که بمدت ۳۰ دقیقه آستمپر شده از خود مناسب ترین خواص مکانیکی را نشان می دهد .

مقدمه

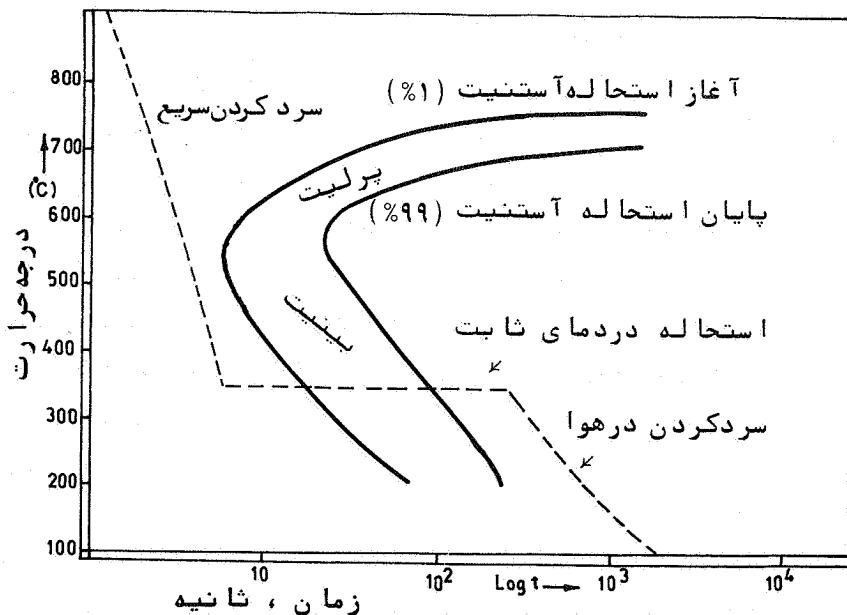
چدنهای نشکن آستمپر شده بخاطر خواص مکانیکی عالی خود در دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته اند . این نوع چدنها با

* استادیاران دانشکده مواد - دانشگاه صنعتی اصفهان

استقلال

داشتن استحکام کششی زیاد، مقاومت در برابر خستگی تماشی و خمشی خوب و قابلیت ماشین کاری مناسب خواصی معادل و در موادی بالاتر از برخی از فولادها آهنگری شده از خود نشان می‌دهند. چنین خواصی همراه با هزینه‌های تولید کمتر، نسبت به قطعات مشابه در روش آهنگری (حدود ۳۵ درصد کاهش قیمت تمام شده) موجب گردیده که جاذبه زیادی در صنعت برای استفاده از این دسته چدنها بوجود آید [۱ تا ۳]. از جمله این قطعات می‌توان به انواع چرخ دنده‌ها با اندازه‌های مختلف، انواع میل لنگها و میل با دامک‌ها اشاره نمود [۴ تا ۶].

این نوع چدن از انجام فرآیند عملیات حرارتی خاصی موسوم به آستمپر کردن روی چدنها نشکن بdst می‌آید (شکل ۱).



شکل ۱ - نمایش فرآیند عملیات آستمپر کردن (خط چین)
روی نمودار ایزوترم یک چدن نشکن غیر آلیاژی

اشر دوره عملیات حرارتی ...

۴۳

بطور کلی فرآیند آستمپر کردن شامل چهار مرحله زیر است:
مرحله ۱ - قرار دان قطعه ریختگی در دمای آستانیت بمدت زمانی
معین (در پایان این مرحله لازم است زمینه ساختار
میکروسکپی قطعه کاملاً آستانیه شده باشد).

مرحله ۲ - سرد کردن سریع قطعه بکمک یک محیط خنک کننده نظیر
حمام نمک، تا درجه حرارت معینی موسوم به دمای آستمپر
کردن.

مرحله ۳ - نگهداری قطعه بمدت زمانی معین دراین دما.

مرحله ۴ - خروج و سرد کردن قطعه تا درجه حرارت محیط.

با انجام این فرآیند ساختار میکروسکپی چدن نشکن از پرلیتی-
فریتی به بینیتی تبدیل خواهد شد. تحقیقات انجام گرفته نشان داده
که خواص نهائی چدن نشکن آستمپر شده عمدتاً "متاثر ازعوالی"
نظیر شرائط ریخته‌گری، ترکیب شیمیائی و دوره عملیات حرارتی
آستمپر کردن می‌باشد [۷ و ۸]. تغییر این عوامل می‌تواند خواص مکانیکی
قطعه را در یک محدوده نسبتاً "گسترده قرار دهد (استحکام کششی از
۱۶۰۰-۸۰۰ مگاپاسکال و کرنش شکست از ۱-۱۶ درصد).

از دیدگاه کاربردی چدنها نشکن آستمپر شده را به دو دسته
 تقسیم می‌کنند:

دسته‌اول: چدنها نشکنی که در دمای پائین آستمپر شده‌اند
(۲۵۰-۳۳۰ درجه سانتیگراد) اینگونه چدنها دارای
استحکام، سختی و مقاومت به سایش بالائی می‌باشند.
این ساختار میکروسکپی به بینیت پائینی موسوم است.

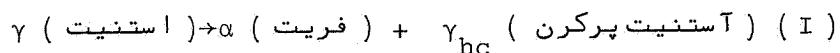
دسته‌دوم: چدنها نشکنی که در دمای بالا آستمپر شده‌اند (۳۳۰-۴۵۰ درجه سانتیگراد). گرچه استحکام و سختی این دسته
پائین‌تر از اولی است، لیکن این چدنها می‌توانند دارای
ترکیب مناسبی از استحکام بالا و قابلیت انعطاف پذیری
زیاد باشند. این ساختار میکروسکپی بینیت بالائی

نامیده می‌شود.

استحاله بینیتی در چدنها نشکن آستمپر شده

استحاله بینیتی در چدنها نشکن آستمپر شده در دو مرحله انجام می‌پذیرد:

مرحله اول: هنگامیکه قطعه در دمای آستمپر قرار گرفت، جوانه‌ها فاز فریت در روی مرزهای فازی و یا مرزدانه‌ها تشکیل می‌شود و سپس این جوانه‌ها در درون فاز آستنیت شروع به رشد می‌کنند. بدلیل بالابودن درصد سیلیسیم در ترکیب شیمیائی چدن، تشکیل سماتیت - که ععمولاً همراه با فریت است با مانع مواد خواهد شد. لذا رشد سوزنهای فریتی با پس زدن کربن‌های اضافی به درون آستنیت‌های مجاور توازن خواهد گردید. در این شرایط درصد کربن در آستنیت‌های هم‌جوار فریت مرتباً "افزايش می‌يابد و حتى تا نزديک به ۲ درصد نيز می‌رسد [۹ و ۱۵]. با این ترتیب دراین مرحله، استحاله بینیتی را می‌توان بصورت واکنش زیر نوشت:



افزايش درصد کرن در آستنیت، دمای تبدیل آن را به مارتنتیت کاهش می‌دهد و حتی به زیر ۱۲۰ درجه سانتیگراد نیز می‌رساند [۹] در این موقع اگر قطعه از حمام نمک خارج و سرد شود ساختار میکروسکوپی آن حاوی صفحات فریتی با ضایه آستنیت پرکربن خواهد بود. چنین ساختاری از لحاظ داشتن ترکیب مناسبی از استحکام و انعطاف‌پذیری بسیار مطلوب است.

مرحله دوم: اگر قطعه همچنان در دمای آستمپر کردن نگهداشته شود،

اشر دوره عملیات حرا رتی ...

۳۵

بتدريج آستنيت پرکربن طی واکنش زير به فريت و
كاربيد تجزيه خواهد شد.

(II) (کاربيد) Carbide + (فريت) $\alpha \rightarrow$ (آستنيت پرکربن)

انجام چنین واکنشي موجب کاهش اعطاف پذيری
قطعه بدون تغيير عده در استحکام کششی خواهد گردید.
بنابر اين واکنشي است نا مطلوب

اشر عنصر آلياً زى

يکی از دلائل اضافه نمودن عنصر آلياً زى به چدنهاي نشك/لن
آستمپر شده افزايش سختی پذيری در آنهاست. البته انتخاب اينگونه
عنصر با دقت انجام میگيرد. زира لازم است عنصر آلياً زى اثرات
مخربی روی کيفيت قطعات ريختگی و همچنین مشخصات مکانيکی حالت
آستمپر شده آنها نداشته باشد. تحقیقات انجام شده نشان ميدهد
كه عنصری نظير Mn و Mo و Ni به تنهايی یا مشترکاً برای
تا مين اين اهداف میتوانند مفيid واقع شوند [11 و 12].

از بين عنصر فوق لازم است درصد منگنز و موليبدن را، بخاطر
ايجاد پديده جدايش در هنگام انجام داد، در چدن محدود نمود. نشان
داده شده که حداکثر مقدار مفيid اين عنصر در تركيب شيميايی چدن
به ترتيب عبارتند از ۳٪ و ۲۵٪ [13].

عنصر دیگر نظير Ni و Cu را میتوان تا حدود ۲٪ در اين
چدنها مورد استفاده قرار داد. تحقیقات انجام گرفته در اين زمينه
نشان داده که اثرات Ni و Cu در اين محدوده تسايهاتی با يكديگر
دارند [11]. با توجه به اين نتایج و همچنین با عنایت به قيمت
با لاي نيكيل نسبت به مس، توجه اين پژوهش صرفاً "معطوف به بررسی
اثرات عنصر مس روی خواص مکانيکی اين نوع چدنها گردیده .

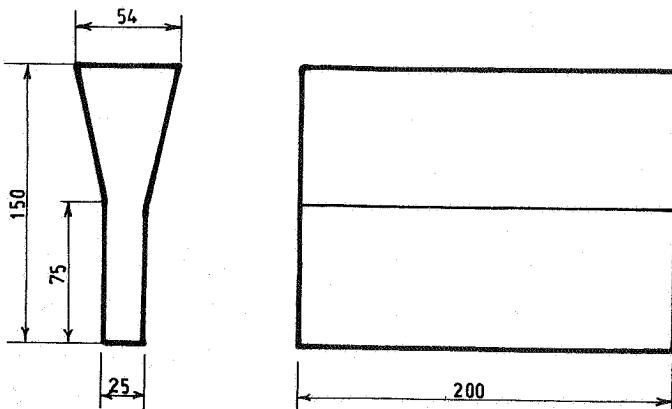
۳ - روش آزمایش
روش قالب‌گیری

دونوع قالب در هر ذوب مورد استفاده قرار گرفت.

یکی : قالب‌های ماسه‌ای برای تهیه تعداد کافی یک بلوك با اندازه استاندارد (شکل ۲) .

دیگری: قالب فلزی ، بمنظور تهیه نمونه کوانتومتری از هر ذوب .

قالب‌های موقت بكمک دست و با استفاده از ماسه سیلیسی و چسب سیلیکات سدیم بروش CO_2 ، تهیه شدند و سطح آنها بتوسط رنگ گرافیت پوشش داده شدند .



شکل ۲ - ابعاد یک بلوك مورد استفاده مطابق با استاندارد

ASTM A536 - 80

آماده سازی مذاب

کلیه ذوب‌ها در یک کوره زمینی و با استفاده از مواد زیر تهیه شده‌اند .

- شمش سورل مثال با ترکیب شیمیائی صفحه بعد :

اشر دوره عملیات حرارتی ...

۳۷

کربن (C)

سیلیسیم (Si)

منگنز (Mn)

گوگرد (S)

فسفر (P)

— فرو سیلیس ۷۵ درصد

— فرو سیلیکومنیزیم با حدود ۵/۵ درصد منیزیم

— مس خالص

مراحل آماده سازی هر ذوب به ترتیب زیر بود :

۱ - ۴۰ کیلوگرم شمش سورل بداخل بوته ریخته و ذوب گردید.

۲ - حدود بیست دقیقه قبل از پایان ذوب ، ۱۸۰ گرم فروسیلیس ۷۵ درصد بهمراه مقدار مس لازم (با احتساب اتلافات مس) بداخل بوته اضافه شد .

۳ - پس از اتمام ذوب ، عمل سرباره‌گیری و کنترل دما انجام گرفت.

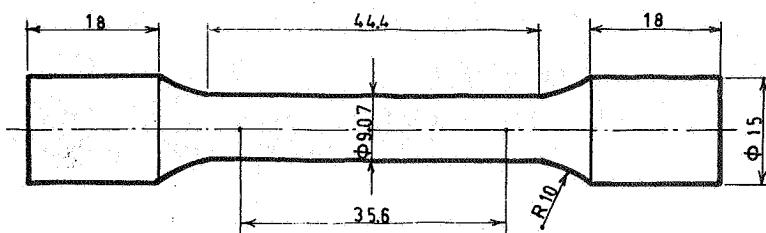
۴ - عمل کروی کردن بكمک روش غوطه‌وری (Plunging) انجام گرفت.

۵ - درست قبل از ریختن مذاب بداخل قالبها مقدار ۱۸۰ گرم فروسیلیس ۷۵ درصد بعنوان جوانه‌زا به آن اضافه شد.

۶ - پس از گذشت سه الی چهار ساعت ۷- بلوک‌ها ، از قالب خارج گردیدند.

نمونه‌های تهیه شده از ۷- بلوک‌های هر ذوب

در هر ذوب یکی از ۷- بلوک‌ها جهت بررسی خواص مکانیکی در حالت ریختگی نگهداشته شد و بقیه در دمای ۸۹۰ درجه سانتیگراد بمدت یک ساعت آنیل گردیدند. سپس با استفاده از قسمت پائین ۷- بلوک‌ها نمونه‌های کشش به ابعاد استاندارد (شکل ۳) و نمونه‌های ضربه شیاردار جهت انجام آزمایش چارپی - تهیه شدند.



شکل ۳ - ابعاد نمونه آزمایش کشش بر اساس استاندارد ASTM A536-80

عملیات حرارتی آستمپر کردن

نمونه‌های ضربه و کشش تهیه شده از Y-بلوک‌های آنیل شده را در دوازده جعبه سماتاسیون، حاوی براوه چدن، بقرار هر جعبه شامل مجموعه‌ای از ۳-۲ نمونه کشش و ۲-۲ نمونه ضربه قرار داده شدند و عملیات حرارتی آستمپر کردن روی آنها به ترتیب زیر انجام گرفت.

۱ - جعبه‌های سماتاسیون در داخل کوره عملیات حرارتی قرارداده شدند و کوره روشن گردید تا دمای آن به ۸۹۵ درجه سانتیگراد رسید، آنگاه بمدت یک ساعت جعبه‌ها در این دما نگهداشته شدند.

۲ - جعبه‌ها به سه دسته چهارتائی تقسیم شدند. آنگاه نمونه‌های هر دسته از جعبه خارج و در حمام نمکی با درجه حرارت مورد نظر قرار گرفتند. دمای‌های آستمپر کردن مورد استفاده عبارت بودند از ۲۸۵، ۳۳۵ و ۳۷۵ درجه سانتیگراد.

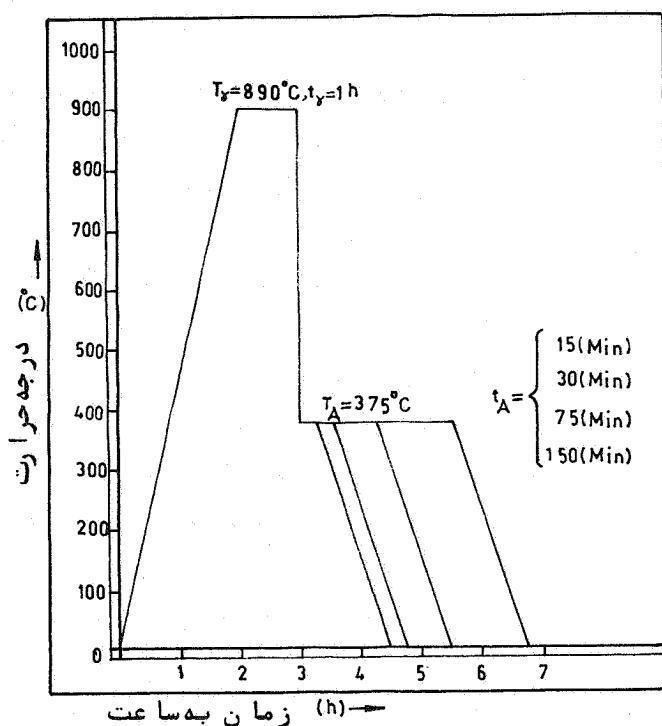
۳ - در هر دمای آستمپر کردن پس از گذشت زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۷۵ و ۱۵۰ دقیقه یک مجموعه (شامل ۳-۲ نمونه کشش و ۳-۲ نمونه ضربه) از حمام نمک خارج و در هوای سرد شد.

نمونه‌ای از دوره‌های عملیات حرارتی آستمپر کردن در دمای

اثر دوره عملیات حرارتی ...

۳۹

۳۷۵ درجه سانتیگراد را میتوان در شکل ۴ مشاهده نمود.



شکل ۴ - نمونه از دوره های عملیات حرارتی

آستمپر کردن در دمای ۳۷۵ درجه

سانتیگراد

آزمایشات انجم گرفته

آزمایشاتی که روی نمونه‌های هر ذوب‌انجم گرفت، عبارت بودند از: آزمایش‌کشش، ضربه، تعیین سختی بروش برینل (بای نیروی ۱۸۷/۵ کیلوگرم و ساچمه ۲/۵ میلی‌متر)، بررسی ساختار میکروسکوپی بکمک میکروسکوب نوری و آنالیز هر ذوب بروش کواتومتری.

۴- نتایج حاصله از آزمایشات و بررسی آنها

۱- ترکیب شیمیائی نمونه‌ها

۴ ذوب با ترکیب‌های شیمیائی مندرج در جدول ۱ ریخته شد.

۲- خواص مکانیکی نمونه‌های آستمپر شده

بمنظور ارزیابی خواص مکانیکی نمونه‌ها، آزمایشات کشش سختی و ضربه روی آنها انجم گرفت. در این رابطه جهت حصول نتیجه میانگین در هر حالت بین ۲ تا ۳ آزمایش‌کشش و ضربه و ۵ اندازه‌گیری سختی انجم گرفت و سپس میانگین آنان محاسبه گردید. نتایج بدست آمده در جداول ۲ الی ۵ و نمودارهای ۵ الی ۷ ارائه گردیده.

بررسی خواص مکانیکی در دمای آستمپر کردن ۲۸۵ درجه سانتیگراد

میانگین نتایج آزمایشات مکانیکی انجم گرفته در این درجه حرارت در نمودار شماره ۵ و قسمتی از جداول ۲ الی ۵ ارائه شده است. با توجه به این اطلاعات نتایج زیر را میتوان استخراج نمود.
۱ - بطورکلی تا زمان آستمپر کردن ۷۵ دقیقه استحکام کششی هر آلیاز افزایش یافته و سپس تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

۲ - با استثناء آلیاز ۵/۰ درصد مس، کرنش شکست تا زمان آستمپر کردن ۷۵ دقیقه زیاد شده و آنگاه تقریباً ثابت باقی می‌ماند. چنین رفتاری حاکی از آن است که در این دما مس بعنوان یک عامل کند کننده سرعت واکنش (II) عمل ننماید، در آلیاز ۵/۰

جدول ۱ - ترتیب شیعیانشی آلبوم‌های ریخته شده

%Cu	%Ni	%Mg	%P	%S	%Mn	%Si	%C	Drift Cu	Shallow Depth
٠/٤٣	٠/١٢٦	٠/٥٢	٠/٥٦٣	٠/٥٠٩	٠/٥١٩	٠/٥١٥	٣/٤٧	٠/٥	٢
٠/٩٦	٠/١١٣	٠/٥٥٤	٠/٥١٩	٠/٥١٨	٠/٥١٤	٢/٥٦٣	٣/٥٤	١	٢
١/٤١	٠/١١٧	٠/٥٧	٠/٥١٧	٠/٥١٧	٠/٥١٥	٢/٥٨	٣/٥٥	١/٥	٢
١/٨٩	٠/١٢٣	٠/٥٢	٠/٥٦٢	٠/٥١٣	٠/٥١٣	٢/٤٩	٣/٤٩	٢	٤

استقلال

جدول شماره ۲ - نتایج حاصله از آزمایشات کششی، سختی و ضربه روی نمونه های آلیاژی با ۰/۵ درصد مس

انرژی ضربه ای (J)	سختی برینل	درصد کرنش شکست	استحکام کششی (Mpa)	زمان آستمپر (°C)	دماي آستمپر كردن (°C)	درصد اسمی در آلیاژ
۰/۵	۲۴۶	۶	۶۷۰	بيانات ریختگی		
۶/۵	۲۹۵	۲/۴	۱۰۷۷	۱۵		
۷	۲۵۵	۲/۴	۱۱۴۱	۳۰		
۵/۵	۲۸۵	۲/۹	۱۲۴۶	۷۵	۲۸۵	
۶	۲۸۵	۲/۸	۱۳۰۲	۱۵۰		۰/۵
۶/۸	۳۴۳	۲/۴	۱۱۱۲	۱۵		
۸	۳۵۲	۲/۶	۱۱۲۶	۳۰		
۵	۳۲۱	۲/۹	۱۱۳۰	۷۵	۳۳۵	
۸	۳۲۴	۲/۱	۱۱۱۰	۱۵۰		
۱۰	۲۸۲	۴/۵	۷۹۷	۱۵		
۷	۲۹۹	۵	۹۶۰	۳۰	۳۷۵	
۴	۲۹۵	۲/۲	۹۵۰	۷۵		
۳/۸	۳۰۸	۲/۴	۸۹۱	۱۵۰		

اشر دوره عملیات حرارتی ...

۴۴

جدول شماره ۳- نتایج حاصله از آزمایشات سختی و ضربه روی نمونه های آلیاژی با ۱ درصد مس

انرژی ضربه ای (J)	سختی برینل	درصد کرنش شکست	استحکام کشی (Mpa)	زمان آستمپر کردن (°C)	دماهی آستمپر کردن (°C)	درصد اسمی Cu در آلیاژ
۵/۳	۲۵۵	۱۰/۳	۶۲۷	حالات ریختگی	۱۵	۱
۷	۳۸۸	۲/۲	۱۱۰۰			
۸	۳۷۸	۳/۱	۱۲۲۹			
۷	۳۹۳	۳/۷	۱۲۴۳		۷۵	
۶	۳۹۳	۳/۷	۱۲۶۰		۱۵۰	
۷/۵	۳۳۵	۴/۷	۱۱۴۰	۱۵	۳۳۵	۱
۶	۳۷۸	۳/۵	۱۱۱۰	۳۰		
۱۰	۳۶۷	۶/۵	۱۱۴۰	۷۵		
۹/۵	۳۱۰	۴/۶	۱۰۳۹	۱۵۰		
۹	۲۸۹	۲	۹۰۷	۱۵	۳۷۵	۱
۹/۸	۳۱۳	۵/۱	۱۰۵۲	۳۰		
۸/۳	۳۲۵	۲/۴	۹۸۶	۷۵		
۸	۲۲۱	۱/۶	۱۰۱۱	۱۵۰		

جدول شماره ۶ - نتایج حاصله از آزمایشات کشش ، سختی و ضربه روی نمونه های آلیاژی با ۱/۵ درصد میں

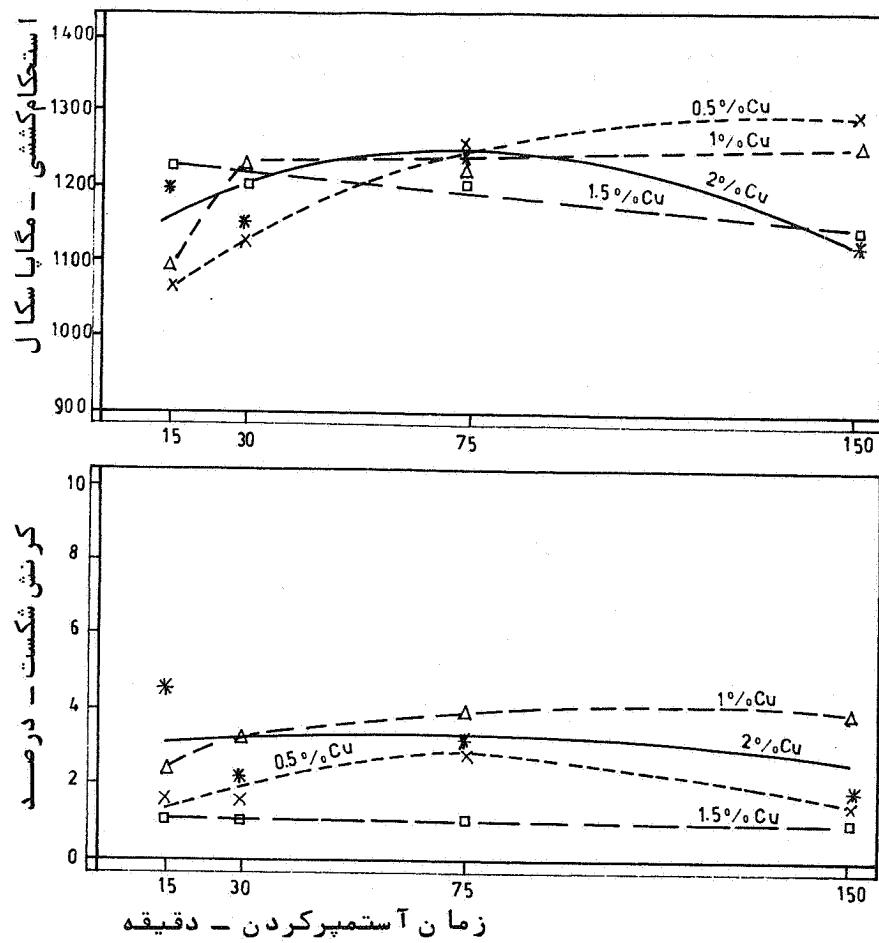
انرژی ضربه ای (J)	سختی برینل	درصد کرنیش شکست	استحکام کششی (Mpa)	زمان آستمپر کردن (°C)	دهمای آستمپر کردن (°C)	درصد اسمی از در Cu آلیاژ
بحالت ریختگی						۱/۵
۷/۵	۲۲۰	۱/۲	۱۲۳۷	۱۵		
۶/۹	۲۹۸	۱/۲	۱۲۱۵	۳۰		
۶/۸	۳۰۶	۱/۱	۱۲۱۲	۷۵	۲۸۵	
۶/۸	۲۹۷	۱	۱۱۵۳	۱۵۰		
۱۲	۲۸۵	۲	۱۰۸۱	۱۵		۱/۵
۱۲/۶	۲۶۰	۲/۷	۱۰۰۹	۳۰		
۱۱/۲	۲۷۲	۲/۸	۱۱۲۹	۷۵	۳۳۵	
۸/۵	۲۵۵	۲/۴	۹۲۴	۱۵۰		
۱۲/۲	۲۵۵	۴/۲	۹۷۵	۱۵		۱/۵
۱۳/۸	۲۴۴	۴/۰	۹۹۹	۳۰	۳۷۵	
۱۲/۸	۲۶۰	۲/۶	۹۶۲	۷۵		
۱۰/۲	۲۶۶	۳/۴	۹۳۶	۱۵۰		

ا شر دورة عملیات حرارتی ...

۴۵

جدول شماره ۵ - نتایج حاصله از آزمایشات کشش ، سختی و ضربه روی نمونه های آلیاژی با ۲ درصد مس

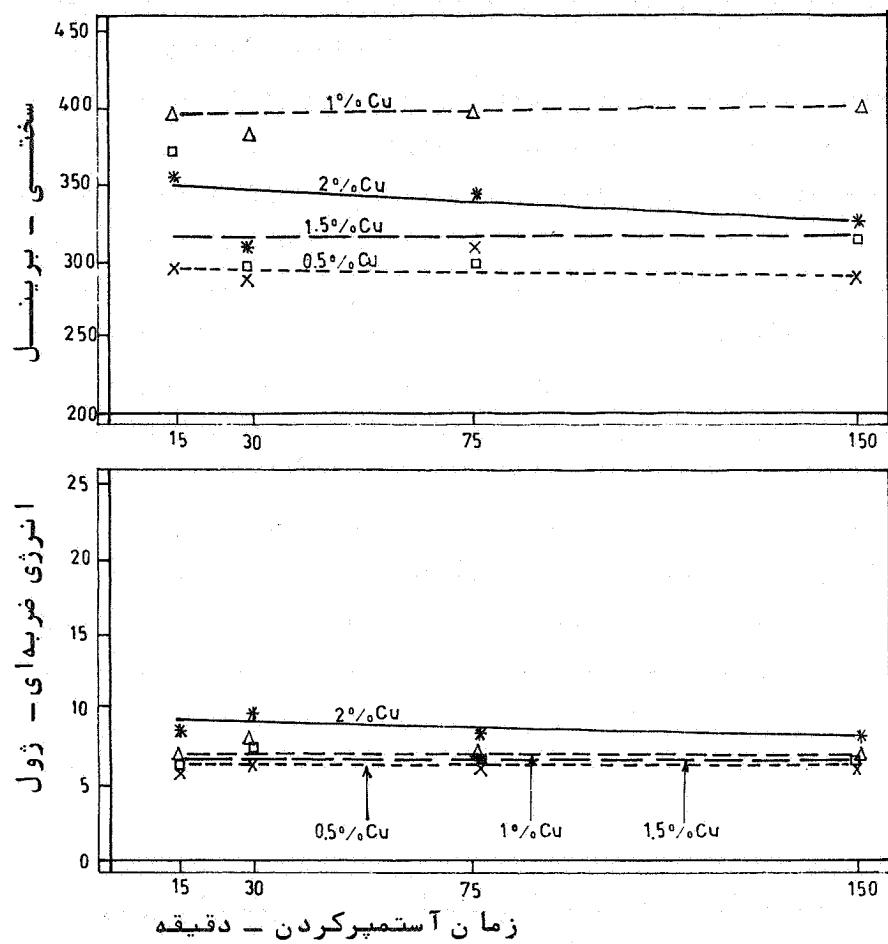
ا نرژی ضربه ای (J)	سختی برینل	درصد کرنش شکست	استحکام کششی (Mpa)	زمان آستمپر کردن (s)	دمای آستمپر کردن (°C)	درصد اسیدی آلیاژ در Cu
—	—	—	—	بحالت ریختگی		
۸/۴	۳۵۹	۴/۳	۱۲۰۲	۱۵		
۹/۲	۳۱۴	۲/۴	۱۱۶۰	۳۰		
۷/۵	۳۲۹	۳/۱	۱۲۵۶	۷۵	۲۸۵	
۸/۶	۳۲۱	۱/۴	۱۱۴۰	۱۵۰		
۷/۲	۳۸۲	۳/۶	۱۲۵۰	۱۵		۲
۷/۲	۳۸۳	۳/۱	۱۲۹۰	۳۰		
۸/۳	۳۶۲	۲/۸	۱۲۰۲	۷۵	۲۳۵	
۶/۲	۳۷۳	۳/۳	۱۲۰۸	۱۵۰		
۹/۳	۳۴۲	۴/۲	۱۱۰۱	۱۵		
۹/۸	۳۲۹	۵/۴	۱۰۸۲	۳۰	۳۷۵	
۸/۸	۳۵۴	۵/۵	۱۰۸۲	۷۵		
۹/۶	۳۲۳	۴/۸	۱۰۱۷	۱۵۰		



شکل ۵ - نمودار تغییرات استحکام کششی و کرنش
شکست نمونه‌هایی که در دمای ۲۸۵ درجه
سانتیگراد بمدت زمانهای مختلف آستمپر
شده‌اند.

اشر دوره عملیات حرارتی ...

۴۷



ادامه شکل ۵ - نمودار تغییرات سختی و انرژی ضربه‌ای نمونه‌هایی که در دمای ۲۸۵ درجه سانتیگراد بمدت زمانهای مختلف آستمپر شده‌اند.

درصد مس، مقدار این عنصر به اندازه‌ای نیست که بتواند اثر عمده‌ای در این رابطه از خودنشان دهد. لیکن از ۱٪ به بالا اثرات آن کاملاً "محسوس است".

۳ - بطورکلی مشاهده می‌شود که افزایش درصد مس، در زمانهای آستمپر شدن بیش از ۷۵ دقیقه موجب کاهش استحکام کشش می‌گردد.

۴ - زمان آستمپر کردن از ۱۵ تا ۱۵۰ دقیقه اثر چندانی روی تغییر میزان سختی هیچیک از آلیاژها ندارد.

۵ - مقادیر استحکام ضربه‌ای کلیه آلیاژها نسبتاً "پائین است" (بین ۵ تا ۹ ژول) و این مقدار برای هر یک از آنها با تغییر زمان آستمپر کردن تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

مقایسه نتایج فوق با تحقیقات سایرین [۱۱ و ۱۲ و ۱۳] همواره آنها را تأیید می‌نماید.

بررسی کلیه نتایج فوق مشخص می‌نماید که آلیاژی با ترکیب یک درصد مس که بمدت ۷۵ دقیقه در این دما آستمپر شده می‌تواند مناسب‌ترین ترکیب خواص مکانیکی را نسبت به سایرین دارد. در این شرایط مشخصات مکانیکی این آلیاژ عبارت است از:

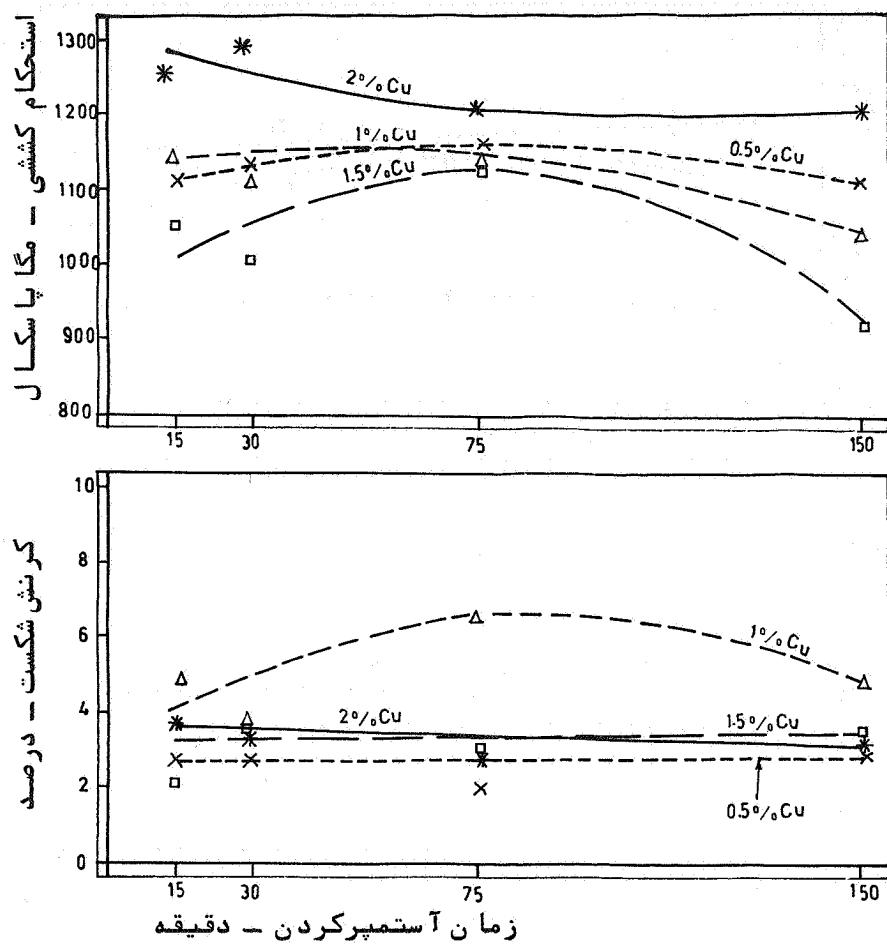
- استحکام کششی (Mpa) ۱۲۵۰

- درصدکرنش شکست ۴

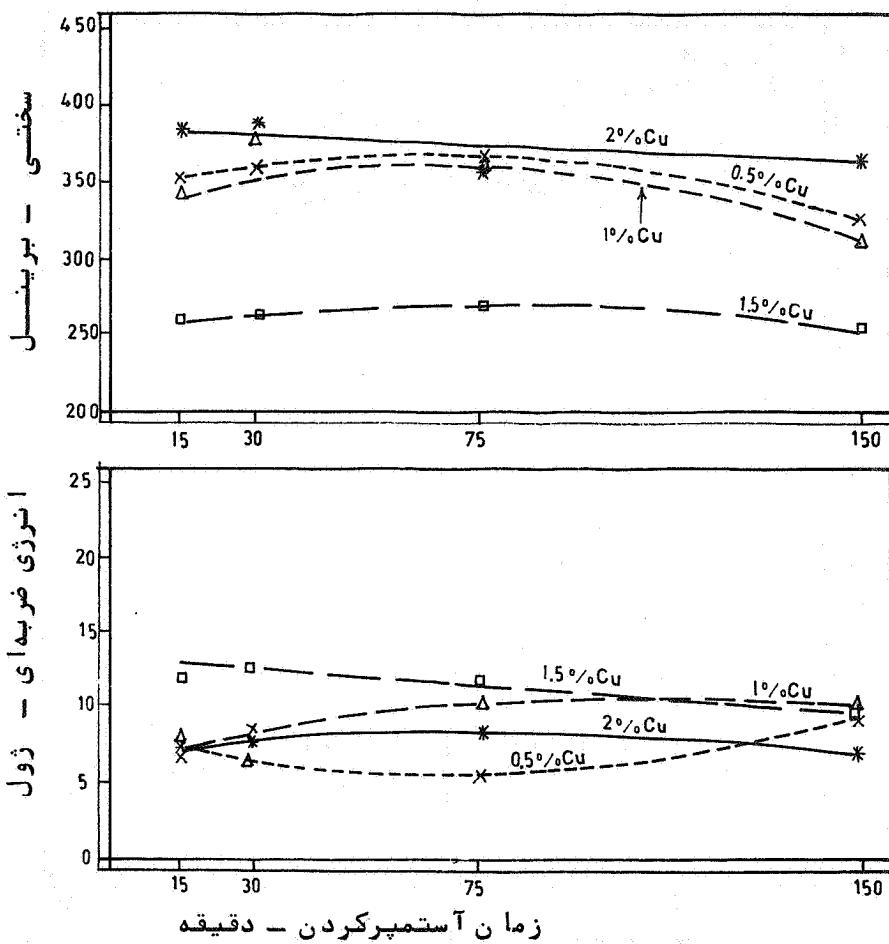
- سختی ۳۹۰ HB

بررسی خواص مکانیکی در دمای آستمپر کردن ۳۳۵ درجه سانتیگراد نمودار شماره ۶ و قسمتی از جداول ۲ الی ۵ بیانگر میانگین نتایج حاصله از آزمایشات مکانیکی روی آلیاژهای مورد مطالعه می‌باشد. بررسی این اطلاعات نیز مراتب کلی زیر را آشکار می‌سازد.

- ۱ - استحکام کششی آلیاژها در زمان ۷۵ دقیقه به مقدار ماکزیمم خود میرسد.
- ۲ - کرنش شکست آلیاژی با ۱٪ مس نیز آهنگ مشابهی با تغییرات



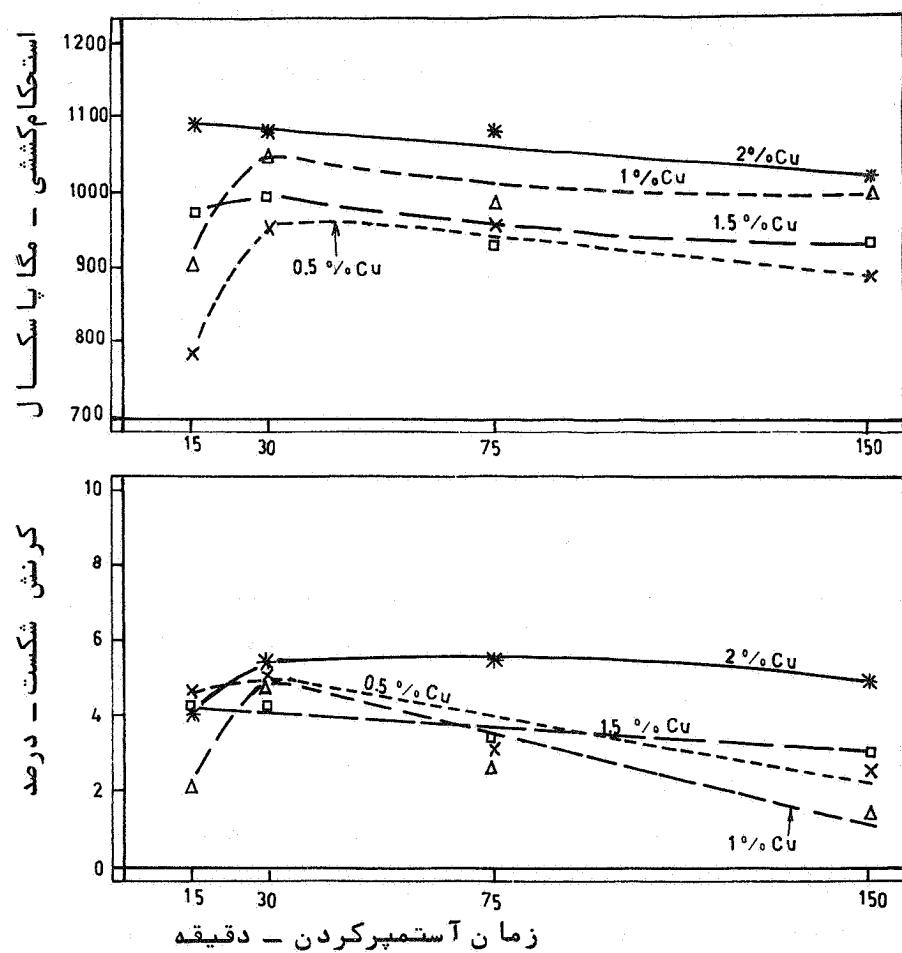
شکل ۶ - نمودار تغییرات استحکام کششی و کرنش شکست نمونه‌هایی که در دمای ۳۳۵ درجه سانتیگراد بمدت زمانهای مختلف آستمپر شده‌اند.



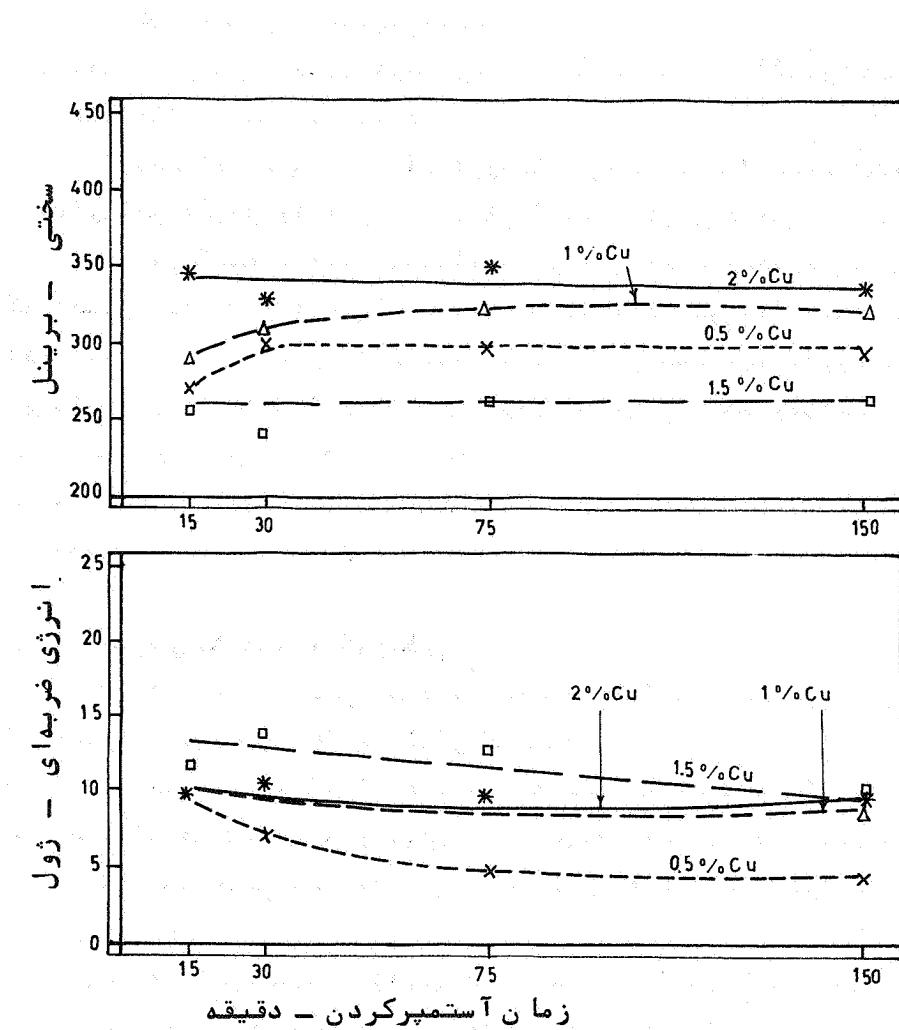
ادامه شکل ۶ - نمودار تغییرات سختی و انرژی ضربه‌ای
نمونه‌هایی که در دمای ۳۳۵ درجه سانتیگراد
بمدت زمانهای مختلف آستمپر شده‌اند.

- استحکام کششی از خود نشان مودهد . اما کرنش شکست سایر آلیازها تقریباً مستقل از زمان آستمپر کردن می باشد .
- ۳ - سختی کلیه آلیاژها در این دما تا زمان ۷۵ دقیقه اندکی افزایش یافته و سپس کاهش می یابد .
- ۴ - تغییرات زیادی در استحکام ضربه ای هر آلیاژ نسبت به تغییر زمان آستمپر کردن دیده ننمی شود .
- با بررسی کلیه نتایج حاصله در این دما مشخص می شود که آلیاژی با ۱٪ مس که بمدت ۷۵ دقیقه آستمپر شده دارای مناسب ترین ترکیب خواص مکانیکی نسبت به سایرین می باشد . در این شرایط مشخصات آلیاژ فوق بقرار زیر است :
- استحکام کششی (MPa) ۱۱۵۰
 - درصد کرنش شکست ۷
 - سختی ۳۷۰ HB

- بررسی خواص مکانیکی در دمای آستمپر کردن ۳۷۵ درجه سانتیگراد می نگین نتایج آزمایشات مکانیکی انجام گرفته در این درجه حرارت در نمودار شماره ۷ و بخشی از جداول ۲ الی ۵ ارائه شده .
بررسی این اطلاعات مرا تبکلی زیر را آشکار می سازد :
- ۱ - مقادیر استحکام کششی و کرنش شکست هر آلیاژ تا زمان آستمپر کردن ۳۵ دقیقه افزایش یافته و سپس بتدريج کاهش می یابد . علت افت اين دو عامل پس از زمان آستمپر کردن ۳۵ دقیقه را می باید به فعال شدن واکنش (II) از اين زمان به بعد مربوط دانست .
- ۲ - از زمان آستمپر کردن ۳۵ دقیقه به بعد ، ملاحظه می گردد که بطور کلی افزایش درصد مس در آلیاژ موجب بهبود استحکام کششی آن می گردد .
- ۳ - سختی آلیاژها تقریباً از همان تغییرات استحکام کششی ، لیکن



شكل ۷ - نمودار تغییرات استحکام کششی و کرنش شکست نمونه های که در دمای ۳۷۵ درجه سانتیگراد بمدت زمان های مختلف آستمپر شده اند.



ادامه شکل ۷ - نمودار تغییرات سختی و انرژی ضربه‌ای نمونه‌هایی که در دمای ۳۷۵ درجه سانتیگراد بمدت زمانهای مختلف آستمپر شده‌اند.

با نرخی کمتر پیروی می‌نمایند.

۴ - افزایش زمان آستمپر کردن روی استحکام ضربه‌ای آلیاژهای مختلف اثر چندانی ندارد.

استثناء در این موارد آلیاژی با ۵٪ درصد مس است. استحکام ضربه‌ای این آلیاژ با افزایش زمان آستمپر کردن کاهش می‌یابد. بررسی کلیه نتایج بدست آمده در این دما، مشخص می‌نماید که آلیاژی با ۲ درصد مس که بمدت ۳۰ دقیقه در این دما آستمپر شده، دارای مناسب‌ترین ترکیب خواص مکانیکی نسبت به سایرین می‌باشد. در این حالت آلیاژ فوق دارای خواص مکانیکی زیرا است.

- استحکام کششی (MPa) ۱۰۸۰

- درصد کرنش شکست ۵/۵

- سختی ۳۳۰ HB

۴-۳ - بررسی ساختار میکروسکوپی

ساختار میکروسکوپی کلیه نمونه‌ها چه حالت ریختگی و چه پس از آستمپر شدن مورد مطالعه قرار گرفتند.

در حالت ریختگی در همه ذوب‌های نکات زیر مشترک بود:

۱ - درصدگرا فیت‌های کروی بیش از ۹۵ درصد بوده و تعداد آنها در هر میلی‌متر مربع سطح مقطع بین ۱۵۰-۱۰۰ عدد نوسان می‌نمود (شکل ۸).

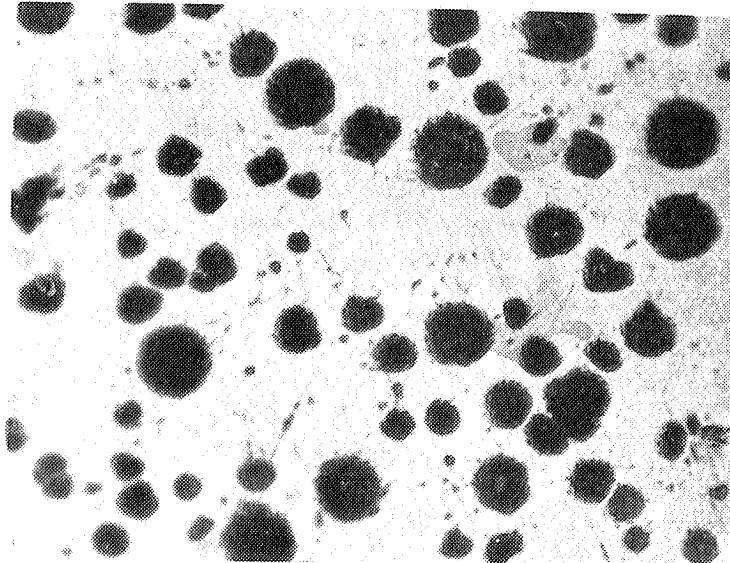
۲ - درصد فاز فریت با افزایش مقدار مس در آلیاژ کاهش می‌یابد. بطوریکه از ۱٪ مس به بالا، مقدار فریت حتی از ۱۰٪ نیز کمتر شد.

۳ - کاربید و معاویب‌گازی در نمونه‌ها مشاهده نشد.

در حالت آستمپر شده بررسی ساختار میکروسکوپی نمونه‌ها تائید کننده این نکته بود که ساختار اصلی نمونه‌هایی که در دمای ۲۸۵ درجه سانتیگراد آستمپر شده‌اند از بینیت پائیتی و نمونه‌هایی

اشر دوره عملیات حرارتی ...

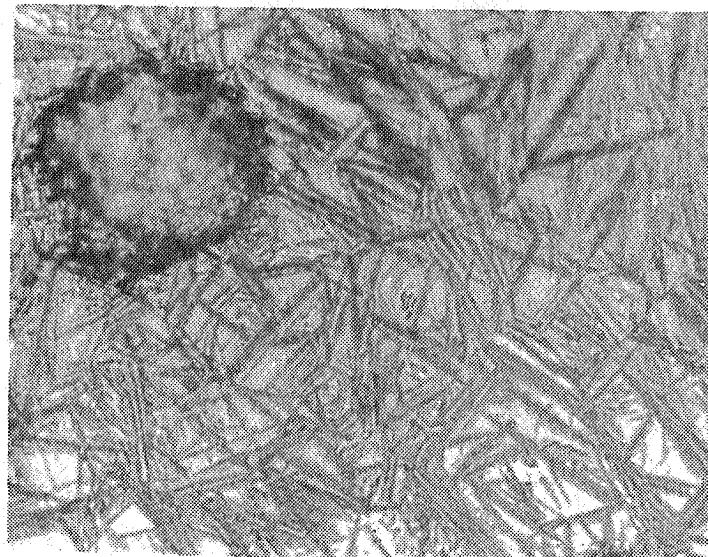
۵۵



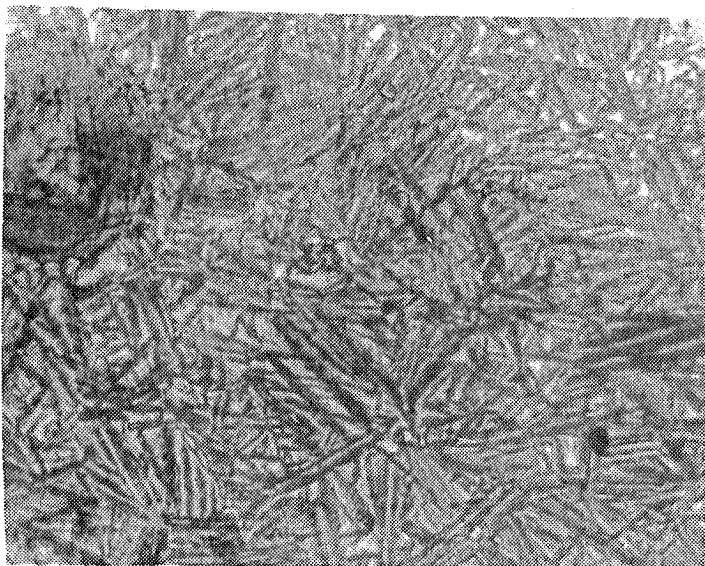
شکل ۸ - ساختار میکروسکوپی آلیازی با ۱/۵ درصد مس بحالت ریختگی محلول ظاهر کننده معرف نشده و بزرگ نمایی ۱۰۰ برابر است



شکل ۹ - ساختار میکروسکوپی آلیازی با یک درصد مس که درد مای ۳۷۵°C بمدت ۱۵۰ دقیقه آستمپرشده است. ساختار حاوی آستنیت با قیمانده (فاز روش) و بینیت بالائی (فاز تیره) میباشد. محلول ظاهرکننده : نایتال ۲٪ بزرگ نمایی : ۴۰۰ برابر



(الف)



(ب)

شکل ۱۵— ساختار میکروسکوپی الیاژی با یک درصد مسکهدرد مای ۲۷۵ درجه درجه سانتیگراد و زمانهای (الف) ۱۵ دقیقه (ب) ۷۵ دقیقه آستمپیر شده است.
 محلول ظاهر کننده : نایتال ۲٪
 بزرگ نمایشی : ۴۰۰ برابر

کهدر دمای ۳۷۵ درجه سانتیگراد آستمپر شده‌اند از بینیت با لائی تشکیل شده‌اند. نمرننه‌های از اختار میکروسکوپی آلیاژی با ۱٪ مس که از یک طرف روند پیشرفته فرآیند آستمپر کردن را در دمای ۲۸۵ درجه سانتیگراد نسبت به زمان نشان میدهد و از طرف دیگر تفاوت بینیت با لائی و پائینی را در دو دمای آستمپر کردن ۲۸۵ و ۳۷۵ درجه سانتیگراد مشخص نماید در اشکال ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

۵ - نتیجه‌گیری

- ۱ - بطورکلی خواص مکانیکی کلیه آلیاژهای مورد بررسی بستگی به دما و زمان آستمپر دارد و عموماً در هر دمای آستمپر کردن ماکزیمم انعطاف پذیری در زمان معینی از آستمپر شدن حاصل می‌شود.
- ۲ - از بین آلیاژها، چدن نشکنی با ۱٪ مس که در دمای ۲۸۵ و یا ۳۳۵ درجه سانتیگراد بمدت ۷۵ دقیقه آستمپر شده باشد، مناسب‌ترین ترکیب خواص مکانیکی را نسبت به سایر آلیاژها در همان شرایط - از خود نشان می‌دهد.
- ۳ - در دمای آستمپر کردن ۳۷۵ درجه سانتیگراد، آلیاژی با ۲٪ مس که بمدت ۳۵ دقیقه آستمپر شده باشد، از خود مناسب‌ترین ترکیب خواص مکانیکی را، نسبت به سایر آلیاژها در همان شرایط، نشان می‌دهد.
- ۴ - با مقایسه کلیه نتایج حاصله از آزمایشات مکانیکی، ملاحظه می‌گردد که بطور کلی افزایش درصد مس در آلیاژها اثرات متفاوتی از خود نسبت به دما و زمان آستمپر کردن نشان می‌دهد، در این رابطه :
- در دمای‌های آستمپر کردن ۲۸۵ و ۳۳۵ درجه سانتیگراد، هنگامیکه زمان آستمپر کردن از مرز ۷۵ دقیقه تجاوز نماید، افزایش

مس در آلیاژها عمدتاً "موجب کاهش استحکام کششی و سختی میگردد و این اختلاف با زیاد شدن زمان آستمپر شدن بیشتر میشود.

- در دمای آستمپر کردن ۲۷۵ درجه سانتیگراد، هنگامیکه زمان آستمپر شدن از ۳۰ دقیقه تجاوز نماید، افزایش مس در آلیاژها موجب افزایش استحکام کششی و سختی میگردد.

۵ - نتایج حاصله از آزمایشات ضربه مشخص مینماید که برای کالیه آلیاژها، استحکام ضربه‌ای با افزایش دمای آستمپر کردن بشرط ثابت نگهداشتن زمان آستمپر شدن، فزایش مییابد، اما بطورکلی، استحکام ضربه‌ای کلیه آلیاژها، در تمام دمایها، نسبتاً پائین است و مقدار آن بین ۱۶-۵ ژول نوسان میکند.

۶ - با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، بنظر میرسد که در چندینهای نشکنی که حاوی یک درصد مس بوده و در دماهای ۲۸۵ و ۳۳۵ درجه سانتیگراد آستمپر شده‌اند و اکنون شماره (II) کند گشته و در نتیجه کاربیدهای تشکیل شده در این مرحله ریزتر گردیده‌اند. حاصل این پدیده، افزایش توان انعطاف‌پذیری و استحکام کششی می‌باشد، و این در حالی است که افزایش بیش از این مقدار مس بعلت انحلال بیش از حد آن در فویت موجبات کاهش انعطاف‌پذیری را فراهم می‌نماید. این نتیجه‌گیری با نظریه عنوان شده توسط Janovak [۱۴] هماهنگی دارد.

مراجع

۱۲- مجتبی جافریان ، فریدون توکلی و پرویز دوامی " استفاده از مس بجای نیکل در چدنهای نشکن آستمپر " اولین سمینار جامعه ریختگران ایران ، آبان ماه ۱۳۶۷ .

- 1 . Grigy, C., and Le Gal " Surface Fatigue of Spheroidal Graphite Cast Iron. Attempted Improvements by Mechanical and Heat Treatments ", Fonderie- Fondeur d'Aujourd'hui No. 8, pp 21-24 Oct. 1981.
- 2 . Dodd, J., " High Strength, High Ductility, Ductile Irons", Modern Casting, pp 60-66, May 1978.
- 3 . Sharma, V. K., " Roller Contact Fatigue Study of Austempered Ductile Iron ", J. Heat Treating , vol. 3, No. 4, pp 326-334, 1984.
- 4 . Rossi, F. S., et al " Austempering of Nodular Cast Iron Automobile Components ", Metal Progress, vol. 119, No. 5, pp 25-31, 1981.
- 5 . Sr. Kovace, B. V., " Development of Austempered Ductile Iron for Automobile Crankshafts ", J. Heat Treating, Vol. 5, No. 1, 1987.
- 6 . Tiziani, A. et al " Austempered Ductile Irons with Different Compositions and Evaluation Mechanical Properties ", J. Heat Treating, Vol. 5, No. 1, 1987.

- Characteristics of Gears ", 55th International Foundry Congress, Italy, Sept. 1988.
- 7 . Voigt, R. C., et al " Austempered Ductile Iron-Process Control and Quality Assurance ", J. Heat Treating, vol. 3, No. 4, pp 291-309, December 1984.
- 8 . Harding, R. A., " The Effect of Metallurgical Variables on Austempered Ductile Irons ", Metals and Materials, pp 65-71, Feb. 1986.
- 9 . Jahansson, M. " Austenitic-Bainitic Ductile Iron ", Trans. AFS, vol. 85, pp 112-117, 1977.
10. Rouns, T. N., et al " On the Structure and Properties of Austempered Ductile Cast Iron ", AFS Transactions, pp 815-840, 1984.
11. Dorazil, E., et al " High Strength Bainitic Ductile Cast Iron ", AFS Int. Cast. Met. J., vol. 7, pp 52-62, 1982.
13. Rundman, K. B., et al " The Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron ", J. Heat Treating, vol. 5, No. 2, pp 79-95, 1988.
14. Janowak, J. F., and Gundlach, R. B., " Development of a Ductile Iron for Commercial Austempering ", AFS Transactions, pp 377-388, 1983 .