تأثیر تجربی ریزساختار بر چقرمگی شکست و سختی، فولاد دوفازی فریتی- مارتنزیتی

علی‌اکبر امینی‌پرور[۱*] و مهدی قبیتی‌حسب[۲]

[۱] دانشجوی ارشد مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران

[۲] استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران

دریافت: بهمن ۹۵ پذیرش: فروردین ۹۶

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر ریزساختار بر چقرمگی شکست و سختی، فولاد دو فازی فریتی - مارتنزیتی به‌صورت تجربی می‌باشد. ابتدا فولاد موردنظر (42CrMo4) در دمای ۸۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت حرارت داده شدند. سپس در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در حمام نمک با زمان‌های مختلف، نگه‌داشته و در حمام روغن ۷۰ درجه خنک گردید. قطعات با عملیات متالوگرافی آماده و زیر میکروسکوپ نوری ریزساختار آن‌ها مشخص گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون ضربه و آزمون میکروسختی، مشخص شد که تغییر ریزساختار فولاد اولیه (فریتی - پرلیتی) به ریزساختار (فریتی - مارتنزیتی) با عملیات حراتی، باعث افزایش چقرمگی و افزایش سختی فولاد موردنظر شده است. علت افزایش سختی، وجود فاز مارتنزیت و افزایش چقرمگی، فازهای فریت و مارتنزیت می‌باشد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** ghobeiti@ut.ac.ir

کلمات کلیدی: فولاد 42CrMo4، فریتی- مارتنزیتی، عملیات حرارتی، چقرمگی شکست - مقاومت به ضربه - سختی سنجی

۱- مقدمه

بحران سوخت در دهه‌ی ۷۰، باعث شد تا کاهش وزن وسایل نقلیه به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های کاهش مصرف سوخت مطرح شود. در همین راستا فولادهای دوفازی درنتیجه تحقیقات هایامی[۱] و فروکاوا[۲] (۱۹۷۵)، رشید[۳] و کپرک[۴] (۱۹۷۸)، در صنایع خودروسازی، موردتوجه قرار گرفتند. نتایج تحقیقات نشان داد که کاهش استحکام تسلیم، استحکام کششی بالا و حذف نقطه تسلیم به‌علاوه قابلیت انعطاف مناسب، از خواص ویژه فولاد دوفازی تولید شده است. از آن زمان تاکنون بررسی‌های زیادی در مورد جنبه‌های مختلف فولاد دوفازی انجام شده است. [۲]

به‌طورکلی از خواص منحصربه‌فرد فولادهای دوفازی، می‌توان به رفتار تسلیم پیوسته، استحکام تسلیم پایین، نرخ کار سختی اولیه زیاد، استحکام کششی بالا و قابلیت انعطاف خوب، اشاره کرد. همچنین قابلیت جذب انرژی بالا، کاهش قیمت و کیفیت سطحی تمام‌شده خوب به دلیل حذف نقطه تسلیم از ویژگی‌های دیگر فولادهای دوفازی محسوب می‌شوند. استحکام بالای فولادهای دوفازی، استفاده از ورق‌های نازک‌تر و درنتیجه کاهش وزن خودرو و شکل‌پذیری مناسب آن‌ها تولید قطعات با شکل‌های پیچیده را امکان‌پذیر می‌کند. قابلیت جذب انرژی بالای فولادهای دوفازی نیز باعث افزایش ایمنی خودرو می‌شود. امروزه فولادهای دوفازی، تحت عنوان فولادهای پیشرفته استحکام بالا، در خودروسازی استفاده می‌شوند. [۱-۲]

کسر حجمی فاز مارتنزیت به‌عنوان مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده‌ی خواص فولادهای دوفازی مطرح است. سان[۵] و پاق[۶] گزارش کردند که خواص بهینه فولاد دوفازی (استحکام و قابلیت انعطاف بهینه) در درصد حجمی مارتنزیت ۱۰ تا ۳۰ درصد حاصل می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که مورفولوژی فاز مارتنزیت نیز عامل مؤثر دیگری بر روی استحکام و قابلیت انعطاف و همچنین شکست فولاد دوفازی است. محققین زیادی با استفاده از روش‌های عملیات حرارتی مختلف فولاد دوفازی با مورفولوژی مختلف مارتنزیت را تولید کرده و موردبررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داده که

[1]- Hayami
[2] -Furukawa
[3] - Rashid
[4] - Cpreck

[5] - Sun
[6] - Pugh

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.1.7]

فولاد دوفازی با اندازه جزایر مارتنزیت ریز، استحکام و قابلیت انعطاف بهتری در مقایسه با جزایر مارتنزیت درشت دارد. اصلاح ریزساختار فولاد دوفازی، با تغییر شکل شدید فولاد و سپس انجام عملیات حرارتی، بسیار موردتوجه قرارگرفته است. در واقع با کاهش اندازه دانه فریت، توزیع و اندازه جزایر مارتنزیت نیز اصلاح می‌شود. بررسی خواص فازهای تشکیل دهنده و تغییر شکل فازها حین اعمال نیرو، باعث درک بهتری از خواص فولاد دوفازی می‌شود. خواص فازهای تشکیل‌دهنده نیز به ریزساختار و ترکیب شیمیایی آن‌ها وابسته است. [۳]

گلعذانی در یک تحقیق، چقرمگی شکست ریزساختار مارتنزیت برگشت داده‌شده و ریزساختار فریت - بینیت - مارتنزیت، به همراه اثر مرزهای بین فازی بر شکست، در فولاد 42CrMo4 مورد ارزیابی قرار داد. این نتایج را به دست آورد که با آزمایش ضربه و چقرمگی شکست، به‌دست‌آمده که ریزساختار سه فازی نسبت به ریزساختار مارتنزیت برگشت داده‌شده، نامطلوب است. شکست‌نگاری سطوح شکست در هر دو نمونه ضربه (CVN) و چقرمگی شکست (k_{IC}) حصول شکست کلیواژی در ریزساختار سه فازی را مورد تأیید قرار داد. [٤]

مارپلیوس[7] (۲۰۰۴) خواص مکانیکی ریزساختار مارتنزیت بازگشت داده شده با ریزساختار سه‌فازی فریت-بینیت-مارتنزیت در فولاد کم آلیاژ پراستحکام (42crmo4) مقایسه کرد. نتایج آزمایش‌های کشش، نشان داد که در صورت تشکیل زمینه ریزساختار از فاز فریت، پدیده افت تسلیم اتفاق می‌افتد. این پدیده در ریزساختار مارتنزیت بازگشت داده‌شده و نیز آن دسته از نمونه‌های سه فازی که در آن‌ها فاز سخت بینیت-مارتنزیت زمینه ریزساختار را تشکیل می‌داد، مشاهده نشد. [۵]

تقی دلالی اصفهانی و همکاران در مقاله‌ای به بررسی رفتار ضربه‌ای فولادهای دوفازی فریتی- مارتنزیتی با مورفولژی‌های متفاوت از مارتنزیت مورد ارزیابی قرار دادند. با انجام آزمون‌های خواص مکانیکی نظیر ضربه، کشش و سختی که مطابق استاندارد انجام شد و سطح شکست نمونه‌های ضربه که با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی موردمطالعه قرار گرفت مشخص شد که ریزساختار به‌دست‌آمده توسط عملیات گرمایی آنیل مستقیم خواص ضربه‌ای بهتری نسبت به ریزساختار به‌دست‌آمده توسط عملیات گرمایی آنیل پیوسته داشت و درجه حرارت تبدیل نرمی به تردی (DBTT) برای این دو ساختار به ترتیب ۴۹ - درجه سانتی‌گراد و ۶- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. [۶]

مارین[8] و همکارانش (۲۰۱۰) فولاد دوفازی فریت - مارتنزیت با اندازه دانه فریت متفاوت با محتوای مارتنزیت در دمای تغییر شکل‌های مختلف و خواص مکانیکی آن‌ها را مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی و روبش الکترونی، اصلاح دانه منجر به افزایش در قدرت عملکرد و استحکام کششی زیر یک رابطه خطی از نوع هال پچ می‌باشد. اصلاح دانه بیشتر ترویج مکانیسم شکست نرم بوده که درنتیجه بهبود چقرمگی شکست مارتنزیت است. افزایش قدرت در بهبود خاصیت انعطاف‌پذیری براثر فریت بوده و افزایش استحکام از مارتنزیت است. [۷]

سختی یکی از خواص مکانیکی بوده که معمولاً و به‌آسانی اندازه‌گیری شده و به‌صورت مقاومت ماده در مقابل نفوذ یکشی یا در مقابل دندانه شدن تعریف می‌گردد. سختی و استحکام به‌صورت مستقیم با کربن موجود در فولاد در ارتباط هستند. سختی با افزایش استحکام کششی بیشتر می‌گردد و برعکس؛ بنابراین اگر میزان سختی یک فلز معلوم باشد، قادریم تا میزان استحکام کششی آن را تخمین بزنیم. مخصوصاً برای فولادهای کربنی و فولادهای کم آلیاژی این امر بسیار در تخمین میزان استحکام یک فلز بدون آماده کردن و انجام دادن آزمون کشش مفید و مؤثر می‌باشد. سختی یک فلز را می‌توان به طرق مختلفی تخمین زد. به‌هرحال، روش‌های مرسوم شامل به‌کارگیری یک نافذ است که با یک نیروی خاص بر روی سطح یک فلز کشیده می‌شود. به‌طورکلی عدد سختی، عدد و ارزشی است که در روش‌های مختلف این آزمون به دست می‌آید و حدود زیادی با یکدیگر و با استحکام کششی فلزات غیرشکننده متناسب است. [۱۵]

در این تحقیق سعی شده که تأثیر ریزساختار بر چقرمگی شکست و سختی فولاد دوفازی فریتی - مارتنزیتی با استفاده از آزمون ضربه و میکروسختی‌سنجی، به‌صورت تجربی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- مواد و روش آزمایش

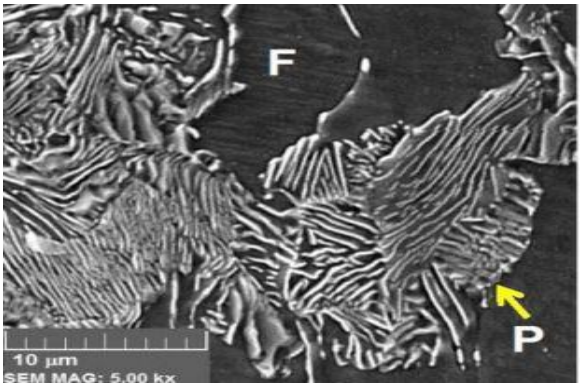
مواد اولیه مورداستفاده در این تحقیق به‌صورت میل‌گرد با قطر ۱۴ میلی‌متر بود. ترکیب شیمیایی این فولاد در جدول (۱) آورده شده است. بررسی‌های متالوگرافی این فولاد با میکروسکوپ الکترونی روبشی و اچ شده با محلول نایتال ۲ درصد نشان داد که ریزساختار فولاد اولیه فریتی – پرلیتی (نمونه A) می‌باشد (شکل ۱).

جدول ۱: درصد عناصر آلیاژی Mo40 (۳)

عناصر آلیاژی	%Mo	%Cr	%Mn	%P	%S	%Si	%C
درصد عناصر	۰.۱۶	۰.۸۷	۰.۷۰	۰.۰۱	۰.۰۰۲	۰.۳۳	۰.۴

[7] = Maropoulos
[8] - Marion Calcagnotto

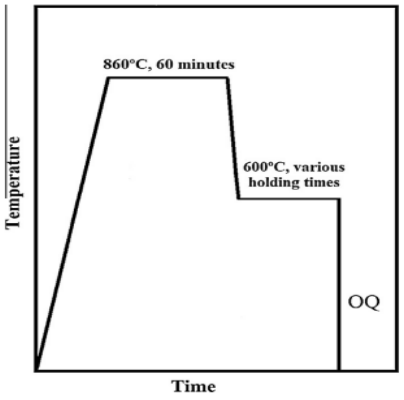
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-11]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.1.7]



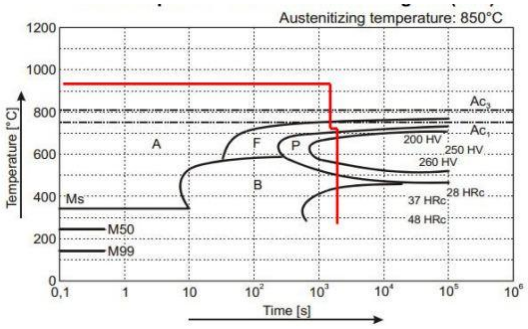
شکل ۱: ریزساختار اولیه فولاد موردبررسی در این تحقیق (نمونه A)
P:پرلیت F:فریت

برای ایجاد ریزساختار فریتی- مارتنزیتی، مطابق سیکل عملیات حرارتی شکل (۲) ابتدا نمونه موردنظر درون کوره‌ی الکتریکی در دمای ۸۶۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۶۰ دقیقه قرار داده شد. سپس داخل کوره‌ی الکتریکی حمام نمک داغ[9]، در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ ثانیه (نمونه B)، ۳۵ ثانیه (نمونه C) و ۵۵ ثانیه (نمونه D) نگهداری شدند. نمک مورداستفاده در کوره نمک طعام[10] و کربنات سدیم[11] می-باشد. سپس در حمام روغن دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد سرد شدند. دماها و زمان‌های مذکور بر اساس نمودار دما - زمان - استحاله (T-T-T) فولاد mo4o (شکل ۳) انتخاب گردیده است.

برای مثال در دماهای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، زمان اتمام استحال د منطقه دوفازی فریت - آستنیت بسیار طولانی است. در دماهای کمتر از آن زمان استحاله خیلی کوتاه است و امکان تشکیل ریزساختار کاملاً فریتی وجود دارد. درنتیجه بهترین دما برای دوفازی کردن، دمای 600 درجه سانتی‌گراد بوده که در این دما طبق نمودار-T) (T-T(شکل (۳)) باگذشت زمان ۲۰ ثانیه، در منطقه دوفازی می‌باشد. در این تحقیق، از کوره عملیات حرارتی الکتریکی مدل (AZAR F35L 1250 ساخت ایران) و کوره حمام نمک مدل (SAMIM1250، ساخت ایران) استفاده گردید. با انتخاب نمک مناسب از تغییر ترکیب شیمیایی قطعه در حمام نمک جلوگیری می‌شود. حمام نمک موجب تغییر دمای کل قطعه با سرعت یکسان می‌گردد.



شکل ۲: نمودار شماتیک عملیات حرارتی. [۹]



شکل ۳: نمودار T-T-T فولاد m040. [۱۱]

آزمایش ضربه یکی از روش‌های استاندارد برای تعیین انرژی شکست مواد فلزی است. این آزمون مطابق با استاندارد (ASTME23) انجام شد [۱۰]. ازآنجایی‌که هدف از این تحقیق بررسی چقرمگی شکست فولاد دوفازی با استفاده از آزمون ضربه است. نمونه موردنظر برای انجام آزمون ضربه به‌صورت عملی مطابق با استاندارد (ASTM A370) آماده گردیده شد.

در خصوص محاسبه چقرمگی شکست با استفاده از داده‌های آزمایش ضربه شارپی چندین رابطه تجربی مطرح‌شده است. بر اساس استاندارد (ASTM E23)، چقرمگی شکست k1c باانرژی شکست آزمایش ضربه شارپی (CVN) به‌صورت زیر رابطه دارد. [۱۰]:

$$K^2_{1c} (5 (E ((CVN) \qquad (۱)$$

که در آن k1c برحسب $Psi.in^{1/2}$، Eبرحسب Psi، CVN برحسب ft-lb می‌باشد.

رابطه دیگری که توسط رابرت و نیوتون برای داده‌های آزمایش در تمام دماها ارائه‌شده است، به‌صورت زیر است:

$$k1c = 8.47\times(CVN)^{0.63} \qquad (۲)$$

[9] -Salt Bath
[10] - Nacl
[11] - Na_2Co_3

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-11]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.1.7]

که در آن k1c برحسب $MPa.m^{1/2}$، E برحسب GPa، CVN برحسب ژول می‌باشد.

رابطه دیگری که توسط بارسام و رالف برای داده‌های آزمایش در تمام دماها ارائه‌شده است، به‌صورت زیر است:

$$k1c = [0.64 \times E \times (CVN)]^{0.5} \quad (۳)$$

که در آن k1c برحسب $MPa.m^{1/2}$، E برحسب Gpa، CVN برحسب ژول می‌باشد. [۱۰]

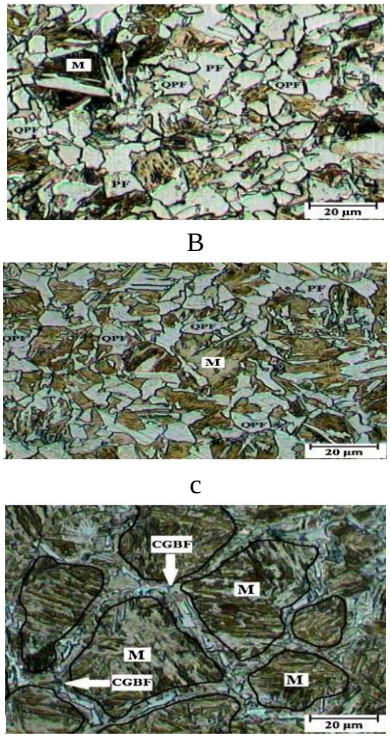
نمونه فولادها را با دستگاه میکرو سختی (شکل ۴)، سختی سنجی از چند نقطه انجام داده و نتایج آن ثبت گردید.

شکل ۴: دستگاه میکرو سختی

قطعات عملیات حرارتی را با عملیات متالوگرافی (سنباده‌زنی، پولیش-کاری، اچ کردن) آماده کرده و برای دیدن زیر میکروسکوپ نوری از نایتال ۲٪ استفاده‌شده است.

۳- نتایج و بحث

شکل (۵) تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های دوفازی فریتی مارتنزیتی را نشان می‌دهد. مناطق روشن موجود در تصاویر مربوط به فاز فریت می‌باشند. این در حالی است که مناطق تیره‌تر مارتنزیت هستند. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، با افزایش مدت‌زمان نگهداری نمونه‌ها در حمام نمک ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، در سه مرحله زمانی ۲۰ ثانیه (نمونه B)، ۳۵ ثانیه (نمونه C) و ۵۵ ثانیه (نمونه D) فولاد دوفازی فریتی- مارتزیتی با درصد فریت و مارتنزیت مختلف می‌باشند.



شکل ۵: B=20s، C=35s، D= 55s.

انرژی شکست به‌دست‌آمده از آزمون ضربه در جدول زیر آمده است. از این انرژی شکست برای به دست آوردن مقدار تقریبی چقرمگی شکست استفاده می‌گردد. در این آزمون، از هر نمونه ۳ قطعه تست شدند که میانگین مقدار انرژی جذب‌شده توسط نمونه در هنگام شکست به‌دست‌آمده در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

جدول ۲: انرژی شکست (CVN)

نمونه	A	B	C	D
انرژی شکست (CVN)	۱۵۰.۳۳	۲۵۳.۳	۳۳۳.۳	۲۰۰

چقرمگی ماده قابلیت آن برای جذب انرژی است. انرژی شکست به‌دست‌آمده از آزمون ضربه را فرمول چقرمگی شکست (هر ۳ فرمول آورده شده) گذاشته و میانگین را در جدول (۳) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که چقرمگی شکست فولاد فریتی - پرلیتی کمتر از فولاد عملیات حرارتی شده است. مشاهده شد که فولاد با ریزساختار فریتی-مارتنزیتی با درصد مارتنزیت و فریت مشابه (نمونه **C**) داری چقرمگی بیشتر از دیگر نمونه می‌باشد شکل (۶). در شکل (۷) مشخص است که در بین نمونه‌های دوفازی نمونه **C** که نمونه‌ای با درصد فریت و مارتنزیت مشابه می‌باشد، دارای چقرمگی شکست بیشتری نسبت به دو نمونه دوفازی دیگر (نمونه **B** درصد فریت از مارتنزیت بیشتر و در نمونه **D** درصد مارتنزیت از فریت بیشتر) می‌باشد. مشخص شد که علت این

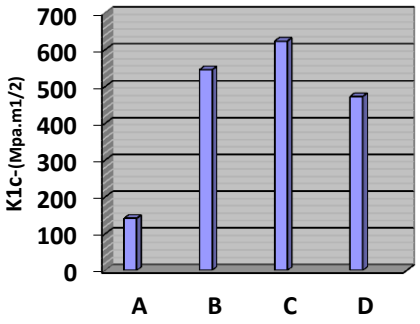
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.1.7]

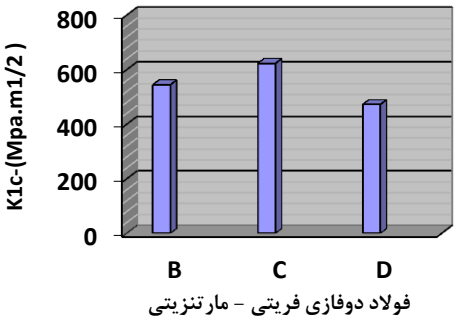
تغییرات وجود فازهای فریت و مارتنزیت می‌باشد که باعث بهبود خواص مکانیکی (چقرمگی شکست) فولاد دوفازی فریتی مارتنزیتی شد.

جدول ۳: چقرمگی شکست برحسب $MPa.m^{1/2}$

نمونه	A	B	C	D
چقرمگی شکست (K1c)	۱٤۱.٤۱٦	٥٤٤.٨۳	٦۲۳.۰۸	٤۷۲.۷



شکل ۶: نمودار چقرمگی شکست



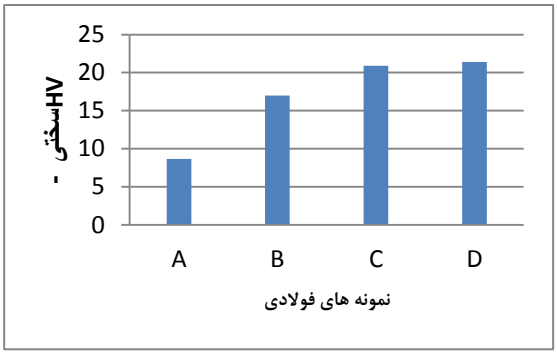
شکل ۷: نمودار چقرمگی شکست فولاد دوفازی

سختی سنجی با دستگاه میکرو سختی انجام‌گرفته و نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است.

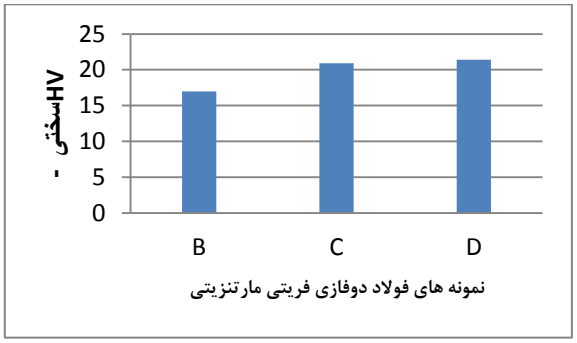
جدول ۴: نتایج سختی سنجی

نمونه	A	B	C	D
HV	۸.۶۶	۱۶.۹۶۶	۲۰.۸۹۳	۲۱.۴

با انجام آزمایش سختی سنجی مشاهده گردید، سختی با تغییر ریزساختار رابطه مستقیم دارد (شکل ۸)، این تغییر باعث افزایش سختی نمونه‌های عملیات حرارتی شده نسبت به نمونه فریتی - پرلیتی شده است. وجود فاز مارتنزیت باعث شد که در بین نمونه‌های دوفازی نمونه (D) که درصد بیشتری مارتنزیت دارد، سختی بیشتری نسبت به دیگر نمونه‌ها داشته باشد. مارتنزیت باعث افزایش سختی در نمونه‌های دوفازی فریتی- مارتنزیتی (شکل ۹) شده است. مشخص شد که هر اندازه که درصد مارتنزیت افزایش پیدا کند، سختی نیز بیشتر می‌شود. علت افزایش سختی وجود فاز مارتنزیت در فولاد دوفازی فریت مارتنزیت می‌باشد.



شکل ۸: نمودار نتایج سختی همه نمونه‌ها



شکل ۹ : نمودار نتایج سختی نمونه‌های دوفازی

۴- نتیجه‌گیری

۱- تغییر ریزساختار باعث بهبود فولاد اولیه شده است. به دلیل وجود فازهای نرم فریت و سخت مارتنزیت نمونه‌های عملیات حرارتی شده انرژی شکست بالاتری دارد.

۲- تغییر ریزساختار در بین نمونه‌های عملیات حرارتی شده، باعث بهبود چقرمگی شکست شده است. نمونه C دارای درصد فریت و مارتنزیت مشابه هم بوده که به دلیل وجود فریت و مارتنزیت چقرمگی شکست خوبی دارند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.1.7]

۳- با توجه به این‌که شرکت‌های که از فولاد دوفازی استفاده نموده، انتظار دارند فولادهای جدید ضربه‌پذیری خوب داشته باشند، فولادهای دوفازی فریتی- مارتنزیتی می‌تواند با توجه چقرمگی خوب و ضربه‌پذیری عالی این خواسته‌ها را برآورده کنند.

۴- تغییر ریزساختار از فریتی - پرلیتی به ریزساختار فریتی - مارتنزیتی، تأثیر مستقیم بر سختی فولاد دوفازی داشته که باعث بهبود سختی این فولادها شده است.

۵- فاز مارتنزیت باعث افزایش سختی در فولادهای دوفازی شده است.

۶- به دلیل سختی بالای فولادهای دوفازی فریتی - مارتنزیتی شرکت-های خودروسازی و نظامی از این فولادهای استفاده بیشتری می‌کنند.

۷- در این تحقیق اثبات شد که تغییر ریزساختار تأثیر مستقیم در خواص مکانیکی (چقرمگی شکست، سختی) فولاد موردتحقیق شده دارد و باعث بهبود آن شد.

منابع

1- S. Hayami and T. Furukawa, High - Strength, Low -Alloy Steels.1975, pp. 78-87.

2- M.S. Rashid, E.R. Cpreck, "Relationship between microstructure and formability in two highstrength, low alloy steels", Formability topics - matallic materials, ASTM, STP 647, Philadelphia, PA, American society for testing materials, 1978, pp. 174-190.

3- Sun, S., Pugh, M. (2002). Properties Of Thermomechanically Processed Dual-Phase Steels Containing Fibrous Martensite. Mater. Sci. Eng. A, 335, 298–308.

۴ – ع، سالمی گلعذایی، بررسی چقرمگی شکست فولاد 42CrMo4، استادیار دانشگاه آزاد واحد کرج.

5 - S. Maropoulos, 'Fracture Toughness Evaluation of a HSLA. Steel', Eng. Frac. Mec, 71۱۷۰۴-۱۶۹۵ ,۲۰۰۴ ,.

6- R.G. Davies, in "Formable HSLA and Dual Phase Steels", edited by A.T. Davenport (AIME, New York, 1979), p. 25.

7-. Marion Calcagnotto, "Deformation and fracture mechanisms in fine - and ultrafine - grained ferrite / martensite dual - phase steels and the effect of aging "Max – Planck - Institut fu¨r Eisenforschung GmbH, Max – Planck - Straße 1, 40237 Du¨sseldorf, Germany, 30 October 2010.

8- G. R. speich: fundamental of Dual phase steels, TMS-AIME. 1981, PP. 3-39.

9- E. Fereiduni, S. S. Ghasemi Banadkouki. Reliability / unreliability of mixture rule in a low alloy ferrite – martensite dual phase steel. Department of Mining and Metallurgical Engineering, Yazd University, Safayieh, Daneshgah Blvd., University Main Campus, P.O. Box 89195-741, (2012). Yazd, Iran.

10 - ASTM E23 – 07a ´1. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. Thu Jun 2 12:30:03 EDT 2011.

11- AR Boccaccini, S Atiq, DN Boccaccini, I Dlouhy, C Kaya. Fracture behaviour of mullite fibre reinforced-mullite matrix composites under quasi-static and ballistic impact loading. Composites Science and.Technology 65 (2005): 325 – 333.

12- Huang Jin, Microstructure Evolution during Processing of Dual Phase and TRIP Steels, University of British Columbia (UBC), 2004.

13- H. f. Dong, J. Li, Y. Zhang, J. Park, Q.- x. Yang, "Numerical simulation on the microstress and microstrain of low Si - Mn - Nb dual - phase steel", Int J Miner Metall Mater, 2010, 17, pp. 173-178.

14- M. Samler, Jominy End Quenching of 4140 Steel: The effect of time and temperature on austenitic grain growth, Worcester Polytechnic Institute, Bachelor thesis, p. 8 (2010).

15 - جورج دیتر، متالورژی مکانیکی، ترجمه شهره شهیدی، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ سوم (۱۳۸۳).

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2025-04-11]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1396.4.1.1.7]