فصلنامه
مهندسی مکانیک و ارتعاشات
jvibme.semnaniau.ac.ir

مطالعه و شبیه سازی تاثیر تغییرات عناصر کربن و منگنز در کوئنچینگ فولاد ۱۰۵۰ به کمک نرم افزار AC3

مهدی رفیعی [۱و۲]

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران
۲- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: ۲۹ مهر ۱۳۹۹
پذیرش: ۲۵ بهمن ۱۳۹۹
ارائه در سایت: ۲۵ بهمن ۱۳۹۹

کلید واژگان
سختی فولاد
کوئنچینگ فولاد ۱۰۵۰
کربن
منگنز

چکیده

تاثیر مقدار و نوع عناصر موجود در فولاد و همچنین آثار بعدی آن در ریز ساختار و مشخصات مکانیکی در فرآیند عملیات حرارتی موضوع ثابت شده ای می باشد در این مقاله تاثیر دو عنصر مهم کربن و منگنز بر فولاد ۱۰۵۰ در هنگام شوکه کردن مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از مدلسازی با استفاده از نرم افزار AC3 و نمودارهای مربوط به رابطه سختی و تغییرات عناصر تحلیل و بررسی شده است. عناصر مورد استفاده در این مطالعه ، کربن و منگنز می باشند که برای هر یک از آنها نمودار سختی و رفتار آن در سطح و عمق بررسی تهیه شده است و مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی ، نتایج تجربی را با دقت نسبتاً بالایی تایید کرده و نشان می دهد که از این روش می توان در فولادهای دیگر نیز استفاده کرد و این نرم افزار از دقت بسیار خوبی برای بررسی تاثیرات عناصر بر عملیات حرارتی فولادها برخوردار می باشد.

Simulation and study of the effect of variation in carbon and manganese elements on steel 1050 heat treatment (quenching) using AC3 software

Mehdi Rafiei

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran
2- Energy and Sustainable Development Research Center, Semnan Branch, **Islamic Azad University**, Semnan, Iran

Article Information

Original Research Paper
Received 20 October 2020
Accepted 13 February 2021
Available Online 13 February 2021

Keywords
Steel hardness
Steel quenching
Carbon
Manganese

ABSTRACT

The effect of the amount and type of metal elements in the steel as well as its subsequent effects on microstructure and mechanical properties during the heat treatment process is a proven issue. In this paper, the effect of two important elements, carbon and manganese, on steel 1050 heat treatment, quenching, is investigated. The results of the simulation including, relation between wight percentage variation of them and the effects on surface and depth hardness and also the hardness behavior are analyzed using AC3 software. The elements used in this study were carbon and manganese (%C & %Mn), for either of them the hardness diagram and its behavior at the surface and depth have been prepared. The comparison of the simulation results with the experimental data showed relatively good adaptation. This method can be used in other steels and this software has a very good accuracy to study the effects of elements on the heat treatment of steels.

Please cite this article using:

Mehdi Rafiei, simulation and study of the effect of variation in carbon and manganese elements on 1050 steel heat treatment (quenching) using AC3 software, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 11, No. 4, pp. 32-36, 2020-2021 (In Persian)

۱- مقدمه

عناصر مختلف با توجه به نوع و مقدار آنها همیشه بر فلزات تاثیر گذار بوده اند و می توان گفت که یکی از مهمترین بحث ها در علم متالورژی ، مطالعات مربوط به آلیاژها و تاثیر عناصر مختلف بر فلزات می باشد. مقدار و نوع عناصر موجود در فولاد ها باعث بوجود آمدن آلیاژهای مختلف با قابلیت های بهره گیری متفاوت در صنعت می شود. در صنعت به ندرت می توان موردی یافت که در آن از یک فلز خالص استفاده شده باشد مگر در موارد خاص که در آن بحث استحکام فلز مطرح نبوده و احتمالاً اهداف خاص دیگری مطرح می باشد. عملیات حرارتی یکی از بهترین روشهایی است که با آن می توان با صرف هزینه اندک به قابلیت های بسیار مهمی از جمله سختی ، چقرمگی و غیره در صنعت دست یافت و افزایش انرژی و هزینه در صنایع از نتایج عدم وجود این قابلیت مهم می باشد. بنابراین نیاز به عملیات حرارتی در صنعت یک امر اجتناب ناپذیر می باشد.

عملیات حرارتی در فولادها و سایر فلزات بر پایه کنترل تغییرات دما در طول فرآیند سرد کردن و گرم کردن اتفاق می افتد و کنترل دما می تواند باعث تغییرات فازی در مواد شده و این تغییرات فازی است که در حقیقت باعث تغییرات در خواص مواد می گردد و در نتیجه آن ویژگیهای مطلوب حاصل می شود[۱]. شوکه کردن یکی از روشهای عملیات حرارتی می باشد که از آن برای بالا بردن سختی فولادها استفاده می شود و مقدار این سختی به تغییرات فازی اتفاق افتاده در طول فرآیند و کنترل آن بستگی خواهد داشت. از سوی دیگر ، با توجه به دمای جسم خصوصیات مواد را پس از فرایند قابل پیش بینی می باشد و در واقع اگر نرخ تغییرات فاز مواد از طریق تاثیرات متقابل حرارتی ، مکانیکی و فازی کنترل شود ترکیب فازی مورد نیاز و خصوصیات قطعه شوکه شده می تواند پیش بینی شود [۱] شوکه کردن در گذشته به عنوان یکی از شناخته شده ترین روشهای عملیات حرارتی همواره مورد استفاده قرار گرفته است و در حال حاضر هم بصورت یک موضوع مهم علمی و کاربردی در صنعت شناخته می شود. و تحقیقات گسترده ای روی این فرآیند مهم در عملیات حرارتی انجام شده که از جمله آن تاثیر عناصر مختلف بر فرایند می باشد [۶-۱] . در این مقاله کربن و منگنز به عنوان عناصر تاثیرگذار در عملیات حرارتی فولاد ۱۰۵۰ مورد بررسی قرار گرفته است. عملیات حرارتی فولادها با حضور کربن و منگنز و بررسی تاثیر آنها به خاطر اهمیت آنها در فرایندهای دیگر مثل جوشکاری نیز از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. جهت مدلسازی تاثیر عناصر بر فولادها روشهای آزمایشگاهی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. معمولا به خاطر شرایط دشوار در عملیات شوکه کردن، مدلهای عددی حاصل از شوکه کردن به عنوان ابزاری برای طراحی و توسعه قطعات بوده اند[۶]. اما مدلهای تحلیلی به عنوان ابزارهای قابل اعتمادتر و پیشرفته تر در منابع مختلف بررسی شده است[۳،۵].

در این مقاله پس از معرفی فولاد ۱۰۵۰ طبق استانداردهای بین المللی ، نخست تاثیر کربن بر روی فولاد ۱۰۵۰ مدلسازی شده و سپس تاثیر عنصر منگنز با استفاده از نرم افزار بررسی شده و نتایج تاثیرات هر دو عنصر با نمودارهای تجربی موجود مقایسه می گردد.

۲- مشخصات فولاد ۱۰۵۰ و روش بررسی

به منظور شبیه سازی و بررسی رفتار کربن و منگنز در عملیات حرارتی ، از فولاد ۱۰۵۰ استفاده شده است. فولاد ۱۰۵۰ طبق استاندارد آمریکایی SAE و AISI با ۴ رقم نشان داده می شود. که در آن ، رقم اول نشانگر گروه فولاد و رقم دوم معمولا اطلاعات اضافی در باره فولاد را در اختیار ما قرار می دهد. برای فولاد ۱۰۵۰ ، عدد ۱ نشانگر گروه آن ، یعنی فولاد کربنی ساده می باشد و عدد صفر نشانگر این است که فولاد مذکور فولاد زیمنس- مارتین می باشد. جدول ۱ مشخصات عملیات حرارتی فولاد ۱۰۵۰ را نشان می دهد[۷].

جدول ۱ مشخصات عملیات حرارتی فولاد ۱۰۵۰ طبق استاندارد

Heater treatment	Min	Max
Hot working (℃)	850	1100
Soft annealing (℃)	650	700
Hardness Brinell soft annealing(HB 30)	217 Max	-
Normalizing (℃)	830	870
Hardening temperature for quenching in water (℃)	810	850
Oil (℃)	810	850
Temper (℃)	550	660
Hardened strip (Max -2 mm) (HV 30)	600	600

این فولاد ها در زمره فولادهای قابل عملیات حرارتی می باشند و برای قطعات مربوط به موتور و صنایع خودرو سازی و به طور کلی برای اجزاء ماشین های مختلف مهندسی و سازه ها کاربرد دارند.

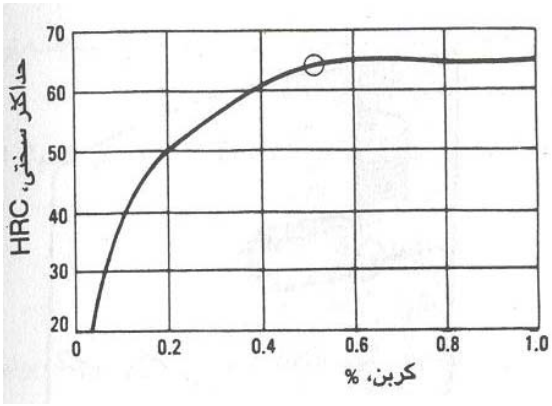
هدف اصلی این مقاله در حقیقت شبیه سازی و بررسی تاثیر دو عنصر کربن و منگنز بر سختی فولاد ۱۰۵۰ می باشد. بدین منظور از نرم افزارAC3 که به عنوان یک ابزار ساده و در عین حال قوی و کاربردی می باشد [۶ و ۱] در مدلسازی و تحلیل عملیات حرارتی استفاده شده است و نتایج حاصل از شبیه سازی

ها با نمودار های تجربی حاصل از مطالعات تاثیر دو عنصر کربن و منگنز و آثار آن بر سختی فولاد ۱۰۵۰ مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمونه های انتخاب شده در مدلسازی به صورت قطعات گرد و تو پر با قطر ۱۰۰ میلی متر بوده است و به منظور عملیات حرارتی کوئنچینگ ، فولاد ۱۰۵۰ تا دمای آستنیت (۸۳۰ درجه سانتیگراد) حرارت داده و بعد در آب سرد شده است.

۳- تاثیر تغییرات کربن در عملیات حرارتی فولاد ۱۰۵۰

کربن نقشی اساسی در افزایش سختی فولادها را دارا می باشد به نحوی که می توان گفت که مقدار کربن فولاد ، سختی و قابلیت سختی پذیری آن را مشخص می کند. نمودار شکل ۱ تاثیر درصد کربن روی سختی فولاد ۱۰۵۰ در مطالعات عملی را نشان می دهد[۹]. همانطور که در شکل ۱ مشخص است با افزایش درصد کربن تا ۰,۶ درصد ، سختی افزایش چشم گیری را نشان می دهد.

تاثیر درصد کربن بر سختی فولاد ۱۰۵۰ با استفاده از نرم افزار AC3شبیه سازی شده و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است با توجه به نتایج شبیه سازی که جدول ۲ نشان داده شده است ، افزایش درصد کربن باعث افزایش سختی هم در سطح و هم در عمق شده است.

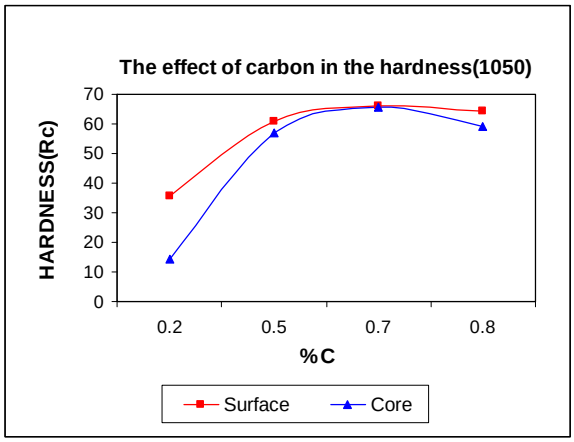


شکل ۱ تاثیر تجربی افزایش درصدکربن بر سختی فولاد ۱۰۵۰ [۹].

جدول ۲ نتایج شبیه سازی کوئنچینگ فولاد ۱۰۵۰ در شرایط استاندارد را نشان می دهد همانطور که در جدول مشخص است ، تغییرات مقدار کربن یکی از مهمترین مولفه های شبیه سازی می باشد که در آن بررسی آثار تغییر درصد کربن فولاد ۱۰۵۰ از ۰,۲ درصد تا ۰,۷ و نتایج کوئنچینگ برای سختی سطحی ، سختی در عمق و درصد فازهای باینیت ، مارتنزیت ، پرلیت و فریت مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج منعکس شده در جدول ۲ ، با افزایش درصد کربن در فولاد ۱۰۵۰ سختی در سطح و عمق و همچنین درصد مارتنزیت افزایش یافته است ، در این میان ، تغییرات مقدار مارتنزیت در ساختار که از عوامل ایجاد سختی می باشد قابل ملاحظه است و به صورت خطی با افزایش درصد کربن ، درصد مارتنزیت هم افزایش می یابد (تا ۰,۷ درصد کربن). سختی مارتنزیت ابتدا با ازدیاد کربن به شدت افزایش می یابد و برای فولاد یوتکتوئیدی به حدود ۶۵ راکول C می رسد اما با افزایش مقدار کربن و در اثر ایجاد آستنیت باقیمانده ، سختی می تواند تا حدود ۱۰ واحد راکول کاهش یابد. همان طوریکه در گراف بدست آمده از نتایج نرم افزار (شکل ۲) مشاهده می شود افزایش سختی با افزایش کربن تا حدود ۰,۷ درصد با شیب تندی بوده و بعد از آن بسته به شرایط تا ۱۰ درصد کاهش هم یافته است.

جدول ۲ نتایج بدست آمده از تاثیرات کربن بر سختی فولاد ۱۰۵۰

%C	سختی در سطح (RC)	سختی در عمق(RC)	%M	%B	%P	%F
۰,۲	۳۵,۸	۱۴,۳	۱۴,۵	۱۷,۵	۱۰	۵۷,۵
۰,۵	۶۰,۸	۵۶,۹	۸۷	۲۹	۵,۷	–
۰,۷	۶۶	۶۵,۸	۹۷	–	–	–
۰,۸	۶۴,۵	۵۹,۱	۶۵,۷۵	–	۲۷,۵	–

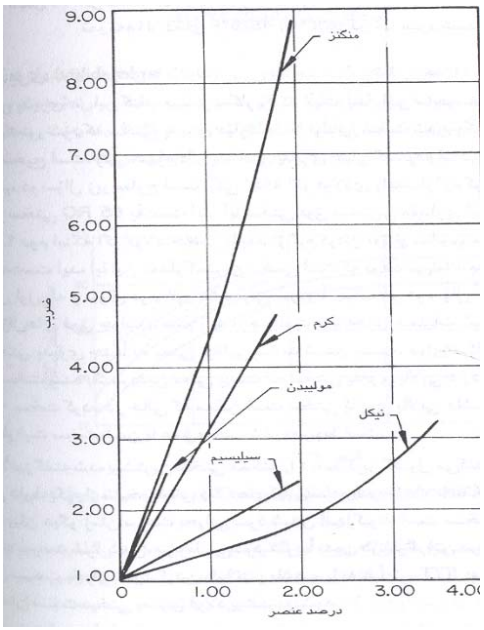


شکل ۲ نتایج حاصل از رفتار سختی فولاد ۱۰۵۰ (Rc) در عمق و سطح با تغییرات درصد کربن حاصل از شبیه سازی

۴- تاثیر تغییرات منگنز در عملیات حرارتی فولاد ۱۰۵۰

عناصر آلیاژی در تولید فولادها با خواص متفاوت نقش بسیار مهمی دارند و می توان با انتخاب عناصر آلیاژی مختلف خواص بهتری از فولاد را ارائه داد بنابراین دلیل اصلی اضافه کردن عناصر آلیاژی به فولاد بهبود خواص مکانیکی و سختی پذیری آن می باشد. در عملیات حرارتی فولادها این خطر وجود دارد که در نتیجه رشد زیاد دانه ها در موقع حرارت دادن در منطقه آستنیت ، رشد نا مطلوب دانه ها صورت گیرد چراکه با افزودن مقداری از عناصر آلیاژی که در فولادها کاربیدها را تشکیل می دهند ، اغلب تبدیل آستنیت به تاخیر می افتد و از طرفی از رشد دانه های آستنیت هم جلوگیری خواهد شد. بدین ترتیب منحنی های تبدیل به طرف راست یعنی زمانهای طولانی تر انتقال می یابد. هم چنین با افزودن عناصر آلیاژی می توان منحنی ها را به سمت بالا و پایین انتقال داد و نقطه شروع فاز مارتنزیت می تواند به دمای پایین تر از درجه حرارت معمولی انتقال یابد.

منگنز عنصری است که به عنوان اکسیژن زدا به کار می رود ، این عنصر با گوگرد تولید سولفید منگنز می کند و بدین وسیله تاثیر نامناسب سولفور آهن و تردی حاصل از آن را کاهش می دهد. این عنصر اهمیت خاصی در فولاد خوش تراش دارد خطر شکست قرمز را کاهش داده و در دیاگرام فولاد خطوط AC3 و AC1 را پایین می آورد. سرعت سرد کردن بحرانی را شدیدا کاهش داده و بدین ترتیب سختی را افزایش می دهد. در فولاد ها با حضور منگنز حد تسلیم و استحکام افزایش می یابد. شکل ۳ تاثیر عناصر آلیاژی در ضریب سختی پذیری فولاد ها را نشان می دهد مطابق شکل ۲ اگر درصد عناصر آلیاژی یک فولاد مشخص باشد می توان سختی پذیری آن را تحت عنوان قطر ایده آل محاسبه کرد. قطر ایده آل قطری است که در مرکز آن ۵۰ درصد مارتنزیت تشکیل شود که محاسبات آن پیچیده است اما بطورکلی افزایش ضرایب بیانگر افزایش سختی در دایره فوق الذکر می باشد[۹].



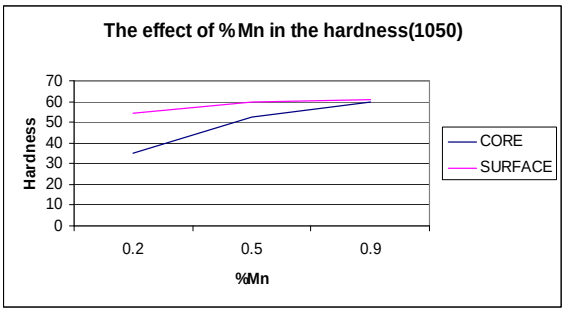
شکل ۳ تاثیر تجربی افزایش درصد عناصر مختلف بر سختی فولاد ۱۰۵۰[9].

جدول ۳ نتیجه بررسی تاثیر مقدار منگنز در عملیات حرارتی و سختی پذیری فولاد ۱۰۵۰ با استفاده از نرم افزار AC3 را نشان می دهد. در این جدول تغییرات سختی در سطح و عمق نسبت به تغییرات درصد عنصر منگنز از ۰,۲ تا ۰,۹ نشان داده شده است. همانطورکه در جدول ۳ مشخص است با افزایش درصد منگنز سختی در سطح و مغز نمونه ها و همچنین درصد مارتنزیت افزایش داشته است و از سوی دیگر مطابق انتظار درصد باینیت و پرلیت کاهش داشته است.

جدول۳ نتایج بدست آمده از تاثیرات منگنز بر سختی فولاد ۱۰۵۰

%Mn	سختی در سطح (RC)	سختی در عمق(RC)	%M	%B	%P	%F
۰,۲	۵۴,۳	۳۴,۹	۴۰	۵	۵۲	-
۰,۵	۶۰	۵۲,۶	۷۵	-	۲۴	-
۰,۹	۶۰,۷	۵۹,۹	۹۹	۱	-	-

شکل ۴ رابطه بین افزایش منگنز و سختی در شبیه سازی عملیات حرارتی فولاد ۱۰۵۰ (شوکه شده در آب) در مرکز و سطح را نشان می دهد با توجه به رفتار سختی در سطح و مغز نمونه ها ، افزایش سختی با افزایش منگنز تایید شده است.



شکل ۴ نمودار تاثیر عنصر منگنز بر سختی فولاد ۱۰۵۰(Rc) حاصل از شبیه سازی

۶- نتیجه گیری

در این مقاله تاثیر عناصر کربن و منگنز بر عملیات حرارتی فولاد ۱۰۵۰ به وسیله نرم افزار AC3 شبیه سازی و نمودارهای حاصل از آن با نتایج عملی بررسی و مقایسه گردید. نتایج حاصله نشان می دهند که اولاً با افزایش درصد عنصر کربن و منگنز مقدار سختی افزایش می یابد که در مورد کربن این افزایش تا ۰,۸ درصد اتفاق می افتد و پس از آن سیر نزولی می یابد اما برای منگنز افزایش با یک نمودار غیر خطی می باشد و ثانیا اینکه دقت نتایج شبیه سازی شده کاملا قابل قبول می باشد و بررسی تاثیر عناصر بدین روش می تواند در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار بگیرد.

۷- مراجع

[1] P.R.woodard, S .chandrasekar, H.T.Y.Yang, "Analaysis of temperature and microstructure in the quenching of steel cylinders",Metallurgical and materials transactions, Vol. B ,No.815 ,1992.
[2] M.Sedighi, C.A.Mc.nahon, "the influence of quenchant agitation on the heat transfer coefficient and residual stress development in the quenching of steels", journal of engineering manufacture, vol. part B,No.214, 2000, pp. 555-567.
[3] B.Aksel, "A study of quenching: experiment and modeling" , J.Eng. industry ASME ,Vol.3,No114, 1992, PP. 309-316.
[4] E. Bates, "Handbook of quenchants and quenching technology", ASM international ,1993, p.70.
[5] J.Mackerle, "Finite element analysis and modeling of quenching and other heat treatment process A bibliography (1976-2001)", journal of computational material science, vol,No.27, 2003, pp. 313-332.
[6] M.Sedighi ,M.Salek. , "modeling and experimental study of quenching process for AISI 4340 aeronutrical steel under different cooling condition". Iran university of science and technology. Tehran. Iran
[7] AC3 Heat treatment software operating manual, Marathon monitors inc . ohio (1994)
[8] J.R. Davis , Metals handbook: ASM international, 1990, PP 197-199
[9] E.Boyer Howard,"experimental heat treatment",1979