



تأثیر عملیات حرارتی بر روی کیفیت سطح و تolerانس‌های ابعادی اسپول شیر هیدرولیک

سعید امینی^{۱*}، سجاد عباس زاده^۲

۱- دانشیار، مهندسی مکانیک گروه ساخت و تولید، دانشگاه کاشان، کاشان
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، دانشگاه کاشان، کاشان
*kashan@kashanu.ac.ir ۸۷۳۱۷۵۱۱۶۷

چکیده

در صنعت هیدرولیک، شیرهای هیدرولیک از اهمیت بسزای برخوردار هستند. اسپول یکی از مهمترین بخش‌های شیر هیدرولیک است که بدلیل عملکرد خود تعریف کننده راندمان و کارایی شیر می‌باشد. اسپول شیر هیدرولیک با حرکت خود درون شیر هیدرولیک مسیر حرکت سیال هیدرولیک را تغییر می‌دهد. از این نظر تolerانس‌های ابعادی و کیفیت سطح پارامترهای مهم بر روی کارایی اسپول شیر هیدرولیک می‌باشند. اسپول شیر هیدرولیک پس از ماشین‌کاری برای بدست آوردن سختی مورد نظر و همچنین آماده‌سازی برای عملیات سنگ‌زنی و رسیدن به تolerانس دقیق نیاز به عملیات حرارتی دارد. در این پژوهش اسپول‌های شیر هیدرولیک ابتدا با روش ماشین‌کاری به ابعاد مناسب و یکسان رسیده، سپس هر کدام جداگانه توسط عملیات حرارتی خاص مورد سخت‌کاری قرار گرفته و سپس اعوجاج ایجاد شده در اثر عملیات حرارتی بر روی اسپول و همچنین کیفیت سطح اسپول پس از سنگ‌زنی اندازه‌گیری و مقایسه شده است.
کلید واژگان: اسپول، اعوجاج، تolerانس ابعادی، کیفیت سطح

Effect of heat treatment on the surface quality and dimensional tolerance of hydraulic valve spool

Saeed Amini, Sajjad Abasszadeh

Department of Mechanical Engineering, University of kashan, Kashan, Iran
*P.O.B. 8731751167, Kashan, Iran, amini.s@kashanu.ac.ir

ABSTRACT

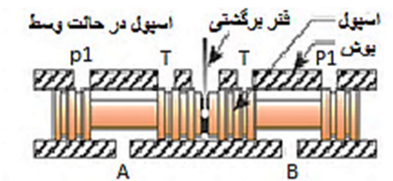
Hydraulic valves have very important role in hydraulic industry. Spool is one of the main parts of these valves which defines the valve efficiency and application by determining the fluid flow. The dimensional tolerance and surface quality of spool are the main effective parameters concerning the valve application. Spool requires heat treatment after machining for achieving the desired level of hardness and getting ready for grinding. In this paper, the hydraulic valves spools have first been machined to reach to the desired dimensions. Then, heat treatment has been performed on them to obtain the appropriate hardness. Finally, the spool distortion induced by heat treatment and its surface quality after grinding has been measured and compared with each other.

Keywords: Dimensional Tolerance, Distortion, Spool, Surface Quality

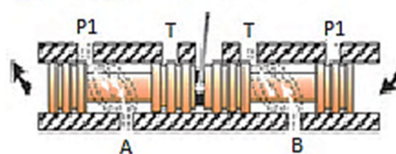
اسپول شیر هیدرولیک بدلیل عملکرد خود نیاز به عملیات حرارتی و سپس سنگ‌زدن برای رسیدن به تolerانس دقیق می‌باشد. در زمینه روش‌های سخت‌کاری بر کیفیت سطح تحقیقات متعددی انجام شده است. در سال ۲۰۱۰ علیرضا امیرخانی و همکاران پژوهشی در مورد تأثیر کربن‌دهی چند مرحله‌ای بر خواص مکانیکی قطعات کربوره شده انجام داده‌اند. در این تحقیق به‌منظور دسترسی به خواص مکانیکی مورد نظر در قطعات کربوره شده، از سیکل‌های عملیات حرارتی سخت‌کاری مستقیم، سخت‌کاری یک مرحله‌ای و سخت‌کاری دو مرحله‌ای استفاده شده است. در این مقاله به تأثیر روش سخت‌کاری دو مرحله‌ای در افزایش استحکام کششی نهایی و استحکام تسلیم و همچنین ریزتر شدن ساختار دانه‌بندی در سطح اشاره شده است [۲].
در سال ۲۰۱۰ سعید زارع و همکاران پژوهشی در مورد تعیین مقدار سختی از چند روش مختلف و مشخص کردن سریع‌ترین و دقیق‌ترین روش کاربردی انجام داده‌اند. در این مقاله به بررسی پارامترهای موثر در عمق سختی در روش سخت‌کاری القایی پرداخته شده است. آن‌ها اشاره کردند که با فرکانس و توان ثابت با کاهش یافتن سرعت عبور قطعه از کویل عمق سخت‌کاری بیشتر می‌شود [۳].

۱- مقدمه

اسپول شیر هیدرولیک یکی از اجزای اصلی شیر هیدرولیک می‌باشد و با حرکت خود درون شیر هیدرولیک باعث تغییر مسیر سیال هیدرولیک می‌باشد. شکل ۱ تغییر مسیر سیال هیدرولیک را بوسیله حرکت اسپول نشان می‌دهد.



حرکت اسپول به سمت چپ



شکل ۱ تغییر مسیر سیال هیدرولیک بوسیله اسپول [۱]

Please cite this article using:

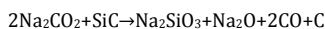
S. Amini, S. Abasszadeh, Effect of heat treatment on the surface quality and dimensional Tolerance of hydraulic valve spool, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 54-58, 2015 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

می‌کند. باید توجه داشت که چنانچه سطح نتواند تمامی کربن را جذب کند این کربن به‌صورت دوده در سطح قطعه نمایان می‌شود. لذا در این صورت باید سرعت ورود گاز و ترکیب شیمیایی آن به طور دقیق کنترل شود. عمق لایه پرکربن را می‌توان بین چند صدم میلی‌متر تا چندین میلی‌متر تغییر داد.

۱-۲-۳- عملیات حرارتی حمام نمک (سخت‌کاری سطحی به‌وسیله غوطه‌وری در محلول نمک)

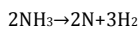
در این فرایند عملیات حرارتی کربن دهی با غوطه‌ور ساختن قطعه فولادی کم کربن در داخل وان حاوی نمک مذاب انجام می‌گیرد. ترکیب شیمیایی این مذاب شامل کربنات سدیم (۷۵-۸۰٪)، نمک طعام (۱۰-۱۵٪) و سیلیسیم کاربید (۶-۱۰٪) است. دمای وان نمک حدود ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان حرارت دهی حدود ۳۰ دقیقه تا ۴ ساعت است. کربن دهی طبق واکنش زیر انجام می‌گیرد.



مزایایی اصلی کربن‌دهی مایع یکی گرم شدن یکنواخت قطعه و دیگری افت قابل توجه وزن قطعه غوطه‌ور شده در محیطی با وزن مخصوص زیاد (نمک) است که سبب کاهش تاب‌برداری قطعه می‌شود. این فرایند عملیات حرارتی برای سخت کردن سطحی قطعات با ابعاد کوچک و متوسط به‌کار می‌رود.

۱-۲-۴- عملیات حرارتی نیترازه (سخت‌کاری سطحی به‌وسیله نیتروژن‌دهی سطحی)

فرایند ازت دهی (نیتروژن‌دهی) به‌عنوان نفوذ دادن ازت یا نیتروژن اتمی در لایه بسیار نازکی از سطح فولاد تعریف می‌شود. ازت‌دهی نوعی از عملیات حرارتی است که برای بالا بردن سختی سطحی فولادهای آلیاژی به‌کار می‌رود. در ازت‌دهی سطح خارجی فولاد توسط ازت اشباع می‌شود. سختی حاصل از ازت‌دهی به تشکیل نیترایدها در فولاد، توسط واکنش ازت با عناصر آلیاژی موجود در فولاد، بستگی دارد. بنابراین در این دما و محیط مناسب تمام فولادهایی که شامل عناصری از قبیل: آلومینیوم، کرم، مولیبدن، تیتانیوم و وانادیوم باشد با ازت تشکیل ترکیبات نیترایدی از نوع AlN ، Cr_2N ، Mo_2N و VN می‌دهند. برای تشکیل این ترکیبات، ازت باید به‌صورت اتم آزاد و نه به‌صورت مولکولی باشد. این فرایند می‌تواند پس از نگاه‌داشتن قطعه برای مدت زمان طولانی در دمای ۴۸۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در محیط حاوی گاز آمونیاک صورت گیرد. بخار آمونیاک طبق واکنش زیر در اثر حرارت دهی به گاز های ازت و هیدروژن تجزیه می‌شود.



تصمیم برای انتخاب نوع روش سخت کردن عمدتاً به جنس قطعه، دمای کربن‌دهی، خواص مطلوب برای کاربرد موردنظر، تکنولوژی فرایند تولید و هزینه‌های تولید بستگی خواهد داشت.

در این پژوهش سعی بر این است که عملیات‌های حرارتی مختلف از نظر تأثیر بر کیفیت سطح و همچنین تفرانس‌های ابعادی اسپول شیر هیدرولیک به جنس فولاد ۱/۷۲۲۵ مقایسه و بررسی شده و همچنین عملیات حرارتی مناسب برای بهینه کردن پارامترهای کیفیت سطح و تفرانس‌های ابعادی بدست آید.

در شکل ۲ تصویر اسپول شیر هیدرولیک نشان داده شده است. مطابق شکل ۲، مراحل ساخت اسپول شیر هیدرولیک شامل ماشین‌کاری اولیه، عملیات حرارتی و سنگ زنی انجام شده است.

در سال ۲۰۱۲ بوگوبوا گاسوا و همکاران در زمینه جنس مناسب برای ساخت اسپول شیر هیدرولیک تحقیقاتی انجام دادند. در این مقاله ساخت اسپول از جنس کامپوزیت و سپس پوشش دهی سطحی به منظور سختی و مقاومت سایشی مورد بررسی قرار گرفته شده است [۴].

در سال ۲۰۱۱ ین یانگ و همکاران پژوهشی در مورد تأثیر عملیات حرارتی بر روی میکرو ساختار و تنش پسماند بر روی آلیاژ TI-AL پرداختند. در این مقاله به بررسی نقش عملیات حرارتی آنیلینگ بر تنش گیری پرداخته شده است [۵].

با توجه به تحقیقات انجام شده بررسی روش‌های عملیات حرارتی بر روی شرایط سطحی اسپول شیر هیدرولیک هنوز جای کار دارد، لذا در این پژوهش تأثیر عملیات‌های حرارتی مختلف بر روی کیفیت سطح اسپول پس از سنگ‌زنی و همچنین اعوجاج ایجاد شده در حین عملیات حرارتی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است. عملیات های حرارتی مورد استفاده در این پژوهش به دو دسته کلی عملیات حرارتی حجمی و سطحی تقسیم می‌شوند.

۱-۱- عملیات حرارتی حجمی

در این روش قطعه به‌صورت مستقیم در معرض حرارت قرار گرفته و به دمای آستنیت رسیده و سپس با توجه به سختی موردنظر در یکی از محیط‌های خنک کاری سرد می‌شود. در این روش کل سطح قطعه کار سخت می‌شود و به‌همین علت این روش به سخت‌کاری حجمی مرسوم می‌باشد.

۱-۲-۲- عملیات حرارتی سطحی: که شامل عملیات حرارت‌های زیر می‌باشد:

۱-۲-۲-۱- عملیات حرارتی کربوره (کربن‌دهی سطحی به روش جامد)

در کربن‌دهی جامد قطعه فولادی کم کربن را درون یک جعبه فولادی مقاوم حرارتی قرار داده و اطراف قطعه را با یک ترکیب کربن‌زا مانند ترکیباتی از زغال چوب (۱-۳٪) و مواد انرژی‌زای دیگر نظیر کربنات باریم (۱۰-۱۸٪) کربنات سدیم (تا ۱۰٪) کاملاً پر می‌کنند، سپس درب جعبه را بسته و لبه‌های جعبه را با خاک نسوز یا موادی از این قبیل برای جلوگیری نفوذ هوا به درون آن و یا همچنین خارج شدن گاز ایجاد شده از داخل به خارج کاملاً مسدود می‌کنند. سپس جعبه را در کوره قرار داده و در دمایی حدود ۸۰۰-۹۵۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت معین (این مدت به دما و عمق نفوذ یا ضخامت لایه سخت شده مورد نظر بستگی دارد) حرارت می‌دهند. در این عملیات ماده کربن‌زا ابتدا گاز منواکسید کربن (CO) تولید می‌کند که در دمای عملیات، ناپایدار بوده و هنگام تماس با سطح فولاد نفوذ می‌کند. به دنبال فعل و انفعالات نفوذ، کربن به داخل لایه خارجی قطعه‌ای که در دمای بالا آستنیتی شده، نفوذ کرده و حل می‌شود. بدین ترتیب در حالی که داخل قطعه فولاد کم‌کربن است مقدار کربن در لایه خارجی قطعه افزایش می‌یابد [۶].

۱-۲-۲-۲- عملیات حرارتی گازی (سخت‌کاری سطحی با استفاده از گاز اندوترمیک و اتمسفر کنترل شده)

در کربن‌دهی گازی قطعه فولادی مورد نظر را در کوره‌ای قرار داده و گازهایی از قبیل متان، پروپان، بوتان یا گاز خنثی را به عنوان هیدروکربورهای کربن‌زا وارد کوره می‌کنند. زمان کربن‌دهی به دمای کوره و عمق کربن‌دهی مورد نظر بستگی دارد. از این فرایند بیشتر در تولید انبوه استفاده می‌شود. عموماً کربن موجود در سطح قطعه برحسب زمان کربن‌دهی بین ۰/۷ تا ۱/۲ درصد تغییر

در حین عملیات حرارتی مورد مقایسه و اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. اعوجاج عبارت است از میزان خروج از مرکزی شافت در امتداد طولی که اندازه‌گیری آن در فواصل مشخصی از طول و در یک موقعیت مکانی مشخصی از نظر چرخش در طی ۳۶۰ درجه انجام می‌شود.

در این مرحله ۱۲ عدد اسپول به روش عملیات حرارتی گازی به صورت دوتایی مورد سختی‌های مختلف قرار گرفته و اعوجاج ایجاد شده در حین عملیات حرارتی اندازه‌گیری شده است.

شکل ۳ نحوه ای اندازه‌گیری اعوجاج ایجاد شده بر اثر عملیات حرارتی بر روی اسپول‌های شیر هیدرولیک را نشان می‌دهد.

روش ماشین‌کاری اسپول شیر هیدرولیک به صورت دو مرگک در دستگاه تراش انجام گردیده است. ازین‌رو برای تست اعوجاج نیز اسپول شیر هیدرولیک بین مرگک ثابت و مرگک متغیر قرار گرفته و ساعت اندازه‌گیری همانند شکل بر روی قطر اسپول مماس می‌شود. حال اسپول مورد دوران قرار گرفته و اعوجاج ایجادی در قطر اسپول توسط ساعت اندازه‌گیری بدست می‌آید.

لازم به ذکر می‌باشد که مرگک‌های دستگاه تراش قبل از آزمایش مورد تست هم محوری قرار گرفته و از صحت آزمایش اطمینان حاصل شده است. روش انجام تست هم محوری مرگک ثابت و متحرک بدین گونه انجام شد که مرگک ثابت پس از قرار گرفتن در گلوبی دستگاه تراش مورد مخروط تراشی قرار گرفته تا از هم محوری آن با گلوبی دستگاه اطمینان کامل حاصل شود. در ابتدا میله فولادی بصورت یک مرحله و بدون باز شدن تحت عملیات روتراشی و سوراخ‌کاری قرار گرفت و سپس بین مرگک ثابت و متحرک همانند اسپول شیر هیدرولیک بسته شد، سپس ساعت اندازه‌گیر را روی سوپرت دستگاه ثابت کرده و روی طول بدنه میله فولادی حرکت داده، بوسیله حرکت کشوی مرگک متحرک اختلاف دو سر میله فولادی که بر روی ساعت اندازه‌گیر نشان داده می‌شود، مورد جبران قرار گرفت و دوباره ساعت اندازه‌گیر را روی طول میله حرکت دادیم ان قدر این عمل تکرار می‌شود تا به‌طور کامل از هم محور بودن مرگک ثابت و متحرک اطمینان حاصل شود.

شکل ۴ میزان اعوجاج بر حسب سختی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود هرچه اسپول‌های شیر هیدرولیک توسط عملیات حرارتی به سختی بالاتری رسیده باشند اعوجاج ایجاد شده در آنها نیز بیشتر می‌شود و این بدلیل شیب حرارتی بیشتر در سختی‌های بالا برای سرد کردن قطعه می‌باشد که به همین علت اسپول‌های شیر هیدرولیک در سختی‌های بالا اعوجاج بیشتری نسبت به اسپول‌های شیر هیدرولیک پس از رسیدن به سختی‌های پایین دارند.



شکل ۳ اندازه‌گیری اعوجاج به روش دو مرگک و با استفاده از ساعت اندازه‌گیر با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر



شکل ۲ تصویر اسپول شیر هیدرولیک

۲- مواد و وسایل آزمایش

برای اندازه‌گیری اعوجاج ایجاد شده در اثر عملیات حرارتی بر روی اسپول شیر هیدرولیک از ساعت اندازه‌گیری با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده شده است، در شکل ۳ تصویر ساعت اندازه‌گیر در حین کنترل اعوجاج نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری کیفیت سطح اسپول پس از سنگ‌زنی از زبری‌سنج دیجیتال با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۰۱ Ra استفاده شده است که در شکل ۶ تصویر زبری‌سنج دیجیتال در حین اندازه‌گیری کیفیت سطح اسپول نشان داده شده است.

۳- انجام آزمایش

جنس اسپول‌ها از فولاد سخت‌کاری شونده سطحی ۱/۷۲۲۵ انتخاب شده است، علت انتخاب این جنس برای اسپول شیر هیدرولیک قابلیت سخت‌کاری سطحی این فولاد می‌باشد. ابتدا فولاد موردنظر برای ماشین‌کاری اسپول شیر هیدرولیک تهیه گردیده و سپس مورد آزمایش کوانتومتری قرار گرفته تا از تهیه فولاد ۱/۷۲۲۵ اطمینان حاصل شود. در جدول ۱ مقادیر عناصر آزمایش کوانتومتری فولاد مورد آزمایش نشان داده شده است.

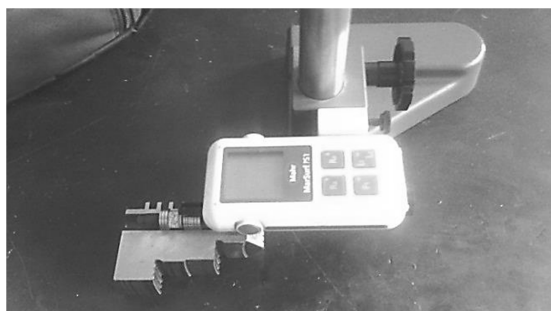
همان‌طور که از جدول ۱ مشاهده می‌شود با توجه به درصد عناصر می‌توان گفت فولاد خریداری شده برای ماشین‌کاری اسپول‌های شیر هیدرولیک فولاد ۱/۷۲۲۵ می‌باشد. پس از انجام عملیات حرارتی مختلف و انجام عملیات سنگ‌زنی، اندازه‌گیری‌های زیر بر روی اسپول‌ها انجام شد.

۳-۱- کنترل اعوجاج ایجاد شده

اسپول‌های شیر هیدرولیک پس از عملیات حرارتی از نظر اعوجاج ایجاد شده

جدول ۱ نتایج کوانتومتری فولاد مورد آزمایش

عنصر	درصد	عنصر	درصد
Fe	rem	Ni	۰/۰۰۳
C	۰/۳۹۸	Ti	۰/۰۰۱
P	۰/۰۱۶	V	۰/۰۰۳
S	۰/۰۱	W	۰/۰۱۰
Si	۰/۰۲۴	Pb	۰/۰۰۳
Mn	۰/۸۲	Sn	۰/۰۱۲
Cr	۱/۰۱	As	۰/۰۰۸
Mo	۰/۱۹۷	Bi	۰/۰۰۲
Ni	۰/۰۵۵	Ca	۰/۰۰۲
Al	۰/۰۳۶	B	۰/۰۰۱
Co	۰/۰۱	Zr	۰/۰۰۲
Cu	۰/۰۴۱	Sr	-



شکل ۶ نحوه اندازه‌گیری کیفیت سطح اسپول پس از عملیات سنگ‌زنی

پس از عملیات سنگ‌زنی اسپول‌های شیر هیدرولیک همانند شکل مورد اندازه‌گیری کیفیت سطح با دستگاه زبری سنخ دیجیتال با دقت $0.001Ra$ شده‌اند. اندازه‌گیری کیفیت سطح هر اسپول در سه نقطه مختلف از سطح اسپول صورت گرفته و با متوسط‌گیری کیفیت سطح اسپول شیر هیدرولیک بدست آمده است. شکل ۷ نمودار تاثیر سختی بر روی کیفیت سطح اسپول شیر هیدرولیک را نشان می‌دهد.

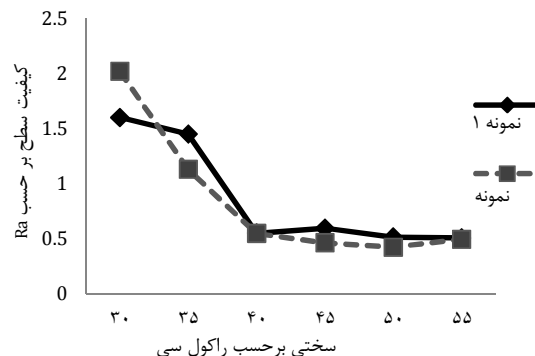
همان‌طور که از شکل ۷ مشاهده می‌گردد با افزایش سختی کیفیت سطح اسپول پس از سنگ‌زنی بهتر می‌شود. در حین سنگ‌زنی دانه‌های ساییده سنگ سنباده پس از کند شدن کنده می‌شوند و جای خود را به دانه‌های تیزتر می‌دهند، در حین کنده شدن به سطح اسپول برخورد کرده و هرچه سطح اسپول دارای سختی کمتری باشد، زبری سطح را بیشتر می‌کند [۷].

همان‌طور که قبلاً اشاره شد عملیات‌های حرارتی برای هر عملیات ۲ نمونه اسپول شیر هیدرولیک سخت‌کاری شده که در نمودارهای مربوطه نیز نمونه ۱ و نمونه ۲ مشاهده می‌شود. در شکل ۶، به مقایسه روش‌های عملیات حرارتی مختلف بر روی کیفیت سطح اسپول شیر هیدرولیک پس از سنگ‌زنی پرداخته شده است.

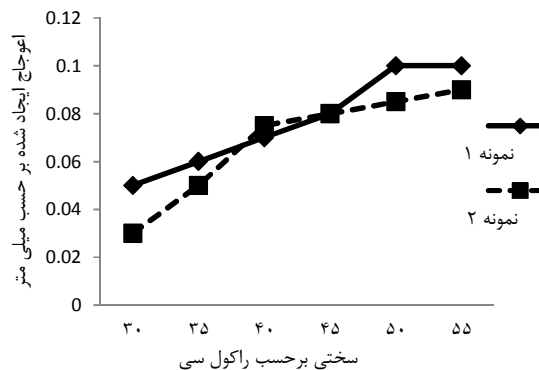
مطابق شکل ۶، اثر قابل ملاحظه‌ای از تاثیر عملیات حرارتی مختلف بر روی کیفیت سطح مشاهده نمی‌شود و می‌توان گفت که بیشترین تاثیر را سختی بر کیفیت سطح قطعه کار دارد و پارامترهای دیگر در سنگ‌زنی با شرایط یکسان تاثیر کمی دارند. لازم به ذکر است که تمامی اسپول‌ها به سختی ۵۵ راکول‌سی رسیده‌اند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله بررسی روش‌های عملیات حرارتی مختلف بر روی سنگ‌زنی اسپول شیر هیدرولیک انجام شد. با انجام آزمایش‌ها نمودارهای اعوجاج و کیفیت سطح استخراج شد. با توجه به نمودارها و اندازه‌گیری‌های صورت



شکل ۷ تاثیر سختی بر کیفیت سطح اسپول شیر هیدرولیک پس از عملیات سنگ‌زنی



شکل ۸ اعوجاج ایجاد شده بر حسب سختی پس از عملیات حرارتی

در حین سخت کردن اسپول‌های شیر هیدرولیک هرچه سختی بالاتری مورد نظر باشد اسپول پس از رسیدن به دمای آستنیت با سرعت بالاتری مورد سرد شدن قرار می‌گیرد (بستگی به محیط خنک کننده) ازین رو اسپول‌های با سختی بالا در حین سرد کردن اعوجاج بیشتری نسبت به اسپول‌های با سختی کمتر را تجربه می‌کنند [۶].

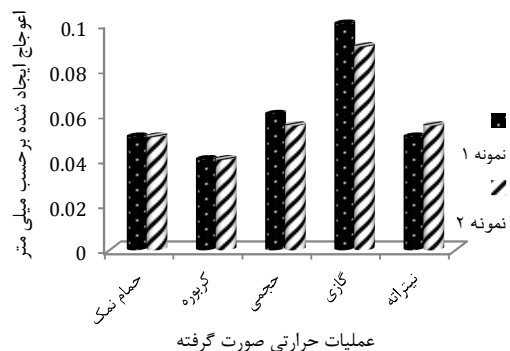
شکل ۵، مقایسه‌ای بین اعوجاج ایجاد شده در اثر عملیات‌های حرارتی مختلف را نشان می‌دهد.

هر عملیات حرارتی بر روی دو اسپول با ابعاد و جنس یکسان صورت گرفته است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود روش عملیات حرارتی گازی بیشترین اعوجاج را بر اسپول شیر هیدرولیک ایجاد می‌کند. یکی از معایب این فرایند کربن‌دهی تاب برداری یا به عبارتی کج و معوج شدن قطعه به سبب نگاه‌داشتن آن برای مدت طولانی در دماهای نسبتاً بالا است. همچنین کمترین اعوجاج مربوط به روش عملیات حرارتی کربوره و همچنین روش حمام نمک می‌باشد که علت آن گرم شدن یکنواخت قطعه می‌باشد.

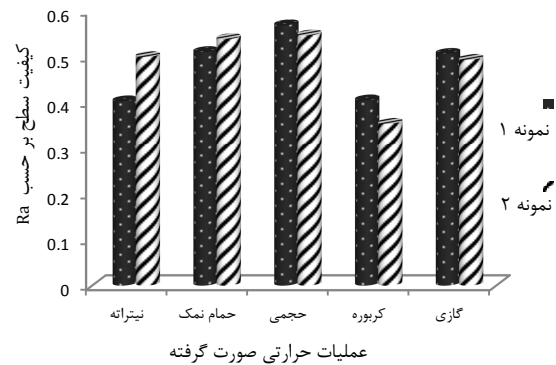
۳-۲- کنترل کیفیت سطح

در عملیات سنگ‌زنی سختی قطعات بر روی کیفیت سطح نهایی تاثیر دارد ازین رو اسپول‌های هیدرولیک با استفاده از عملیات حرارتی به سختی‌های متفاوت رسیده و پس از سنگ‌زنی با شرایط یکسان از نظر کیفیت سطح با هم مقایسه شده‌اند.

شکل ۶ نحوه‌ی اندازه‌گیری کیفیت سطح اسپول‌های شیر هیدرولیک را پس از عملیات سنگ‌زنی نشان می‌دهد.



شکل ۹ مقایسه روش‌های عملیات حرارتی مختلف بر اعوجاج ایجاد شده بر روی اسپول شیر هیدرولیک. (سختی نمونه‌ها ۵۵ راکول سی می‌باشد.)



شکل ۸ تأثیر عملیات‌های حرارتی مختلف بر روی کیفیت سطح اسپول پس از سنگ‌زنی

گرفته به این نتیجه می‌توان رسید که از بین روش‌های سخت‌کاری مورد انتخاب در این پژوهش برای سخت‌کاری اسپول شیر هیدرولیک روش کربوره و همچنین روش حمام نمک از لحاظ اعوجاج ایجاد در اسپول کمترین مقدار را دارد. در مورد تأثیر روش سخت‌کاری بر کیفیت سطح اسپول شیر هیدرولیک پس از سنگ‌زدن می‌توان گفت روش سخت‌کاری تأثیر چندانی در کیفیت سطح ندارد و بیشترین عامل تأثیرگذار در این مورد سختی قطعه-کار پس از عملیات حرارتی می‌باشد. با توجه به جمع‌بندی می‌توان گفت بهترین روش سخت‌کاری برای اسپول شیر هیدرولیک روش سخت‌کاری کربوره می‌باشد.

۵- مراجع

- [1] MOGO, *Industrial controls division*, www.MOGO.com
- [2] A. Amirkhani Najafabadi, M. Kashefi, *Materials and Metallurgical Engineering Department, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran, 2010*. (In Persian)
- [3] S. Zare, M. Kadkhoda, M. Kashfi, *Materials and Metallurgical Engineering Department, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran, 2010*. (In Persian)
- [4] B. Gaceva, N. Herakovic, *New Materials for Production of Advanced Pneumatic and Hydraulic Valves*, August 6-8, 2012.
- [5] Ying Yang, Shengsheng Zhao, Jun Gong, Xin Jiang and Chao Sun, *Effect of heat treatment on the microstructure and residual stresses in (Ti-AL)N films*, *Journal of Materials Science & Technology*, 2011, 27(5), 385-392.
- [6] H. Toysserkani, *Principles of materials science*, pp 302-309, Isfahan, Isfahan University of Technology, 2009. (In Persian)
- [7] AR. Omiddodman, H. Hassanpour, M. Hoseinsadaghi, A. Rasti, MH. Saadatbakhsh, *Department of Mechanical Engineering, Modares Mechanical Engineering*, 2014. (In Persian)