



بررسی و تعیین عمق سخت شده از چند روش مختلف و مشخص کردن سریع ترین و دقیق ترین روش کاربردی

سعید زارع^۱، مصطفی کدخدا^۲، مهرداد کاشفی^۳

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد

چکیده

بررسی و تعیین عمق سخت شده از چند روش مختلف و مشخص کردن سریع ترین و دقیق ترین روش کاربردی در این پژوهش ما سعی کردیم که روش های مختلف سختی سنجی را بطور کامل بررسی کرده و این روش ها را با یک دیگر مقایسه نمایم. در این راه ما به منظور انجام آزمایشات مان از ۶ نمونه که بصورت القایی و در سرعت های (۷.۵ و ۸.۵ و ۹.۵ و ۱۰.۵ و ۱۱ و ۱۲ متر بر ثانیه) سخت شده اند استفاده کردیم و پس از انجام آزمایشات میکرو سختی و نیز انجام روش های مختلف دیگر برای تعیین عمق سخت شده با رسم نمودار میکرو سختی و بدست آوردن عمق سختی کل و موثر از سایر روش ها عمق سخت شده را مشخص کرده و سریع ترین و دقیق ترین روش کاربردی مشخص کردیم.

۱- دانشجوی کارشناسی

۲- دانشجوی کارشناسی

۲- استاد یار

بررسی و تحلیل عمق سخت شده در سخت کاری القايي از چند روش مختلف و تعیین روشي سريع و قابل اطمینان برای تعیین عمق سخت شده موثر

سعید زارع^۱، مصطفي كدخدا^۲، مهرداد كاشفي^۳
دانشگاه فردوسي مشهد، دانشكده مهندسي، گروه مهندسي مواد.

چکیده

سخت کاری القايي يکي از فرايند هاي سخت کاری سطحي است که هدف از انجام ان افزايش مقاومت قطعه در برابر سايش و ارائه چقرمگي مناسب در هسته غير سخت ان است که در صنايع خودرو و نيز توليد محورها کاربرد فراواني دارد. تعیین عمق سخت شده موثر (Effective Case Depth) و نيز عمق سخت شده کل (Total Case Depth) چه در مرحله فراوري و چه در مرحله کنترل کيفيت از اهميت ويژه اي برخوردار است. در اين تحقيق سعي شده است که روش هاي گوناگون تعیین عمق سخت شده با يکديگر مقايسه شده و رابطه اي بين عمق سخت شده کل و عمق سخت شده موثر بدست آيد به گونه اي که با تعیین عمق سخت شده کل بتوان عمق سخت شده موثر را با يك تخمين قابل اطمینان بدست آورد. نتيجه بدست آمده نشان ميدهد که اين دو سختي با يکديگر رابطه داشته و ميتوان با اعمال يك ضريب مناسب به اين مهم دست يافت .

واژه هاي کليدي: سخت کاری القايي، عمق سخت شده کل، سختي سنجي، عمق سخت شده موثر.

1- دانشجوي کارشناسي . s.zare89@gmail.com

2- دانشجوي کارشناسي

2- استاد يار گروه مهندسي مواد دانشگاه فردوسي مشهد

مقدمه

سخت کاری القايي نوعي عمليات سخت گرداني است که براي ايجاد لايه سخت مارتنزيت با مقاومت سايشي ومقاومت خستگي خوب وبدون تغيير خواص مغز در قطعات فولادي به کار ميرود طي اين يفر ايند تغيير در ترکيب شيميايي فولاد به وجود نمي آيد. از طرفي به کمک سخت کاری القايي مي توان قطعات رساناي الکتریکي را حرارت داد. از مزايای اين روش مي توان به تميز بودن و سرعت عمل، تکرار پذيري و قابليت خودکار شدن تجهيزات ان است. در سخت کاری القايي هيچ گونه تماسي بين

قطعه کار و منبع حرارتي نياز نيست ومي توان حرارت رابه نواحی موضعي انتخاب شده ويا نواحی سطحی محدود کرد [1]. در اين روش که بر پايه ی القاء الکترومغناطیسی انرژی الکتریکي استوار است. لايه ی خارجی قطعه (پوسته) گرم و سپس آبدهی می شود. به اين ترتيب، سختی لازم بدون تغيير در ترکيب شيميايي لايه ی سطحی بدست می آيد. با عبور جريان الکتریکي در اطراف القا کننده (کویل) دستگاه یک ميدان مغناطیسی حلقوی ايجاد می گردد. درون قطعه ای که اين ميدان را قطع می کند جريانی به نام جريان گردابی (Eddy Current) القاء می شود. با حرکت جريان القايی که به علت اثر پوسته ای (Skin Effect) در سطح قطعه کار متمرکز است، سطح فلز گرم می شود. (شکل 1). سپس قطعه ی گرم شده در یک محیط خنک کننده به سرعت آبدهی می گردد [2]. دستگاه سخت کاری القايی، به طور کلی، از این اجزاء تشکيل می شود: یک منبع قدرت با توان و فرکانس مناسب، کویل القا کننده جری ان، محیط خنک کننده و تجهيزات جانبی و کنترل ی برای محافظت و مکانیزه کردن روش. انواع روش های سخت کاری القايی را می توان در دو گروه زیر جای داد [3 و 4]:

1- سخت کاری تک مرحله ای (Single Shot Hardening) ؛ در ای ن روش ابتدا همه سطح قطعه کار توسط القاء جری ان گرم و سپس قطعه آبدهی می شود.

2- سخت کاری روبشی (Progressive hardening) ؛ در ای ن روش قسمت های مختلف با عبور از درون ی ک کویل القا کننده جری ان به تدریج گرم و سپس قطعه توسط پاشش مایع خنک کننده (معمولا آب) که در زیر کویل قرار دارد، آبدهی می شود (شکل 2). این روش زمانی به کار می رود که سطوح مقاطع یکنواخت و قطعه طویل باشد، و یا توان دستگاه برای استفاده از روش اول کافی نباشد [1]. عمق نفوذ حرارت، ای در واقع عمق سخت شده، تابع عواملی مانند فرکانس و توان

چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژي و جامعه علمي ريخته گري ايران

اعمالی به قطعه و زمان اعمال جری آن می باشد. همانطور که بی آن شنبه دلیل وجود اثر پوسته ای، جری آن های القا شده تمایل به تجمع در سطح قطعه دارند. عمق نفوذ با فرکانس جری آن نسبت معکوس دارد. افزون بر این، به علت هدایت حرارت از سطح گرم شده به طرف هسته سرد قطعه، عملاً عمق سخت شده از حالتی که فقط اثر فرکانس در نظر گرفته شود، بیشتر است. انتخاب توان اعمالی تابعی از سطح قطعه، طرح کویل، سرعت تولد و روش سخت کاری القایی است. در یک فرکانس ثابت، توان اعمالی بالاتر و زمان حرارت دادن کوتاهتر، عمق سخت شده کمتری حاصل می شود. در روش سخت کاری روبشی از پارامتر سرعت حرکت قطعه از درون کویل به جای زمان حرارت دادن استفاده می شود. هرچه سرعت عبور بیشتر باشد، زمان حرارت دادن کمتر است.

از مزایای سخت کاری القایی می توان به موارد زیر اشاره کرد [2]. شایان ذکر است که کاهش هزینه تولیدی از مزایای این روش محسوب می شود.

- 1- امکان سخت کاری موضعی و کنترل عمق و میزان سختی در هر قسمت از قطعه
- 2- ایجاد مقاومت به سایش و خستگی در حد مورد نظر
- 3- به حداقل رسانیدن دگرپوره شدن و اکسایش سطح قطعه در حین سخت کاری
- 4- کاهش اعوجاج قطعات (مخصوصاً در مورد شافت های طویل)

به کمک روش سخت گردانی القایی دامنه وسیعی از قطعات صنعتی با شکل های ساده و متقارن و یا پیچیده را می توان سخت کرد که این عملیات می تواند شامل سخت کردن سطحی، سخت کردن حجمی و یا باز پخت دادن باشد. که شافت اکسل، میل لنگ، میل بادامک، چرخ دنده، چرخ زنجرو بسیاری از قطعات صنعتی را شامل می شود [1].

روش تحقیق

در این تحقیق از هفت نمونه میل استوانه ای از جنس فولاد ساده کربنی AISI 1045 استفاده شده است که جدول 1 ترکیب شیمیایی این قطعات را نشان می دهد عملیات سختکاری القایی روبشی بر روی این هفت نمونه با شرایط مشخص شده در جدول شماره 2 انجام شد. کویل به کار رفته در همه آزمایش ها یکسان و به صورت تک حلقه ای به قطر داخل 35.5 mm و فاصله بین قطعات و کویل برابر 3.5 mm بوده است. به این ترتیب، در یک فرکانس ثابت اثر دو پارامتر توان اعمالی و عبور از درون کویل (زمان حرارت دادن)، بر روی عمق سخت شده مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه های 1 تا 6 با

چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژي و جامعه علمي ريخته گري ايران

استفاده از روش ميكروسختي، سختي سنجي به عمل آمد و نمونه شماره 7 بصورت جدا گانه سختي سنجي حلقوي و پله اي انجام شد، نمودار تخييرات سختي بر حسب فاصله از سطح ارائه گردیده است. افزون بر این، با استفاده از ماکرو اچ نمونه هادر محلول نایتال، عمق سخت شده هر يك آشکار و از دو روش مختلف چشمي در زیر ميكروسكوپ با استفاده از لنز مدرج با بزرگ نمایی 50× و در روش ديگر با استفاده از كولييس عمق سخت شده اندازه گیری شد. روش ماکرو اچ با وجود آنکه از دقت کافی برخوردار نیست ولی به خاطر سهولت و کم هزینه بودن برای بررسی های كئیفی کارگاه های فولادهای كربنی ساده به طور گسترده ای در صنعت مورد استفاده است. پس از جمع اوري نتایج از هر سه روش تعیین عمق سخت شده نتایج در نمودارهاي مختلف رسم گردید.

نتایج و بحث

از نمونه شماره 1 تا 6 سرعت عبور نمونه از داخل كویل افزایش می یابد، از طرفي نمونه هاي تهیه شده در يك فرکانس و توان ثابت سخت گرداني شده اند. ساختار ایجاد شده همانطور که در شکل شماره 3 دیده میشود شامل سطحي سخت شده با ساختاري مارتنزيتي است که تا عمق مشخصي ادامه دارد پس از آن منطقه دوفازی را میبینیم که ساختار مارتنزيتي شروع به کمتر شدن می کند و در این منطقه تیغه هاي مارتنزيتي کمتری را شاهد هستیم و ساختار به سمت ترکیبي از بینایت و فریت پیش میرود و پس از عبور از این منطقه ساختار مغز همان ساختار اولیه نمونه قبل از سخت گرداني است يعني ترکیبي متشکل از فریت و پرلیت می باشد. شکل های 4 و 5 نمودارهاي سختی بر حسب فاصله از سطح را برای نمونه های 1 تا 6 را نشان می دهند. این نمودار ها در واقع مهمترین ابزار برای تعیین عمق سخت شده موثر با استفاده از استاندارد می باشد. در سختي سنجي هاي به عمل آمده براي تعیین عمق سخت شده کل همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است سه روش چشمي، كولييس و ميكروسختي بایکدیگر مقایسه شده است تا مشخص شود که این سه روش چه اندازه بایکدیگر اختلاف دارند. در روش ميكرو سختي تعیین عمق سخت شده کل با استفاده از نمودار رسم شده در شکل 4 و 5 و بر اساس استاندارد SAE J 423 DEC 83 تعیین شده است. با توجه به شکل 6 همانگونه که مشاهده میشود سختي کل بدست آمده از روش كولييس و روش ميكروسختي به یکدیگر نزدیک اند و می توان با تقریب خوبی عمق کل بدست آمده از روش كولييس را به جاي روش ميكرو سختي در صنعت به کار برد. براي تعیین عمق سخت شده موثر در این تحقیق از استاندارد هاي :

چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژي و جامعه علمي ريخته گري ايران

ISO 2639:2002(E) :Hardness limit (HV)= 550 Vickers

ISO 3754-1976 (E) :Hardness limit (HV)= 0.8 ×(Minimum Surface Hardness (HV))

به عنوان مرجع استفاده شده است و اين دو روش تعيين عمق سخت شده موثر در شكل 7 با يکديگر مقايسه شده اند. با توجه به نمودار رسم شده مي توان فهميد که استاندارد ISO 3754-1976 (E) نسبت به استاندارد ISO 2639:2002(E) عمق بيشتري را نشان مي دهد. از طرفي براي تعيين و مشخص کردن رابطه بين عمق سخت شده کل که با اندازه گيري توسط کوليس بدست آمده است و عمق سخت شده موثر که با توجه به استاندارد تعيين شده است اين دو دريك نمودار که در شكل 8 مشخص است رسم شدند و با تحليل و بررسي نتايج بدست آمده مشخص شد که رابطه اي بين عمق سخت شده کل و موثر وجود دارد و با استناد به نتايج بدست آمده مي توان با داشتن عمق اندازه گيري شده توسط کوليس به عمق سخت شده موثر دست يافت در نتايج بدست آمده مشخص شد که عمق سخت شده موثر عمق سخت شده کل مي باشد که اين امر خود کمک زيادي در تسريع بدست آوردن عمق سخت شده موثر در صنايع مرتبط با فرايند سختکاري مي کند. و نيز به منظور بررسي و مقايسه روش هاي مختلف تعيين عمق سخت شده ، گونه 7 بصورت جداگانه تهيه شد و افزون بر سختی سنجی با روش حلقوی، با روش پله ای نى ز سختی سنجی شد. نتايج هردو سختي سنجي حلقوي و پله اي در قالب يك نمودار رسم شده است . همانگونه که در شكل 9 مشاهده می شود مي توان دريافت که روش حلقوی عمق سخت شد ة بيشتري را نسبت به روش پله ای نشان می دهد.

نتيجه گيري

- 1- در فرکانس وتوان ثابت باکاهش سرعت عبورنمونه از داخل کویل عمق سخت شده کل و موثر بيشتري ميشود.
- 2- در مقايسه دو استاندارد ارائه شده براي تعيين عمق سخت شده موثر مشاهده مي شود که استاندارد ISO 3754-1976 (E) نسبت به استاندارد ISO 2639:2002(E) عمق بيشتري را نشان مي دهد.
- 3- در مقايسه روش هاي مختلف تعيين عمق سخت شده کل روش تعيين عمق سخت شده توسط کوليس با تقريب خوبي نزديک به روش میکروسختي است.
- 4- عمق سخت شده کل بدست آمده از روش اندازه گيري توسط کوليس با عمق سخت شده موثر رابطه رابطه داشته و ميتوان گفت که عمق سخت شده موثر عمق سخت شده کل مي باشد.
- 5- با توجه به نتايج بدست آمده ميتوان با تقريب قابل اطمینانی از کوليس براي تعيين عمق سخت شده موثر استفاده کرد.

چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژي و جامعه علمي ريخته گري ايران

%P	%Cr	%Mn	% Si	% C	کد فولاد
0.04	0.15	0.57	0.25	0.44	AISI 1045

6- دقت روش های تعیین عمق سخت شده ی کسان نیست، روش حلقوی عمق سخت شده بیشتری را نسبت به روش پله ای نشان می دهد.

7- در اندازه گیری سختی سطح روش حلقوی سختی سطح بیشتری نسبت به روش پله ای اندازه گیری می کند.

مراجع

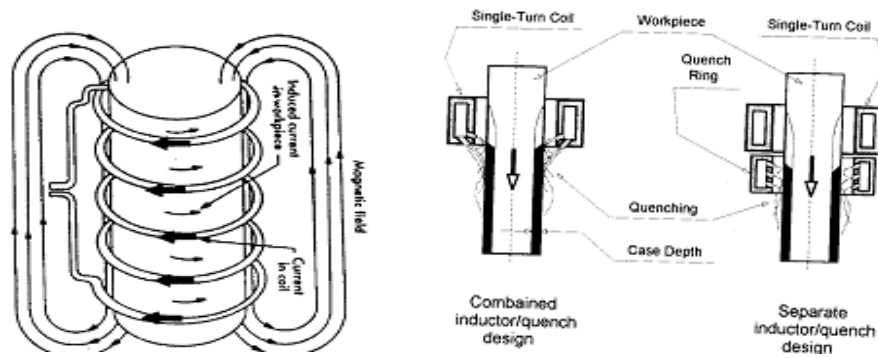
1. محمد علی گلعداز ؛ "عملیات حرارتی و مهندسی سطح" ، انتشارات ارکان ، 1377
2. "Tool & Manufacturing Engineers" ,Handbook Vol. 3,Materials, Finishing &Coating SME, 4th Edition, 1985.
3. "Heat Treating" , ASM Metals Handbook, Vol. 4 , 1991.
- 4.K.E. Thelning. "Steal & its Heat Treatment" ; Bofors Handbook, 1984, London Butterworths
- 5.SAE Handbook, Vol. 1, 1993
- 6.ISO HandBook , Vol. 1,2002

جدول شماره 1. ترکیب شیمیایی فولاد ساده کربنی AISI 1045

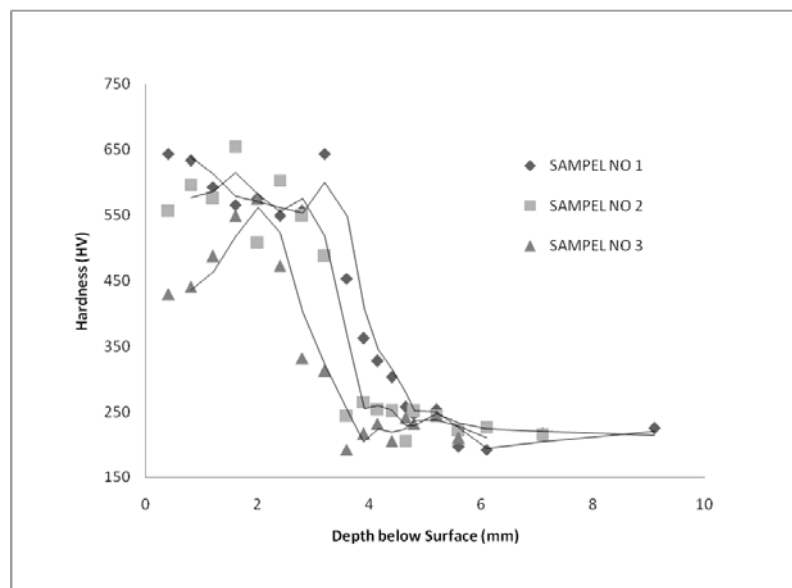
شماره نمونه	فرکانس جریان (Hz)	سرعت عبور قطعه درون کویل (m/sec)	توان اعمالی (W)
1	30	7.5	58
2	30	8.5	58
3	30	9.5	58
4	30	10.5	58
5	30	11	58
6	30	12	58
7	20	10.1	32.5

جدول شماره 2. شرایط سخت کاری القایی نمونه های آزمایشی

شکل 1. اصول روش القای جریان در قطعه
شکل 2. روش سخت کاری روبشی

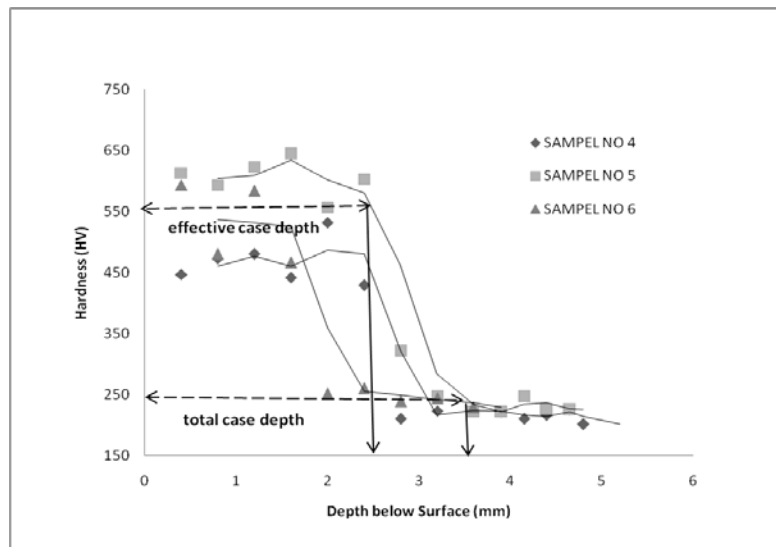


شکل 3. ريز ساختار فولاد سخت شده AISI 1045 به روش القايي، بزرگنمايي $\times 500$

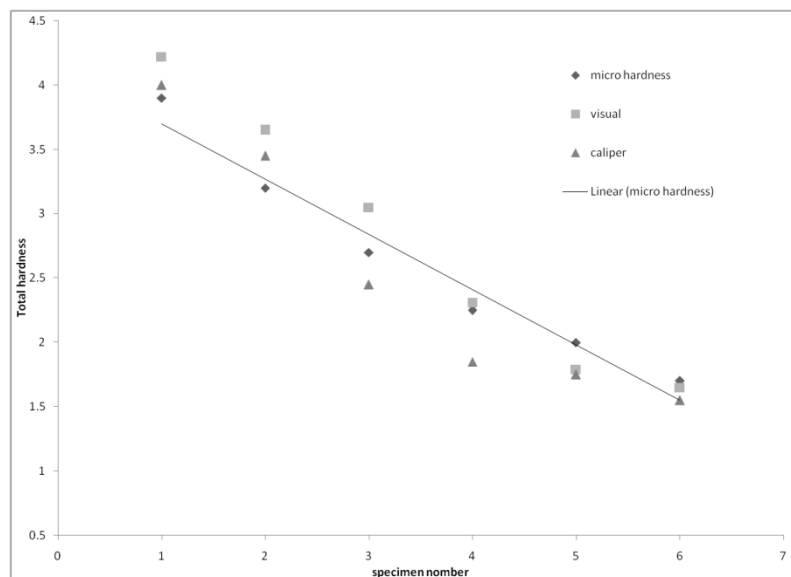


شکل 4. نمودار سختی بر حسب فاصله از سطح

چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژي و جامعه علمي ريخته گري ايران

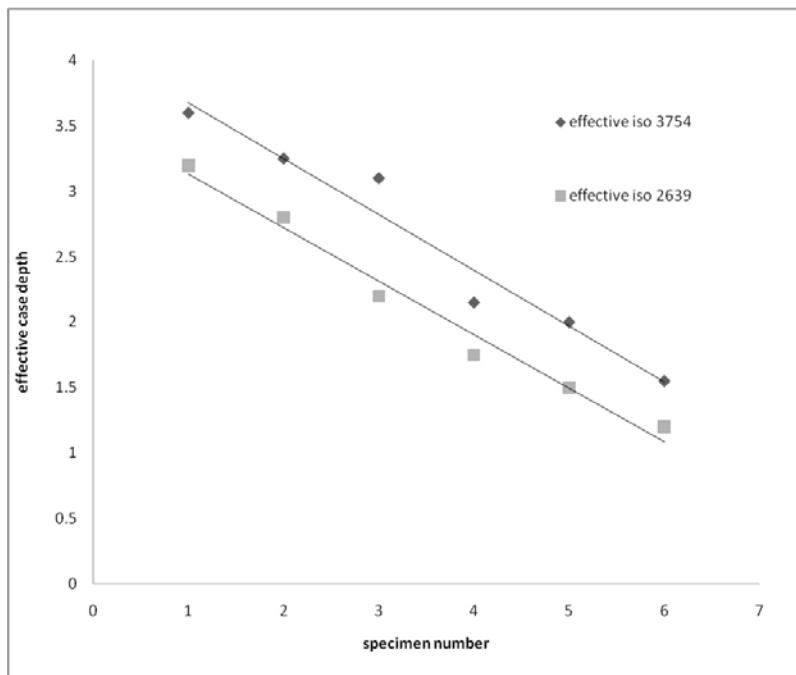


شکل 5. نمودار سختی بر حسب فاصله از سطح

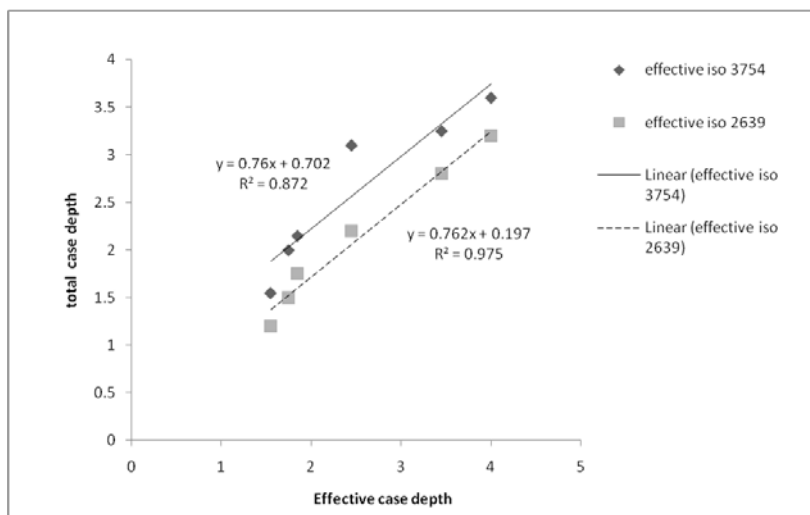


شکل 6. مقایسه نتایج سه روش تعیین عمق سختی کل

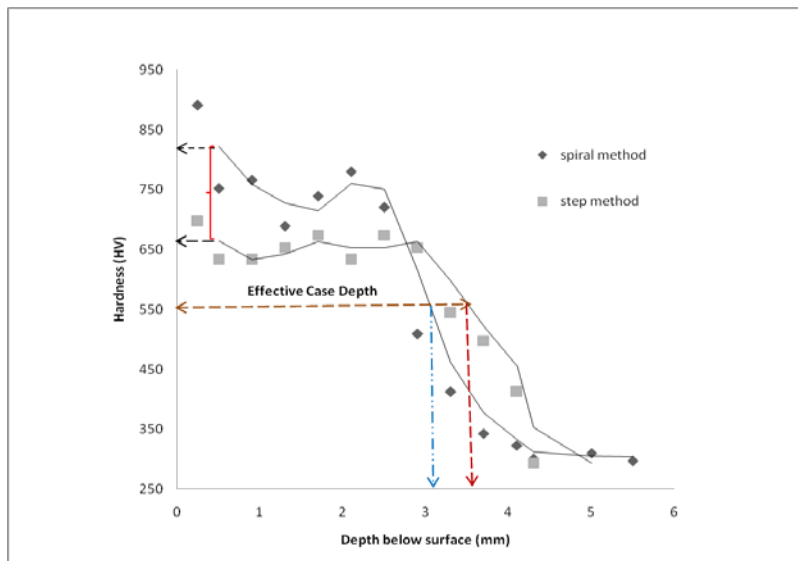
چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژي و جامعه علمي ريخته گري ايران



شکل 7. مقایسه سختی موثر بر اساس دو استاندارد



شکل 8. مقایسه عمق موثر و کل



شکل 9. مقایسه دو روش سختي سنجي حلقوي و پله اي

Analysis and survey surface-hardened in Induction harden from different method and appointment certain and quick method for measurement effective case depth

Saeid Zare*, Mostafa Kadkhoda, Mehrdad Kashfi

** Materials and Metallurgical Engineering Department, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran.
E-mail: s.zare89@gmail.com*

Abstract

Induction surface-hardened is one of proceedings surface case hardened than scope that increase resistance sample to friction and improvement ductility in kernel non hard than used in automobile industry and manufacture axle. measurement effective case depth and total case depth is so important in production and control quality. In research we assay to find relation effective case depth and total case depth for by use total case depth can find effective case depth. Result show effective case depth and total case depth have relation and we can by use suitable confidence find effective case depth.

Keywords: Effective case depth ,Total case depth, Induction surface-hardened