دهمین کنگره سالانه انجمن مهندسین متالورژی ایران
۲۳ و ۲٤ آبان ۱۳۸۵
دانشکده مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد

عوامل مؤثر بر عمق سخت شده در سخت کاری القایی پلوس خودرو

مهرداد کاشفی[۱]، سید محمدرضا یوسف ثانی[۲]، کمال زرگریان[۳]

چکیده

در این تحقیق اثر دو پارامتر عمده سخت کاری القایی، توان جریان و زمان القای جریان و همچنین، اثر ساختار اولیه بر عمق سخت شده پلوس خودرو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می دهد که با افزایش توان و کاهش سرعت عبور قطعه از درون کویل (افزایش زمان القای جریان)، عمق سخت شده افزایش می یابد. همچنین در شرایط توان و زمان یکسان ریزساختارهای ظریف تر دارای عمق سخت شده بیشتری هستند. افزون براین، ارتباط بین عمق سخت شده مؤثر و عمق سخت شده کل بررسی شد. عمق سخت شده مؤثر ۸۰٪ عمق سخت شده کل به دست آمد.

واژه های کلیدی: سخت کاری القایی، عمق سخت شده مؤثر و کل، ریز ساختار

۱- استادیار، گروه متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- مربی، گروه متالورژی و مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- کارشناس متالورژی، پارک صنعتی مجموعه سازی توس، فورج گستر سناباد

عوامل مؤثر بر عمق سخت شده در سخت کاری القایی پلوس خودرو

مهرداد کاشفی[1] ، سید محمدرضا یوسف ثانی[2] ، کمال زرگریان[3]

1و 2- گروه متالورژی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- پارک صنعتی مجموعه سازی توس، فورج گستر سناباد، مشهد

چکیده

در این تحقیق اثر دو پارامتر عمده سخت کاری القایی، توان جریان و زمان القای جریان و همچنین، اثر ساختار اولیه بر عمق سخت شده پلوس خودرو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان می دهد که با افزایش توان و کاهش سرعت عبور قطعه از درون کویل (افزایش زمان القای جریان)، عمق سخت شده افزایش می یابد. همچنین در شرایط توان و زمان یکسان ریزساختارهای ظریف تر دارای عمق سخت شده بیشتری هستند. افزون براین، ارتباط بین عمق سخت شده مؤثر و عمق سخت شده کل بررسی شد. عمق سخت شده مؤثر 80٪ عمق سخت شده کل بدست آمد.

واژه های کلیدی : سخت کاری القایی، عمق سخت شده موثر و کل، ریز ساختار

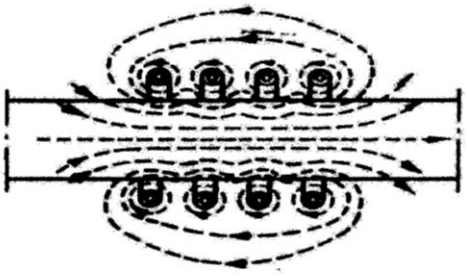
مقدمه

سخت کاری القایی یکی از روش های متداول برای ایجاد مقاومت به سایش و خستگی در قطعات فولادی است. در این روش انرژی لازم برای گرم کردن قطعه توسط اثر حرارتی جریان القایی از طریق ایجاد یک میدان مغناطیسی تأمین می شود. هنگامی که جریان الکتریکی از یک سیم پیچ (کویل) عبور کند، در اطراف آن میدانی مغناطیسی ایجاد می گردد. درون قطعه ای که این میدان را قطع کند جریانی به نام جریان گردابی (Eddy Current) القا می شود. این نوع جریان ها بیشتر از پوسته خارجی قطعه عبور می کنند و از این رو ، دارای اثر سطحی می باشند. با عبور جریان گردابی سطح قطعه فلزی گرم می شود، (شکل 1). قطعه سپس در یک محیط خنک کننده آبدهی می گردد [1-4]. به این ترتیب، بدون تغییر در ترکیب شیمیایی ، لایه سطحی سختی لازم را بدست می آورد. این روش هم از نظر اقتصادی و هم از نظر کاهش خطر بروز ترک و تاب برداشتن قطعات مزیت دارد. افزون براین، امکان ایجاد سخت کاری موضعی با عمق و میزان سختی پیش بینی شده با این روش وجود دارد.

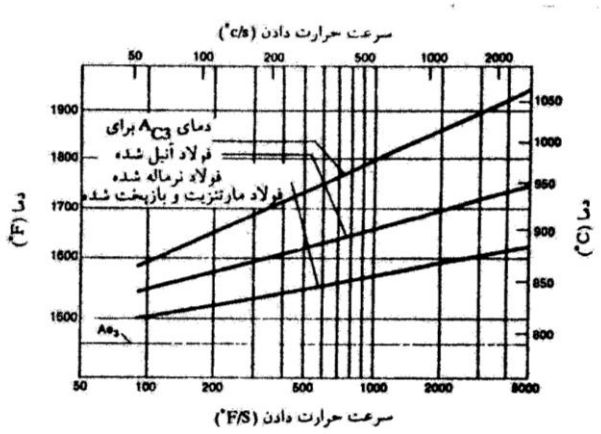
انواع روش های سخت کاری القایی را می توان در دو گروه زیرجای داد: [5 و6]

1 استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
2. مربی ، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
3 . کارشناس متالورژی صنعتی

1- سخت کاری تک مرحله ای (Single Shot Hardening)، در این روش ابتدا تمامی سطح مورد نظر با القای جریان گرم می شود و پس از آن آبدهی انجام می گردد.
2- سخت کاری روبشی (Progressive Hardening)، در این روش قسمت های مختلف قطعه با عبور از درون یک کویل به تدریج گرم می شود و پس از آن با پاشش مایع خنک کننده (معمولاً آب) که در زیرکویل دستگاه قرار دارد، آبدهی انجام می گردد. این روش زمانی ب ه کار می رود که سطوح مقاطع یکنواخت و قطعه طویل باشد و یا، توان دستگاه برای استفاده از روش اول کافی نباشد.
شدت جریان القا شده و یا در واقع عمق سخت شده، به فرکانس جریان، توان اعمال شده به قطعه، زمان اعمال جریان، شکل و جنس قطعه ، و طرح کویل وابسته می باشد. همان طور که بیان شد به دلیل وجود اثر پوسته ای، جریان های القا شده تمایل به متمرکز در سطح قطعه دارند و عمق نفوذ با فرکانس جریان نسبت معکوس دارد. افزون براین، 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 و درنتیجه هرچه زمان حرارت دادن بیشتر باشد عمق سخت شده نهایی بیشتر می شود. در روش سخت کاری روبشی از پارامتر سرعت حرکت قطعه از درون کویل، به جای زمان حرارت دادن استفاده می گردد. هرچه سرعت عبور بیشتر باشد، زمان حرکت قطعه کمتر خواهد بود. با افزایش توان، جریان القایی شدیدتر و سرعت گرم کردن بیشتر می شود.
اگرچه پارامترهای فوق از مهم ترین متغیرها در ایجاد یک عمق سخت شده معین می باشند ولی با ثابت ماندن آنها عوامل فرعی دیگری نیز می توانند عمق سخت شده را تحت تأثیر قرار دهند. از میان مهم ترین این عوامل می توان به ریزساختار اولیه قطعه اشاره کرد. هر چند در روش القایی سرعت گرم شدن خیلی بیشتر از روش های دیگر بوده و درنتیجه دمای بحرانی Ac_3 قطعات بیشتر از مقادیر تعادلی آن است ولی این افزایش در سرعت های گرم شدن یکسان تابع ریزساختار اولیه فولاد است. هرچه ساختار اولیه فولاد ظریف تر باشد ، اثر سرعت حرارت دادن بر افزایش دمای بحرانی کمتر است، به دیگر سخن ریزساختارهای ظریف تر دمای Ac_3 کمتری دارند [6]، (شکل 2).



شکل ۱ - اصول روش القای جریان در قطعه



شکل ۲ – اثر سرعت حرارت دادن و ساختار داخلی بر دمای Ac_3

روش تحقیق

در این تحقیق ده میله استوانه ای از جنس فولاد ساده کربنی AISI 1045 به قطر 28/5 mm انتخاب گردید. جدول 1 ترکیب شیمیایی فولاد را نشان می دهد. عملیات سخت کاری روبشی بر روی هر یک از میله ها با شرایط مشخص شده در جدول 2 انجام شد. شکل 3 تصویری از دستگاه سخت کاری القایی مورد استفاده و شکل 4 نمای شماتیک روش به کار رفته را نشان می دهد. کویل به کار رفته تک حلقه ای، از جنس مس ، و به قطر داخلی 3/5 mm بود و در همه آزمایش ها از همین کویل استفاده شد. بر روی نمونه های 1 تا 4 اثر زمان حرارت دادن (سرعت عبور از درون کویل) و بر روی نمونه های 5 تا 7 اثر افزایش توان آزمایش شد. نمونه های 8 تا 10 که تحت شرایط یکسان توان و زمان حرارت دادن قرار گرفتند، دارای ساختار میکروسکوپی متفاوتی بودند. جدول 3 شرایط تهیه این نمونه ها و ریزساختار بدست آمده را نشان می دهد. برای همه نمونه ها با استفاده از روش سختی سنجی حلقوی، نمودار تغییرات سختی برحسب فاصله از سطح ارائه گردیده است.

جدول 1 ترکیب شیمیایی نمونه ها

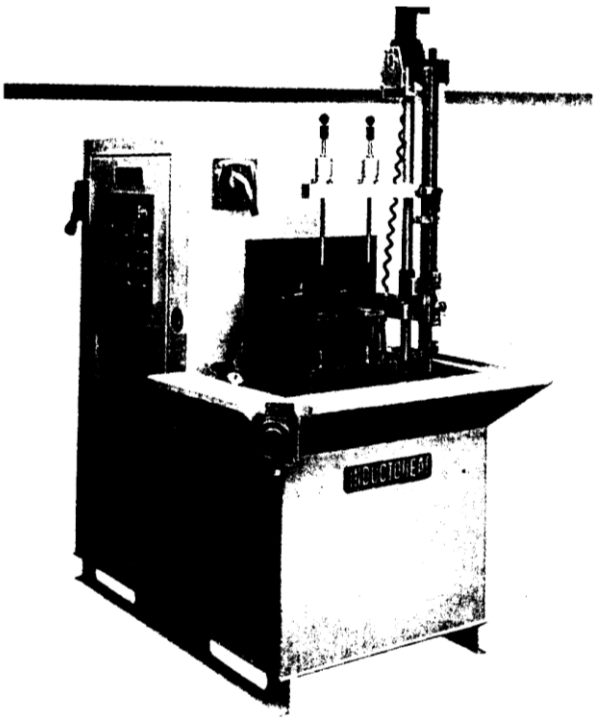
کد فولاد	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Cu
AISI 1045	0/47	0/24	0/63	0/04	0/02

جدول 2 شرایط سخت کاری نمونه ها

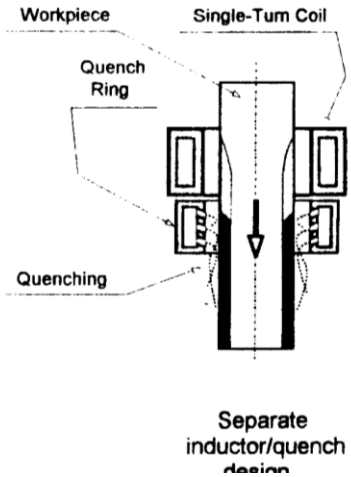
شماره نمونه	فرکانس جریان (KHz)	سرعت عبور قطعه از درون کویل (mm/sec)	توان جریان (Kw)
1	20	2	32/5
2	20	4	32/5
3	20	6	32/5
4	20	10	32/5
5	20	4	37
6	20	4	28
7	20	4	24
8	20	7	35
9	20	7	35
10	20	7	35

جدول 3 چگونگی تهیه نمونه ها

شماره نمونه	سیکل تهیه نمونه ها	ساختار میکروسکوپی
8	30 ساعت در دمای $730^{\circ c}$ سرد شدن در کوره	گرافیت کروی
9	30 دقیقه در دمای $900^{\circ c}$ سرد شدن در هوا	فریت + پرلیت (نرماله)
10	45 دقیقه در دمای $900^{\circ c}$ کوئنچ در آب + تمپر به مدت 30 دقیقه در دمای $220^{\circ c}$	مارتنزیت



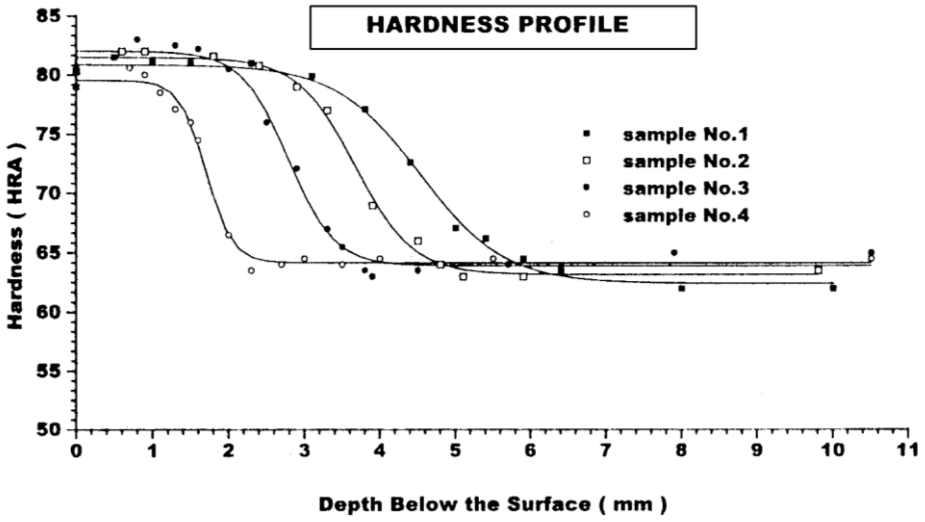
شکل ۳ - دستگاه سخت کاری القایی بکار رفته در آزمایش



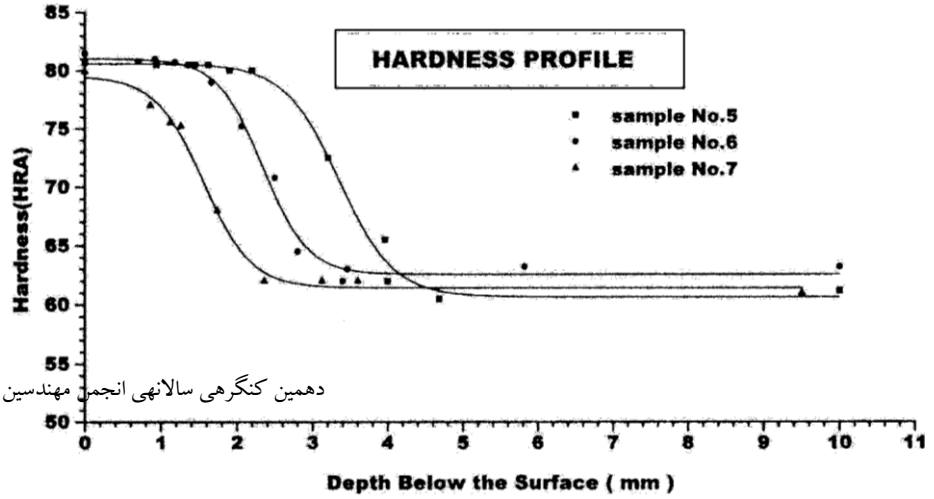
شکل ۴ - روش سخت کاری روبشی

عوامل مؤثر بر عمق سخت ...

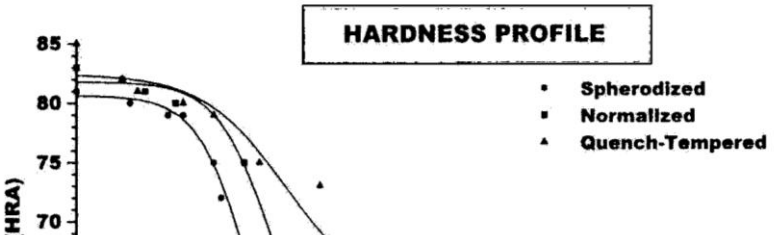
شکل های 5، 6 و 7 نمودار سختی برحسب فاصله از سطح را برای نمونه های فوق نشان می دهند. در شکل 5 اثر زمان حرارت دادن، در شکل 6 اثر توان جریان و در شکل 7 تأثیر نوع ساختار بر عمق سخت شده نشان داده شده است. نمودار سختی نمونه با ساختار اولیه کوئنچ- تمپر، ابتدا کاهش و سپس افزایش نشان می دهد ، (شکل 7). دلیل تغییرات یاد شده این است که در اثر گرم شدن موضعی ، مناطقی در زیر سطح (در مجاورت مناطقی که به دمای آستنیتی رسیده اند) به دماهایی می رسند که باعث تمپر شدن بیشتر ساختار (مارتنزیت تمپر شده) اولیه آنها شده و درنتیجه سختی این مناطق کاهش یا فته است. با افزایش فاصله این اثر کاهش یافته و سختی به مقادیر اولیه افزایش می یابد.



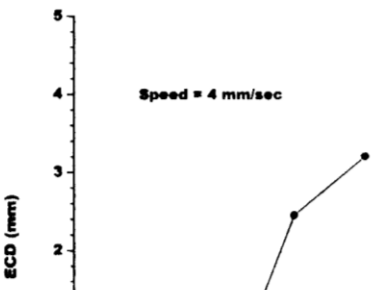
شکل ۵ - اثر سرعت عبور قطعه از درون کویل بر تغییرات سختی

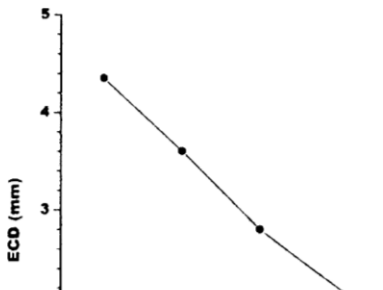


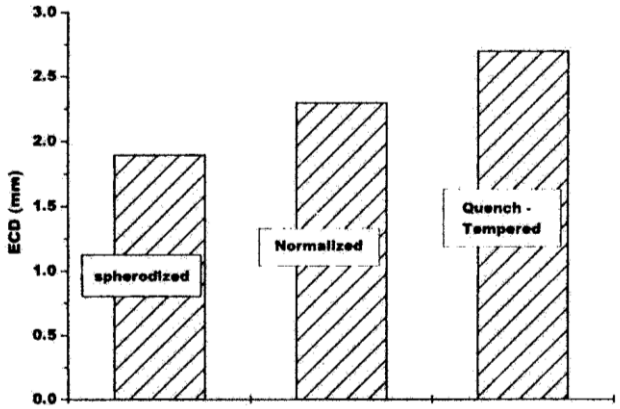
شکل ۶ - اثر توان اعمال شده بر تغییرات سخت



اثر متغیرهای فوق بر عمق سخت شده مؤثر (Effective Case Depth) در شکل های 8، 9 و 10 آورده شده است. عمق سخت شده مؤثر براساس استاندارد SAE j423 DEC 83 تعیین گردیده است [7]. با کاهش سرعت عبور قطعه از درون کویل و افزایش توان اعمالی، عمق سخت شده مؤثر افزایش می یابد. با کاهش سرعت عبور ، زمان واقع شدن قطعه در درون کویل زیادتر شده و درنتیجه زمان حرارت دهی افزایش می یابد. با افزایش توان، میدان مغناطیسی و جریان القایی منتجه قوی تر شده و سرعت گرم شدن افزایش می یابد و از این رو، عمق سخت شده بیشتر می شود. با ثابت ماندن توان و زمان، عمق سخت شده برای ساختمان های ظریف تر بیشتر است. علت این امر فاصله لازم برای نفوذ و توزیع مجدد کربن در فولاد (در دمای آستنیته) است. این فاصله در ساختارهای ظریف تر مانند مارتنزیت، کمترین و در ساختارهای خشن مانند گرافیت کروی، بیشترین است. ساختارهای فریتی - پرلیتی بین این دو دسته قرار می گیرند. Ac_3 برای ساختارهای ظریف تر کمتر است و از این رو، فواصلی در زیر سطح قطعه کار که به دمای استحاله آستنیتی می رسند بیشتر بوده و در نتیجه، در اثر آبدهی عمق بیشتری تحت استحاله مارتنزیتی قرار می گیرد.

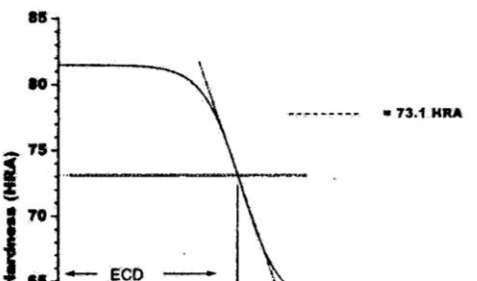


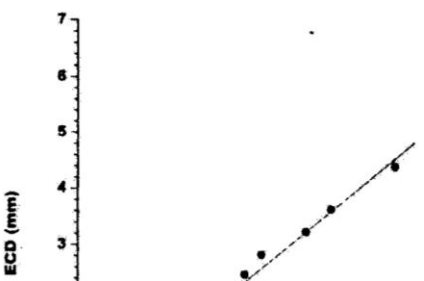




شکل ۱۰ - اثر ریز ساختار اولیه بر عمق سخت شدهٔ موثر

به منظور بررسی ارتباط عمق سخت شده مؤثر و عمق سخت شده کل (Total Case Depth) ماشین‌سازی ایران
پارامتر برای نمونه های 1 الی 7 تعیین شدند. شکل 11 روش تعیین عمق های یاد شده را برای نمونه شماره 2 نشان می دهد [8]. ارتباط عمق سخت شده کل و عمق سخت شده مؤثر برای نمونه های فوق در شکل 12 آورده شده است. همان طور که در شکل مشخص است این ارتباط به صورت خطی می باشد. عمق سخت شده مؤثر حدود 80 ٪ عمق سخت شده کل بدست آمد.





نتایج

1- با کاهش سرعت عبور قطعه از درون کویل، و یا، افزایش توان اعمالی، عمق سخت شده مؤثر با ثابت ماندن سایر متغیرها، افزایش می یابد.

2- با ظریف شدن ساختـار اولیه فلز (و ثابت ماندن سایر متغیرها) عمـق مؤثر سخت شده افـزایش می یابد به گونه ای که:

$$ECD_{(مارتنزیتی)} > ECD_{(نرماله)} > ECD_{(گرافیت کروی)}$$

3- اگرچه فرکانس جریان اعمالی مهم ترین عامل مؤثر بر مقدار عمق سخت شده می باشد در عین حال در یک فرکانس ثابت نیز می توان محدوده وسیعی از عمق سخت شده را بـه دست آورد.

4- عمق سخت شده مؤثر حدود 80 ٪ عمق سخت شده کل می باشد.

قدردانی

به این وسیله از مدیریت محترم شهرک صنعتی مجموعه سازی طوس، به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات لازم برای انجام این پژوهش سپاسگزاری می شود.

مراجع

1-"Tool and Manufacturing Engineers", Handbook Vol. *3* , 1991, Materials, Finishing and Coating SME, 4th Edition, 1985.

2-"Heat Treating", ASM Metals Handbook.

3-G.E.Tottel & M.H.Howes, "Steel Heat Treatment Handbook" , Marcel Dekker INC. 1997

4- مهدی طاهری، اصول عملیات حرارتی فولادها، 1368، انتشارات دانشگاه تهران

5 – K..Thelning, "Steel and its Heat Treatment", Bofeors Handbook, *1984,*London, Butterworths.

6- محمد علی گلعذار، عملیات حرارتی و مهندسی سطح، 1377، انتشارات ارکان

7 – SAE Handbook, Vol. 1, 1993

8 – L.E.Samuels, "Light Microscopy of Carbon Steels", 1999, ASM International.

Factors affecting case depth of induction surface hardened of axle shafts

M. Kashefi[1],S.M.R. Yusof Sani[2], Kamal Zargarian[3],
1-m_kashefi@ferdowsi.um.ac.ir

Abstract

In this research the effect of two major parameters in induction surface hardening of automobile rear axle shafts, power and part motion relative to the induction coil, have been studied.
The results show that the depth of hardened case increases with increasing power of the current and decreases with the speed of witch the shaft movies inside the coil.
Fixing the above two parameters, the relation between microstructure of the shaft and the hardness profile has also been studied. It was found the finer structures have deeper case depths. Besides, the effective case depth was observed measured at 80% of the total case depth.

Keywords: Induction hardening, Total case depth, Effective case depth, Microstructure

1- Assistant Professor
2- Lecturer
3- Majmoe Sazi Toos Industrial Park