

## تاثیر پیشگرم کردن قطعه بر روی جوشکاری چدن داکتیل

E.M. El-Banna

واحد متالورژی دانشگاه قاهره - مصر - 1999

بازگردانی: ع. تحویلیمان - ح. عابدی جزینی

### • چکیده:

در این مقاله، اثر دمای پیشگرم بر روی ریز ساختار ناحیه ی متأثر از حرارت (HAZ) و ناحیه ی کاربیدی فلز جوش در مجاورت ناحیه ی متأثر از حرارت در جوشکاری چند پاسه (Multipass) برای نمونه ی چدن خام و چدن داکتیل فریتی مورد مطالعه قرار گرفته است.

عمل جوش به روش "جوشکاری قوس الکتریکی با فلز روکش دار" و با استفاده از پرکننده فلزی ENiFe-CI انجام شد.

برای ارزیابی کیفیت جوش تست های فراصوتی، توزیع ریزسختی، ضربه و کشش به کار گرفته شد.

### • کلمات کلیدی:

دمای پیشگرم، چدن، جوشکاری (Preheat temperature \ iron cast \ welding)

## • مقدمه :

جوشکاری قطعات چدن داکتیل معمولاً در صنایع ریخته گری به دلیل دستیابی به خواص مکانیکی و فیزیکی ناجور و ناهماهنگ، برای ترمیم و یا ساخت قطعات ریخته گری انجام نمی گیرد. چدن های داکتیل در مقایسه با فولادها حاوی مقدار زیادی کربن بوده که در حین جوشکاری به ناحیه ی آستنیت نفوذ کرده و فاز های ترد و شکننده ای مانند مارتنزیت و کاربید در مرز جوش تشکیل می دهند. اینها باعث دستیابی به خواصی با درصد ازدیاد طول پایین و سختی بالا می شوند. قابلیت جوشکاری چدن داکتیل بستگی به عوامل زیر دارد:

- ساختار زمینه ی اولیه
- ترکیب شیمیایی
- خواص مکانیکی ساختار
- فرایند جوشکاری

• و شرایط کاری انجام عملیات جوشکاری

محدوده دمای پیشگرم به میزان قابلیت سخت شدن آهن ( ترکیب شیمیایی یا کربن معادل )، اندازه و مقدار جوش و نوع مواد پر کننده بستگی دارد. پیشگرم کردن باید برای مدت زمان کافی جهت جلوگیری از شکل گیری فاز مارتنزیت و جلوگیری از توسعه ی گرافیت ثانویه در زمینه، حین عملیات آنیل یا جوشکاری چند پاسه ثابت بماند. تاثیر پیشگرم کردن در کاهش تنش های پسماند و اعوجاج و جلوگیری از ترک سرد و کاهش سختی ناحیه متاثر از جوش ( HAZ ) می باشد. در این مطالعه ساختار ناحیه متاثر از جوش و خواص مکانیکی چدن داکتیل جوش خورده در حالت خام و آنیل کاملاً فریتی شده تحت دماهای پیشگرم مختلف مورد آزمایش قرار گرفت.

Table 1  
Chemical compositions of ductile cast iron and filler metal (wt.%)

	C	Si	Mg	Mn	P	S	Fe	Ni
Ductile cast iron	3.4	2.25	0.05	0.55	0.02	0.02	Bal.	-
Weld filler ENiFe-CI	1	0.8	-	0.8	-	-	43	Bal.

Table 2  
Mechanical properties of base materials

	As-cast	Ferritizing annealing
UTS (MPa)	650	470
0.2 YS (MPa)	460	270
E%	5	16
Hv	230	200
CVN (J)	12	20

## • کار انجام شده :

نمونه آنالیز شیمیایی چدن داکتیل در جدول شماره 1 آورده شده است. ساختار کاملاً فریتی بوسیله اولاً آستنیته کردن قطعه خام با نگهداشتن قطعه در دمای 900 °C به مدت 3 ساعت و سرد کردن در کوره تا دمای 700 درجه و ثانیاً استحاله در این دما به مدت 3 ساعت و سپس سرد کردن نهایی تا دمای اتاق بدست آمد. خواص مکانیکی مواد پایه در جدول شماره 2 آورده شده است.

صفحات فلزی برای عملیات جوش کاری به صورت یک شیار V شکل با زاویه 90 درجه ، مانند آنچه در شکل 2 نشان داده شده است ، ماشینکاری و آماده شدند .

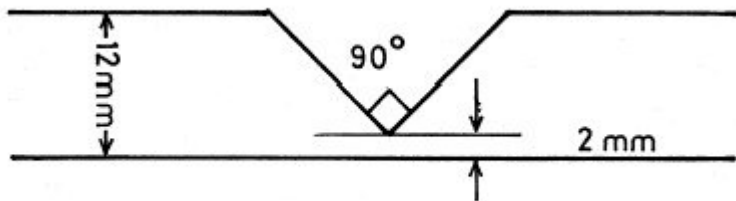


Fig. 1. Schematic of ductile cast iron weld joint design.

قبل از جوشکاری همه ی

ناخسبیهها و آلودگی های

موجود در سطح شیار

برداشته شد. ترکیب شیمیایی

فلز پرکننده ( ENiFe-CI ) در جدول 1 و نیز شرایط پیشگرم کردن و جوشکاری در جدول 3 آورده شده است .

بعد از جوشکاری نمونه ها سریعا به کوره ی الکتریکی انتقال یافتند و در آنجا به مدت 2 ساعت در دمای 300 درجه نگهداری شدند سپس در کوره تا دمای اتاق سرد شدند . هر نمونه پیش از برش زدن از نظر

خواص متالوگرافی و مکانیکی

با کنترل چشمی و فراصوتی

تست شدند .

برشکاری نمونه ها برای

آزمایش متالوگرافی باید دور

از حرارت زیاد - که ممکن

است موجب ناپایداری

موضوعی در ریزساختار شود -

انجام گیرد .

تکنیک های استاندارد آماده سازی ، برای متالوگرافی و نمایش ریز ساختار به کار گرفته شد و از محلول اچ نایتال 3 درصد جهت حکاکی سطح نمونه استفاده شد . بر روی سطح پولیش شده نمونه ، تست ریزسختی ویکرز ( اعمال نیروی 200 گرم ) انجام شد .

نمونه های مربوط به تست ضربه از ماده ی جوش در اندازه های استاندارد جدا و برای تست ضربه شارپی شکاف دار ماشین کاری شدند . این عمل در دمای اتاق انجام شد .

تست کشش بوسیله ی یک دستگاه با مقیاس نیروی 10 تن در دمای اتاق بر روی نمونه انجام شد .

Table 3

Welding data.SMAW

Current: 100 A DC	Polarity electrode: positive
Travel speed: 100 mm/min	Number of pass: 7
Electrode diameter: 3.25 mm	Heat input: 0.81 kJ/mm
Preheat temperature: 25, 200, 300 and 400°C	

## • بحث و نتیجه گیری :

ریزساختار نمونه های چدن خام در شکل 2a نشان داده شده اند . ساختار شامل ندول های گرافیت احاطه شده بوسیله حلقه های فریتی و یک ساختار لایه لایه ی پرلیتی است . این نمونه ساختار به عنوان یک نمونه ی چشم گاوی شناخته شده است که حاوی 150 کره بر میلیمتر مربع می باشد .

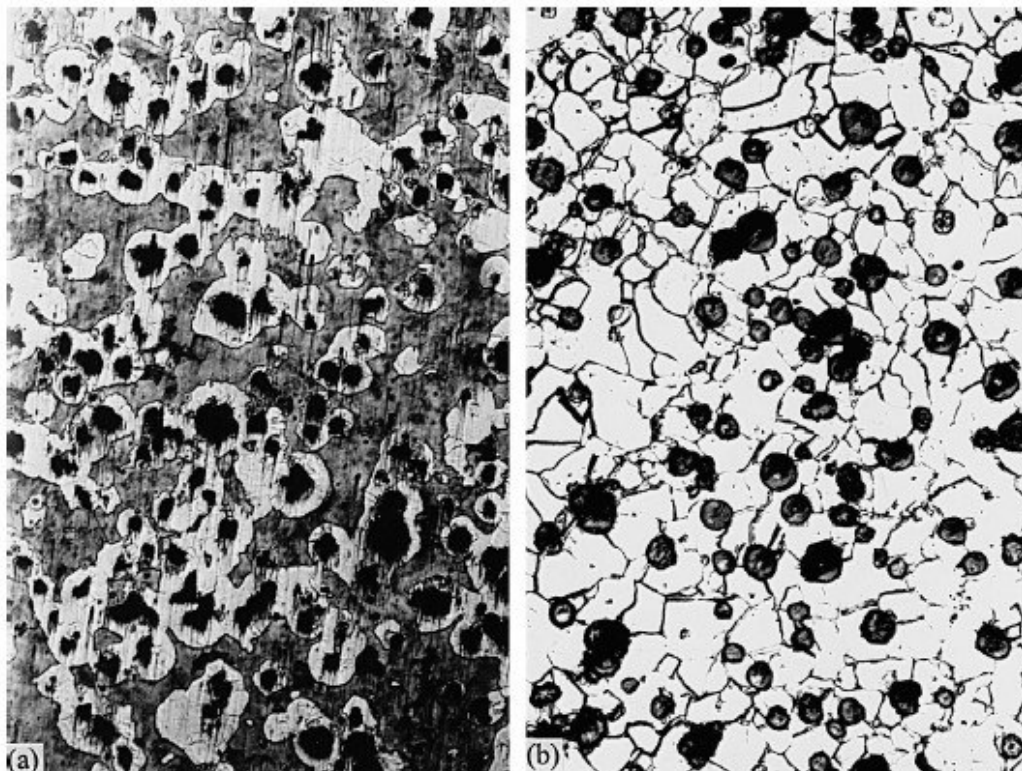


Fig. 2. (a) As-cast microstructure. (b) Fully ferritic microstructure, 70 × .

زمینه ی کاملاً فریتی که بوسیله عملیات آنیل حاصل شده است در شکل 2b نشان داده شده است . ماده پرکننده Ni-Fe ضریب انبساط کمتری در مقایسه با ماده ی پرکننده ی نیکلی دارد . برای جوشکاری قوس الکتریکی با فلز روکش دار ، الکتروود Ni-Fe که حاوی تقریباً 55 درصد نیکل باشد توصیه شده است ، زیرا علاوه بر افزایش قلبلیت ماشینکاری ، وجود گوگرد را نیز نسبتاً جبران میکند . به طور کلی در کاربرد فرایند های جوشکاری با فلز روکش دار ( SMAW ) بر روی چدن داکتیل ثابت شده است که مناطقی با ریزساختارهای متفاوت در فلز پایه تشکیل می شوند .

یک دسته بندی کلی از این مناطق در ادامه ( به شرح ذیل ) بیان می گردد :

- ناحیه ی ذوب (FZ)

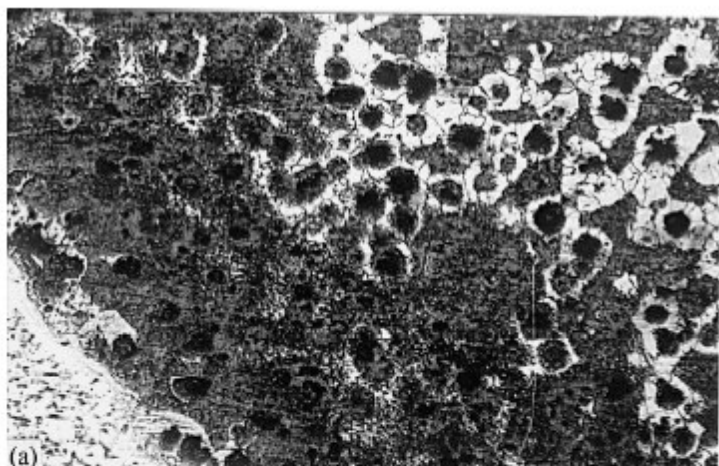
در این ناحیه فلز پایه ذوب شده و با فلز پر کننده ( فیلر متال ) مخلوط می شود . سرعت سردکنندگی بالا در این ناحیه موجب تشکیل سختی بالا و کاربرد های لدبوریتهی ترد در **جوشکاری اولیه** می شوند .

- ناحیه خمیری (PFZ)

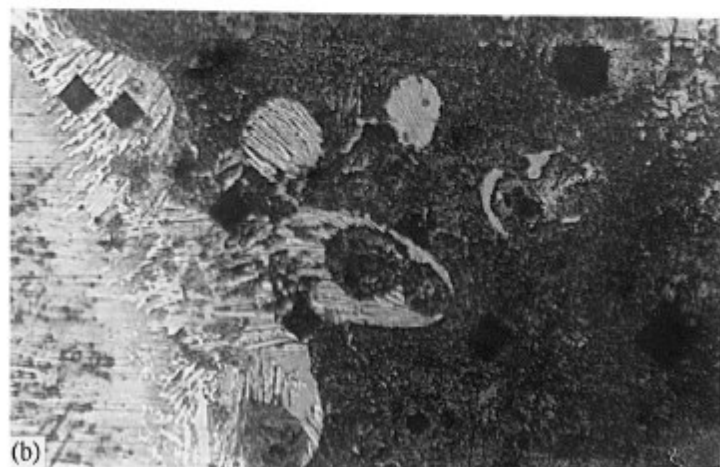
در مجاورت ناحیه ذوب بخشی از زمینه فلز پایه که نزدیک گرافیت های کروی اولیه هستند ، در حین عمل جوش ذوب شده در حالی که ما بقی زمینه به آستنیت تغییر فاز می دهند .

- ناحیه متأثر از جوش" داغدید!" (HAZ)

در این ناحیه پیک دمایی تا بالای نقطه ی بحرانی افزایش می یابد . هیچ نوع ذوبی صورت نمی گیرد ، اما زمینه در حین گرم شدن به آستنیت تبدیل می شود . در حین سرد شدن محصولات مختلفی بوسیله ی استحاله بدست می آید . این تغییرات در عرض چند ثانیه در ماده رخ می دهد .



(a)



(b)

Fig. 3. Microstructure of FZ and HAZ, as cast without preheat. (a) 70×, (b) 280×.

شکل 3 نوعی ریزساختار از صفحه ی چدن داکتیل جوشکاری شده بدون پیشگرم را نشان می دهد . جوش ها تفاوت متالورژیکی ویژه ای در ناحیه ی ذوب FZ - جاییکه ساختار کاربرد لدبوریتهی در اثر شرایط انجماد سریع شکل گرفته است - نشان نمی دهند .

با توجه بیشتر به فلز پایه چنین به نظر می رسد که جوانه های ذوب از مرز دانه ها و جداره های گرافیت های کروی زمینه شروع می شود . گرافیت های کروی اولیه توسط هاله ای از یک حلقه نازک کاربرد لدبوریتهی مانند آنچه در شکل 3b دیده می شود ، احاطه شده است .

این مورفولوژی چنین نتیجه می دهد

که انجماد سریع از حالت مذاب - که در آن گرافیت های کروی محلول و متلاشی اند - منجر به تشکیل مارتنزیت در ناحیه متاثر از جوش (HAZ) می شود .  
 شکل های 4 تا 6 چند نوع از ریزساختار ناحیه ذوب (FZ) و ناحیه متاثر از حرارت (HAZ) را که در دماهای مختلف پیشگرم شده اند نشان می دهند .

در نمونه ی خام پیشگرم شده در دمای  $200^{\circ}\text{C}$  ناحیه ی متاثر از جوش (HAZ) شامل تقریباً 80٪ پرلیت و 20٪ مارتنزیت بود . تحت شرایطی دیگر ، میزان پرلیت تا نزدیک 100٪ افزایش یافت .  
 ممکن است یک پوسته ی نازک از پرلیت در پیرامون کره ها مشاهده شود . شکل 5a ( شکل دهی به علت نفوذ به عقب کربن به داخل گرافیت کروی شده منجر به تشکیل پوسته ی نازک آستنیتی می شود ) ناحیه ی مخلوط فریت - پرلیت که معمولاً اطراف گروه های گرافیت مشاهده می شود ( شکل 6 ) به دلیل وجود یک پیک دمایی است . مارتنزیت به وجود آمده در ناحیه ی متاثر از جوش (HAZ) در قطعه خام ، به ایجاد خواص نامرغوب در قطعه بعد از عملیات آنیل کردن در زیر دمای بحرانی کمک میکند . این به دلیل تجزیه ی مارتنزیت به فریت و

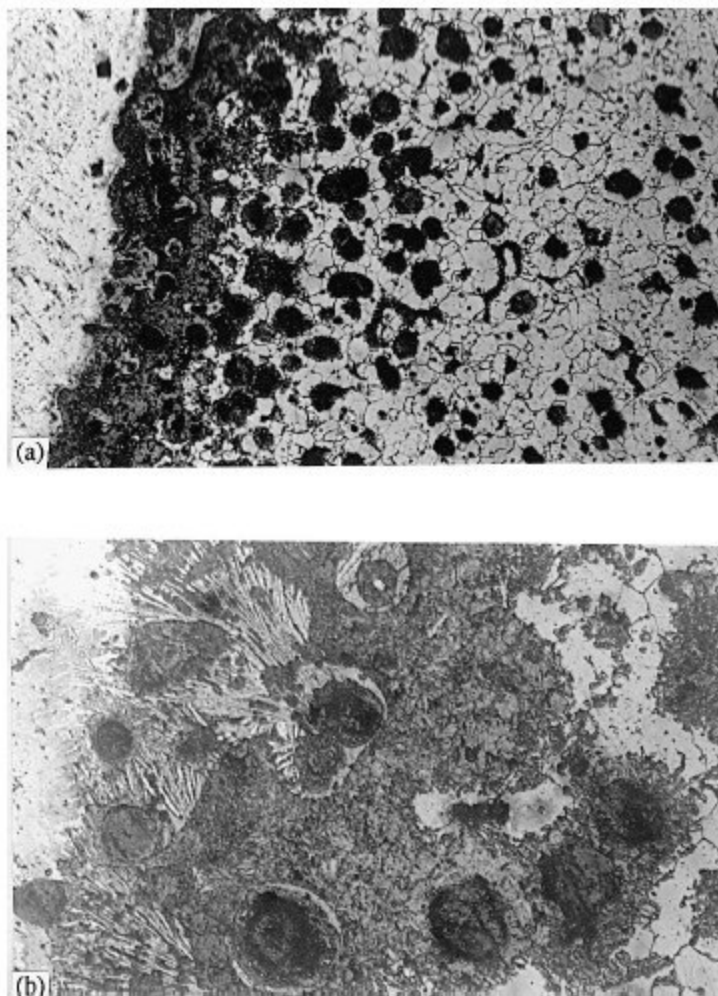


Fig. 4. Microstructure of FZ and HAZ, ferritizing annealing with preheating at  $200^{\circ}\text{C}$ . (a)  $70\times$ , (b)  $280\times$ .

گرافیت های ریز و پراکنده ثانوی می باشد .

تجزیه ی بینیت و پرلیت در ناحیه ی متأثر از جوش منجر به آزادی فریت و کربن از بینیت یا پرلیت زمینه می شود و سبب رشد آنها بر روی گرافیت اولیه موجود در چدن داکتیل می شود .

ثابت شده است که این توزیع ریز گرافیت های ثانویه شدیداً باعث کاهش در صد ازدیاد طول (Elongation) و مقاومت به ضربه ی فریت شده که به افت خواص مکانیکی قطعه کمک میکند .

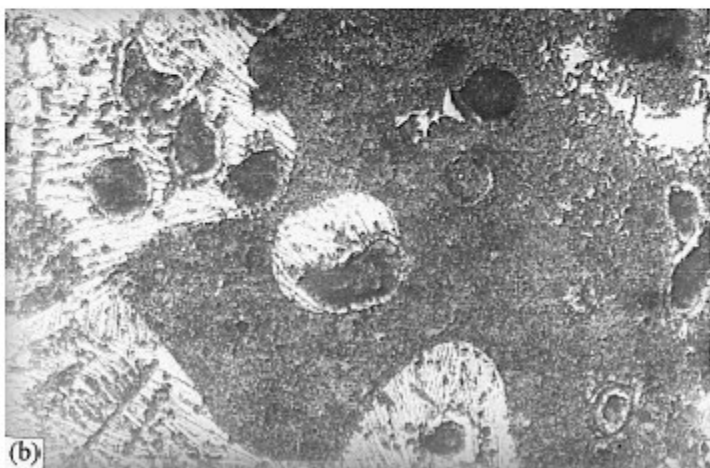
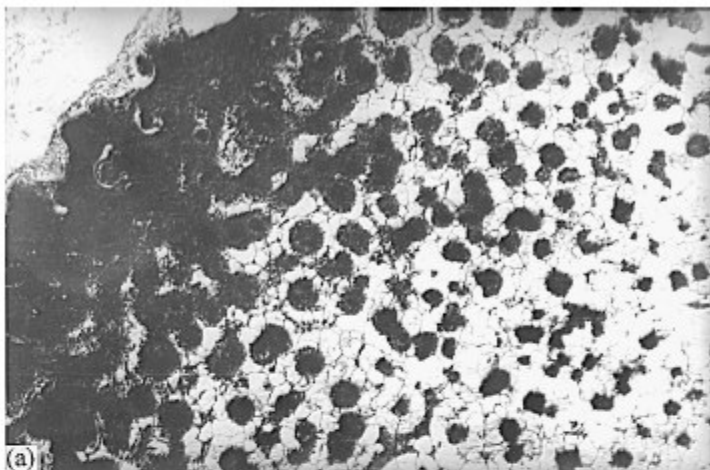


Fig. 5. Microstructure of FZ and HAZ, ferritizing annealing with preheating at 300°C (a) 70×, (b) 280×.

تشکیل مارتنزیت در ناحیه ی متأثر از جوش نه تنها به دلیل ناکافی بودن دمای پیشگرم بوده بلکه می تواند ناشی از ثابت نگه نداشتن دمای قطعه بعد از جوشکاری برای یک مدت زمان

کافی ، جهت اطمینان از استحاله ی غیر مارتنزیتی باشد . نمونه ها بعد از جوشکاری باید به مدت 2 ساعت در دمای 300°C در کوره الکتریکی نگه داشته شده و سپس در کوره تا دمای اتاق سرد شوند . در قطعات جوشکاری شده چدن داکتیل به عنوان مثال می توان از ترک های زیر دانه ای به وسیله پیشگرم کردن کافی قطعه ، جلوگیری کرد .

پیشگرم کردن با دماهایی پایین تر برای جوشکاری با دماهای داخلی زیاد و یا جوشکاری مقاطع نازک قابل قبول است به شرط اینکه در حین جوشکاری دمای واقعی منطقه HAZ قبل از کامل شدن استحاله بینیتی و یا پرلیتی به زیر دمای MS کاهش پیدا نکند .

پیشنهاد شده است که از دمای پیشگرم بیش از  $500^{\circ}\text{C}$  اجتناب شود ، زیرا باعث تشکیل شبکه های کاربید پیوسته در ناحیه خمیری می شود . برای سنجش و ارزیابی اندازه های مختلف هر ناحیه ذوب و HAZ در جوش ، دستگاه های ارزیابی اپتیک ، به کار گرفته شده اند . اندازه ناحیه HAZ به همان اندازه که تحت تاثیر دمای داخلی جوش و دمای پیش گرم می باشد تحت تاثیر ساختار اولیه زمینه قطعه نیز هست .

شکل های 7 و 8 پهنای ناحیه ذوب و

ناحیه متاثر از جوش را برای هردو نمونه خام و نمونه آئیل شده فریتی برحسب دمای پیشگرم نشان میدهد .

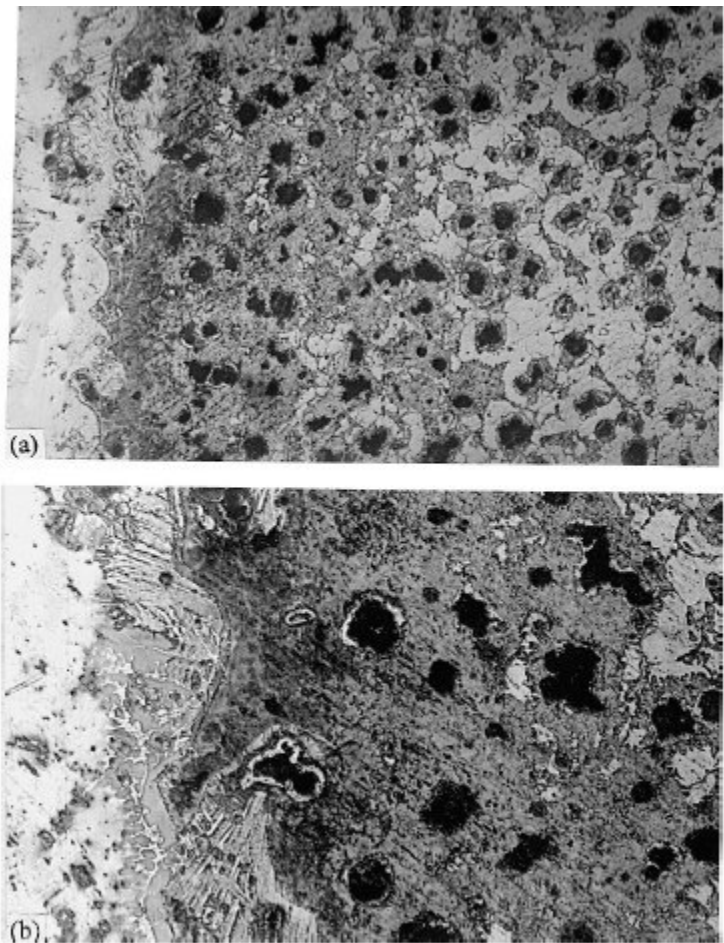


Fig. 6. Microstructure of FZ and HAZ, as cast with preheating at  $400^{\circ}\text{C}$  (a)  $70\times$ , (b)  $280\times$ .

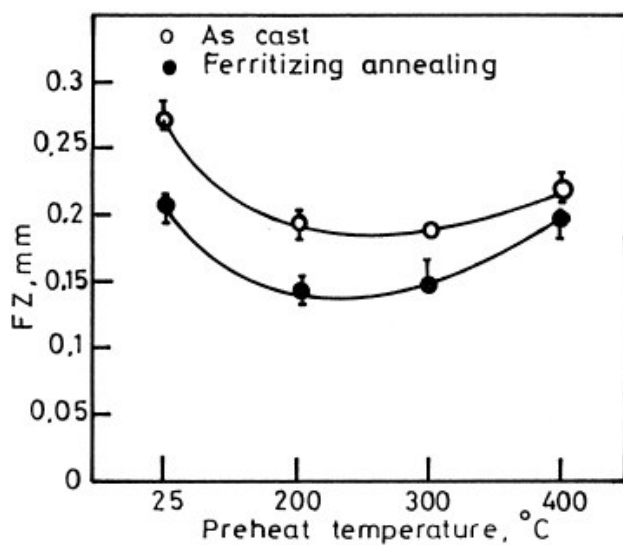


Fig. 7. Fusion zone size.

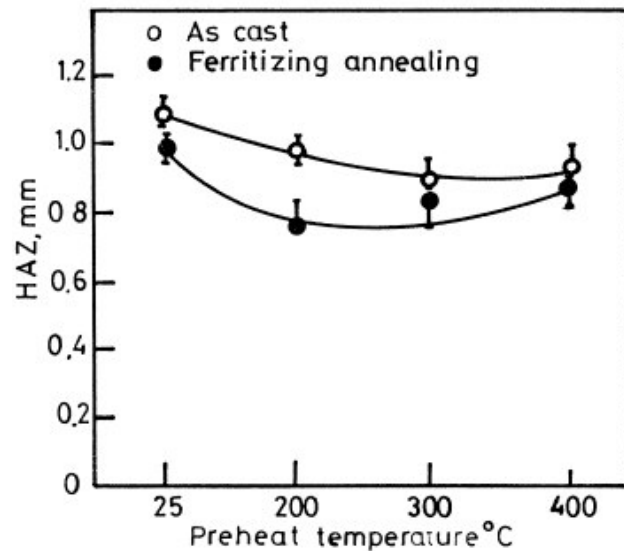


Fig. 8. Heat-affected zone size.

اندازه منطقه FZ) در شکل 7) ابتدا با افزایش دمای پیشگرم کاهش می یابد و سپس با افزایش بیشتر دمای پیشگرم این ناحیه افزایش می یابد. نمودار "پهنای منطقه متأثر از جوش" بر حسب دمای پیشگرم (شکل 8) دمای  $300^{\circ}\text{C}$  را برای جوشکاری نمونه خام و دمای  $200^{\circ}\text{C}$  را برای نمونه آنیل شده ی فرتیتی جهت دستیابی به کمترین منطقه HAZ ارائه داده است.

مشاهدات مشابهی در مورد چدن های داکتیل پرلیتی توسط محققان دیگر گزارش شده است. پهنای منطقه FZ به مدت زمانی که قطعه در بالای نقطه ذوب نگه داشته میشود بستگی دارد. هنگامی که قطعه پیشگرم شده باشد، این مدت زمان بیشتر است. بنابراین انتظار می رود پیشگرم کردن به طور عکس عمل کرده و اندازه ناحیه ذوب بیشتر شود. بنابراین تشکیل مارتنزیت مشکل تر می شود. در فعالیت حاضر، این نتیجه در مورد پیشگرم و شرایط جوشکاری دیده نشده بود. در مقابل، با پیشگرم کردن قطعه، مناطق ذوب باریکی به دست آمد.

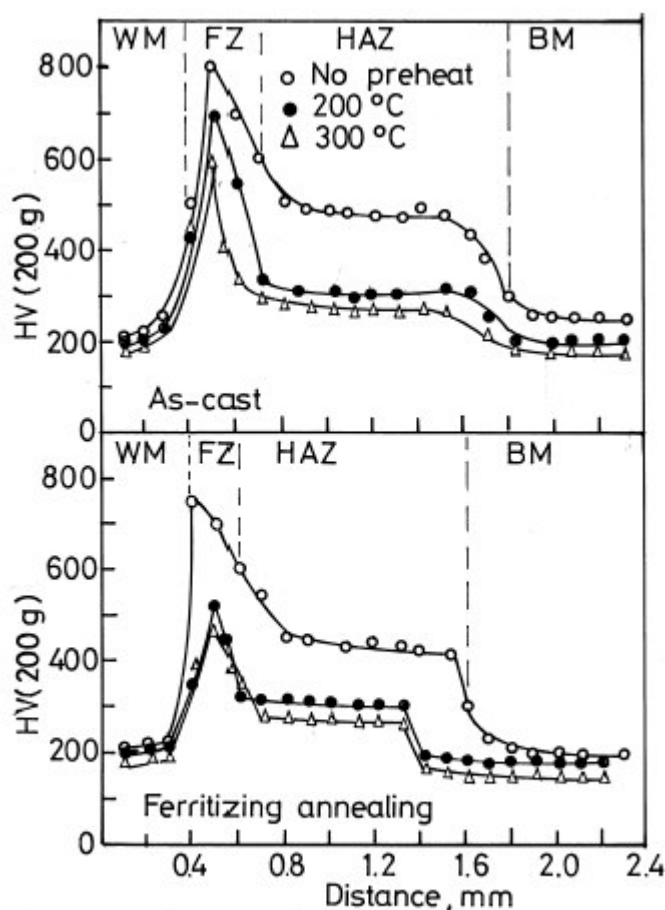


Fig. 9. Microhardness vs. distance curves.

بالا بودن ظرفیت کربن زمینه ی پرلیتی یا نیمه پرلیتی موجب استحاله سریعتر آن بخش از زمینه به آستنیت می شود. از طرف دیگر انتظار می رود ظرفیت کم کربن فريت باعث تاخير در تشكيل آستنیت شود. تحت شرایط جوشکاری یکسان، ناحیه ی متأثر از جوش نمونه چدن داکتیل خام بزرگتر از چدن فرتیتی خواهد بود.

تست های ریز سختی اریب، بر روی منطقه جوش انجام گرفت. شکل 9 منحنی ریز سختی را بر حسب فاصله از خط برش در شرایط مختلف نشان می دهد. با از چپ به راست رفتن بر روی نمودارها در شرایط مختلف در ابتدا میزان سختی، تابع فلز پر کننده بوده و با آن در ارتباط است، سپس سختی در ناحیه FZ افزایش می یابد.

## RZ سختی های بالاتر مربوط به چدن سفید ( کاربید ها ) در یک منطقه نازک می باشد

Table 4  
UTS and CVN impact strengths for different welding conditions

	UTS (MPa)	CVN (J)			
		Weld metal <sup>a</sup>	Weld fusion line	HAZ 2 mm from weld fusion line	HAZ 4 mm from weld fusion line
As-cast	430	11	3	4	7
Preheat at 200°C	465	12	5	6	8
Preheat at 300°C	530	14	6	8	9
Ferritizing annealing	350	45	10	13	15
Preheat at 200°C	450	50	13	15	17
Preheat at 300°C	420	48	11	14	16

<sup>a</sup>Unnotched.

در ناحیه HAZ سختی مطابق با فلز پایه کاهش می یابد . صرف نظر از شرایط جوش ، متوسط سختی فلز جوش حدود 200 ویکرز بود . شکل 9 همچنین کاهش سختی ناحیه ذوب را با افزایش درجه حرارت پیشگرم کردن نشان می دهد .

خواص کششی و ضربه ای ، متوسط نتیجه حاصل از سه مورد تست انجام گرفته را بیان می کنند . جدول شماره 4 ، نتایج تست های ضربه CVN و کششی را نشان می دهد . نمونه های خام و آنیل شده فریتی یک افزایش را در مقدار استحکام نهایی ( UTS ) در جوشکاری همراه با پیشگرم نشان می دهند .

بیشترین مقدار UTS مربوط به نمونه خام پیشگرم شده در دمای 300<sup>o</sup>C و نمونه آنیل شده فریتی پیشگرم شده در دمای 200<sup>o</sup>C می باشد . آقای Pease ، تاثیر پیشگرم کردن قطعه را در به حداقل رساندن ترک های ناحیه HAZ و یا منطقه جوش گزارش کرد .

اندازه های استحکام و سختی ، نسبتاً طبیعی هستند . انرژی های شکست برای تمام نمونه های فلز جوش و نیز آنهایی که دارای محل شکاف در خط ذوب و در HAZ در دو تا چهار میلیمتر از خط ذوب هستند در جدول 4 نشان داده شده است .

بهترین انرژی شکست مربوط به نمونه پیشگرم شده خام در 200<sup>o</sup>C و برای نمونه پیشگرم شده آنیل شده فریتی در 300<sup>o</sup>C بدست آمده است .

اگرچه استحکام قطعات جوش خورده به یک درصد بالایی از چدن داکتیل پایه رسیده است ( 88 تا 66 برای نمونه خام و 99 تا 74 برای نمونه فریتی ) ولی داکتیلیته ی نمونه ها کاهش یافت ( برای نمونه ی فریتی از 20 تا 5٪ و برای نمونه ی خام از 10 تا 3٪ )

داکتیلیته به علت وجود کاربید ها به شدت کاهش یافته است . این نتایج نشان می دهد که در اگرچه ریزساختار ناحیه HAZ مورد اهمیت می باشد ، ولی این پارامتر به تنهایی تعیین کننده ی خواص کششی مقطع جوش در قطعات داکتیلی جوش خورده نیست .

## • نتایج :

بر طبق نتایج گزارش شده در این مقاله می توان گفت که :

۱. چدن داکتیل میتواند با پیشگرم و یا بدون پیشگرم جوشکاری شود و این تاثیری در تشکیل ترک ندارد .
  ۲. تحت شرایط این آزمایش ، پهنای ناحیه ذوب و HAZ به ترتیب در محدوده  $0.15 - 0.27 \text{ mm}$  و  $0.78 - 1.1 \text{ mm}$  بودند .
  ۳. دماهای پیشگرم  $300^{\circ}\text{C}$  و  $200^{\circ}\text{C}$  به ترتیب برای نمونه های خام و نمونه چدن داکتیل فریتی برای تحصیل نتایج زیر کافی است:
- i. جلوگیری از شکل گیری مارتنزیت در ناحیه ی HAZ و کاهش اندازه ذوب
  - ii. دست یابی به خواص مکانیکی بهینه
۴. در مورد نمونه چدن داکتیل خام جوش خورده ، استحکام نهایی مورد انتظار ( UTS ) نمی تواند بدست آید ، در حالی که برای نمونه ی فریتی بدست آمد .