

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



Evaluation of lamellar tearing in HSLA-100 steel

Abstract

HSLA-100 steel as a hot-rolled steel with high strength and ductility is extensively used in making large structures such as naval ships and submarines. The heterogeneous nature of the hot deformation process causes the anisotropy of steel plates. So in hot rolled steel plates there is the possibility of lamellar tearing. In the present study by using the z-directional tensile test and taking the characteristics of inclusions into account, the susceptibility of lamellar tearing of HSLA-100 steel has been assessed. The results show that the HSLA-100 steel has considerable resistance to lamellar tearing. Also the microstructural evaluation show that HSLA-100 has special inclusion which gives rise to it's the enough resistance to lamellar tearing.

Key words: Lamellar tearing, HSLA-100 steel, nonmetallic inclusion, Through-thickness direction.

Conference 2014

ارزیابی مقاومت به پارگی لایه ای فولاد HSLA-۱۰۰

چکیده

فولاد HSLA-۱۰۰ به عنوان یک فولاد نورد گرم شده با استحکام و انعطاف‌پذیری بالا کاربرد کلیدی در سازه‌های عظیم دریایی نظیر کشتی‌ها و زیردریایی‌ها دارد. فولادهایی از این قبیل طی فرایند تولید ناهمسانگرد شده و امکان وقوع پارگی لایه-ای حین ساخت سازه‌هایی وجود دارد. در تحقیق حاضر مقاومت به پارگی لایه‌ای فولاد HSLA-۱۰۰ با انجام آزمایش کشش جهت ضخامت طبق استاندارد و نیز بررسی مشخصه‌های آخال‌های این فولاد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش کشش جهت ضخامت نشان داد میزان کاهش سطح مقطع این فولاد بالاتر از حداقل مقدار لازم بوده و لذا مقاوم به پارگی لایه ای است. همچنین بررسی‌های ریزساختاری حاکی از وجود آخالهایی با مشخصه‌های خاص در ریزساختار این فولاد می باشد که نقش آنها در مقاوم نمودن فولاد HSLA-۱۰۰ در برابر پارگی لایه ای ارزیابی شده است.

کلمات کلیدی: پارگی لایه ای، فولاد HSLA-۱۰۰، آخال، امتداد ضخامت.

Conference 2014

مقدمه

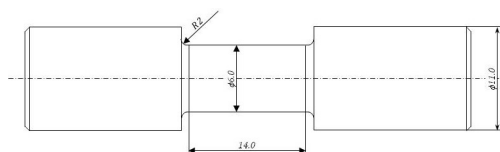
پارگی لایه ای تحت اثر متقابل ناهمسانگردی ورقهای نوردشده و تنش های ناشی از انقباض جوش ایجاد می‌شود (ابیضی، ۱۳۸۷؛ ابیضی و ابراهیمی ۱۳۸۷؛ Bailey، ۱۹۹۴). این عیب دارای طبیعت پیچیده و خطرناکی می‌باشد، بگونه ای که هزینه تعمیرات ناشی از آن در سازه‌ها بسیار قابل توجه بوده و وقوع آن در مرحله ساخت باعث بروز تاخیرهای طولانی مدت می‌شود (Farrar و Dolby و Baker، ۱۹۶۹). نگرانی از وقوع پارگی لایه ای در سازه های عظیم دریایی، پل ها و ... بسیار حائز اهمیت بوده و هنوز این نگرانی پابرجاست (ابیضی، ۱۳۸۷؛ ابیضی و ابراهیمی ۱۳۸۷؛ Bailey، ۱۹۹۴؛ Farrar و همکاران، ۱۹۶۹). اغلب فولادهای نورد گرم شده که کاربرد قابل توجهی در ساخت چنین سازه هایی دارند، تا حدودی ناهمسانگرد می‌باشند (Ebrahimi و Abyazi و Abbasi، ۲۰۰۸). آخالها که حضورشان در فولادها اجتناب‌ناپذیر بوده و نقش اساسی در ایجاد این ناهمسانگردی دارند، با تضعیف خواص امتداد ضخامت ورق می‌توانند باعث وقوع پارگی لایه‌ای شوند (Ebrahimi و همکاران، ۲۰۰۸؛ Farrar، ۱۹۷۴؛ Heuschkel، ۱۹۷۱). سازه‌های فولادی تحت بارهای تکرارشونده کششی ناشی از بارهای دینامیکی، لازم است از نظر مقاومت به پارگی لایه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرند زیرا احتمال رشد ترک در این نواحی بسیار زیاد است (AWS D1.5). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲). فولاد HSLA-۱۰۰ نوعی فولاد نورد گرم شده است که کاربرد زیادی در سازه‌های دریایی نظیر کشتی‌ها و زیردریایی ها دارد. با توجه به اعمال بارهای دینامیکی در چنین سازه‌هایی و همچنین وجود اتصالات حساس در آنها بررسی مقاومت به پارگی لایه‌ای این فولاد حائز اهمیت است. در تحقیق حاضر مقاومت به پارگی لایه‌ای فولاد HSLA-۱۰۰ با انجام آزمایش کشش در امتداد ضخامت و بر اساس استاندارد انجام گرفت و سپس با ارزیابی مشخصه های آخال‌های موجود در آن، نتایج مورد تحلیل قرار گرفت.

روش پژوهش

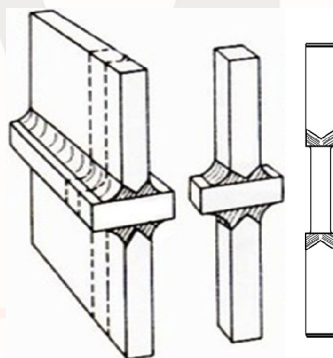
فولاد HSLA-۱۰۰ مورد تحقیق از ورق با ضخامت ۱۸mm استخراج گردید که ترکیب شیمیایی آن فولاد در جدول ۱ نشان داده شده است. تعداد دو نمونه کشش با ابعاد نشان داده شده در شکل ۱ با استفاده از استاندارد DIN EN 10164 تهیه شد. برای تهیه نمونه‌های کشش در امتداد ضخامت از دو ورق کمکی با طول معادل ورق مورد بررسی استفاده شد که به روش جوشکاری GMAW با الکترود توپودری مستحکم به ورق HSLA-۱۰۰ متصل شدند. نوع اتصال نیم‌جناغی دوطرفه و نفوذ کامل انتخاب شد و پس از جوشکاری با روش رادیوگرافی از سلامت آن اطمینان حاصل شد. با در نظر گرفتن ابعاد نمونه‌های مورد نیاز، قسمت‌هایی به تعداد لازم از ورقها بریده شد. ابتدا مقطع نمونه‌های کشش توسط ماشین‌کاری استوانه‌ای گردیده و در نهایت نمونه‌های کشش با ابعاد و اندازه‌های مورد نیاز تهیه شد. ضمناً برای اطمینان از انطباق وسط ضخامت ورق با وسط بخش باریک شده نمونه کشش جهت ضخامت، ابتدا نمونه‌ها با محلول نیتال ۳ درصد حکاکی شده و پس از رویت خطوط جوش، انطباق کامل ایجاد شد. شمایی از مراحل شرح داده شده برای ساخت نمونه‌های کشش جهت ضخامت در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی فولاد HSLA ۱۰۰ مورد استفاده در این تحقیق.

عنصر	کربن	منگنز	سیلیسیم	فسفر	گوگرد	مس	کروم	مولیبدن	نیکل	نیوبیم	تیتانیوم	وانادیوم
درصد وزنی	۰/۰۴	۰/۷۸	۰/۲۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۱/۷۲	۰/۶۲	۰/۶۴	۳/۵۵	۰/۰۳۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵



شکل ۱ شکل و ابعاد نمونه کشش (ابعاد بر حسب میلیمتر).



شکل ۲ شمایی از مراحل شرح داده شده ساخت نمونه‌های کشش امتداد ضخامت.

آزمایش کشش با استفاده از دستگاه هیدرولیک اینسترن (Instorn) مدل ۸۵۰۲ ساخت کشور انگلستان با نرخ کرنش ۱ میلی‌متر بر دقیقه و در دمای اتاق انجام شد. برای اندازه‌گیری کرنش در طول آزمایش کشش از کرنش-سنج استفاده شد و مقادیر لحظه‌ای تنش و کرنش ثبت گردید. نمونه‌های متالوگرافی با استفاده از سنباده‌های شماره ۲۸۰ تا ۲۰۰۰ و نیز پولیش نهایی با خمیر الماسه ۱۵، ۳ و در نهایت ۱ میکرومتر آماده شد. برای مشاهده ریزساختار محلول حکاکی نیتال استفاده شد. بررسی‌های ریزساختاری با کمک میکروسکوپ نوری مدل MPG3 و دستگاه SEM مدل Cam Scan MV2300 مورد بررسی قرار گرفت. مشخصه‌های آخالها نیز با استفاده از نرم افزار image analysis تعیین گردید.

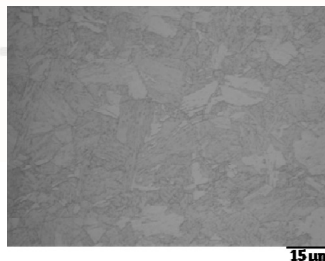
تجزیه و تحلیل داده‌ها

ریزساختار فولاد HSLA-۱۰۰ مورد بررسی در این تحقیق از مارتنزیت تشکیل شده است که در شکل ۳ نشان داده می‌شود. نتایج آزمایش کشش امتداد ضخامت این فولاد در جدول ۲ آورده شده است. این فولاد دارای استحکام

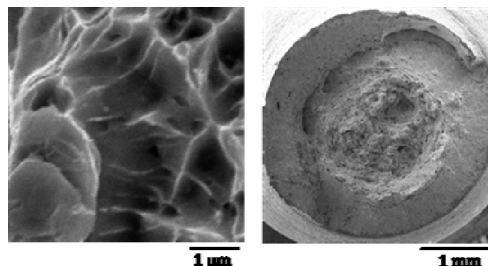
کششی حدود ۹۰۰MPa و ازدیاد طول نسبی حدود ۲۱ درصد می‌باشد. سطح شکست نمونه‌های کشش در شکل ۴ نشان داده شده است. حالت فنجان مخروطی شکست نمونه کشش همچنین وجود حفرات ریز موجود در سطح شکست نشان از انعطاف‌پذیری کافی و شکست نرم این فولاد می‌باشد. در استانداردها برای ارزیابی حساسیت به پارگی لایه ای به مقدار کاهش سطح مقطع نمونه کشش جهت ضخامت استاندارد می‌شود (DIN EN 10164، ۱۹۹۳؛ ASTM A770/A770M، ۱۹۷۸). بگونه‌ای که ماده با کاهش سطح مقطع کمتر از ۲۵ درصد را حساس به پارگی لایه‌ای ارزیابی می‌نمایند (Farrar، ۱۹۷۴؛ Heuschkel، ۱۹۷۱). با توجه به اینکه میزان کاهش سطح مقطع نمونه کشش امتداد ضخامت ۴۵٪ می‌باشد، لذا فولاد HSLA-۱۰۰ در برابر پارگی لایه‌ای مقاوم است. دلیل اصلی این مقاومت به پارگی لایه‌ای این فولاد را می‌توان در مشخصه‌های خاص آخالهای آن جستجو نمود.

جدول ۲ نتایج آزمایش کشش امتداد ضخامت فولاد HSLA-۱۰۰ مورد استفاده در این تحقیق.

نمونه	استحکام کششی نهایی (مگاپاسکال)	استحکام تسلیم (مگاپاسکال)	ازدیاد طول نسبی (%)	کاهش سطح مقطع (%)
۱	۸۹۶	۸۷۸	۲۲	۴۵
۲	۹۰۸	۸۹۳	۲۱	۴۵
میانگین	۹۰۲	۸۸۶	۲۱/۵	۴۵



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ نوری ریزساختار فولاد HSLA-۱۰۰.



شکل ۴ سطح شکست نمونه های کشش امتداد ضخامت فولاد HSLA-۱۰۰.

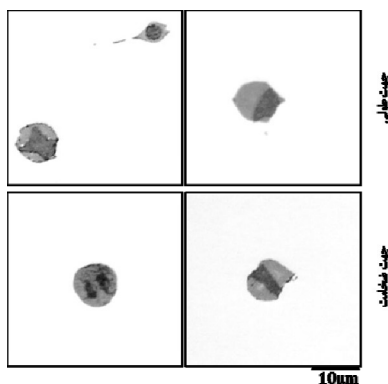
شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ نوری آخال‌های موجود در امتدادهای طولی و ضخامت فولاد HSLA-۱۰۰ را نشان می‌دهد. این آخال‌ها دارای از دو رنگ متفاوت تشکیل شده‌اند، بگونه‌ای که بخش خاکستری رنگ، بخش تیره رنگ را احاطه نموده است. به این نوع از آخال‌ها اصطلاحاً چشم گاوی^۱ گفته می‌شود که در اثر افزودن کلسیم برای کنترل شکل آخال‌ها ایجاد می‌شود (Kiessling و Lange، ۱۹۷۸). نتایج بررسی آماری به متوسط اندازه آخال‌های موجود در امتداد ضخامت ۳/۳ میکرومتر و بزرگترین آخال آن ۱۲/۷ میکرومتر منتج شد.

شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی آخال‌ها و توزیع عناصر آنرا نشان می‌دهد. مشابه تصاویر میکروسکوپ نوری، در این تصاویر نیز آخال‌ها از دو منطقه تشکیل شده‌اند که بخش خاکستری که بخش تیره رنگ را احاطه کرده است. مطابق شکل ۶ بخش‌های تیره رنگ داخلی شامل اکسیژن و آلومینیم و بخش‌های محاطی خاکستری غالباً شامل کلسیم، گوگرد و منگنز می‌باشد. به این صوت می‌توان این آخال‌ها را کمپلکسی از اکسید آلومینیم-اکسید کلسیم-سولفید منگنز در نظر گرفت. جنس آخال‌های این فولاد را سایر محققان نیز از نوع اکسیدی-سولفیدی تشخیص داده‌اند (Chae و Koss، ۲۰۰۴؛ Chattoraj و Tarafder و Swapan و Tarafder، ۲۰۰۳).

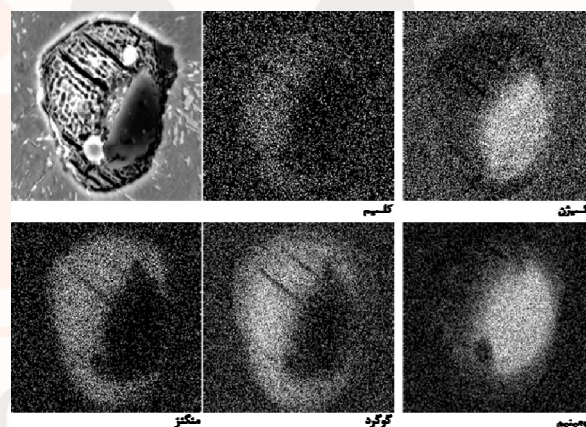
اندیس کرویت آخال‌ها حدود ۰/۷۰ تعیین شد که نشان دهنده کروی بودن آخال‌های موجود در این فولاد است که در حین نورد تغییر شکل پلاستیک چندانی نداده‌اند. این امر می‌تواند بدلیل افزودن کلسیم حین فولادسازی باشد. به این صورت که در نتیجه‌ی فراوری مذاب و افزودن عناصر آلیاژی تعداد، اندازه، ترکیب شیمیایی و مورفولوژی آخال‌ها کنترل می‌شود. نشان داده شده است که افزودن کلسیم می‌تواند مورفولوژی آخال‌ها را اصلاح نماید (عباسی فیروزجاه، ۱۳۷۸؛ Ghosh، ۲۰۰۱؛ Griffin و Bares، ۲۰۰۰).

با توجه به اینکه انرژی آزاد تشکیل اکسید کلسیم در بین اکسیدهای رایج حداقل مقدار است، از اینرو کلسیم تمایل زیادی به اکسیژن دارد (Kiessling و Lange، ۱۹۷۸). اکسید کلسیم تشکیل شده سپس با آخال‌های گوشه-دار و سخت اکسید آلومینیم واکنش داده و کمپلکس اکسید آلومینیم-اکسید کلسیم^۲ تشکیل می‌دهند. این کمپلکس‌ها در دمای فولادسازی مذاب بوده و بصورت متناوب در مذاب شناور می‌شوند.

1- Bull's eye
2- CaO-Al₂O₃



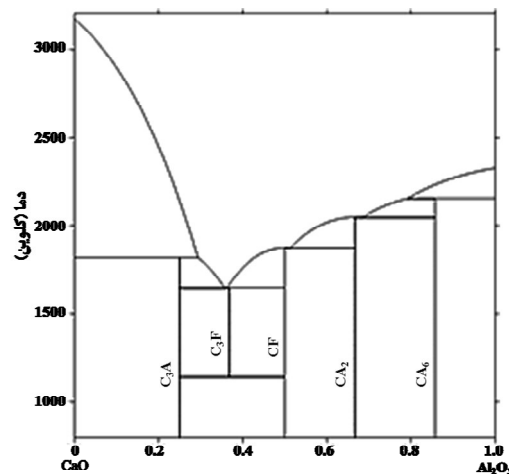
شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ نوری آخالهای امتداد ضخامت فولاد ۱۰۰-HSLA.



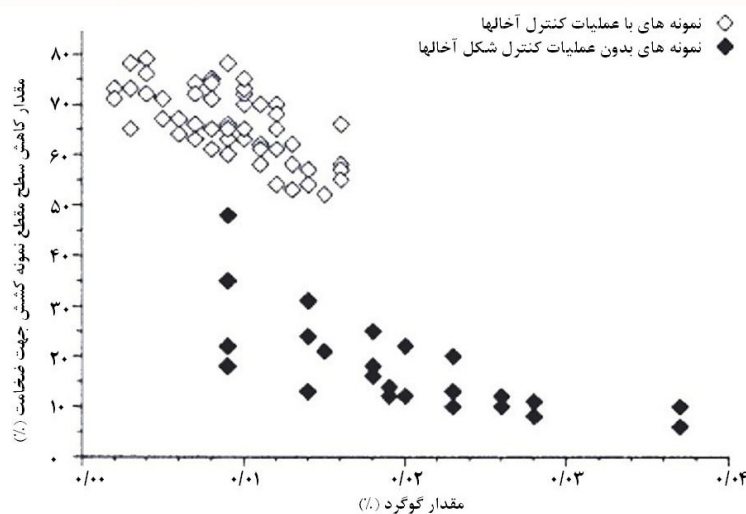
شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی آخال‌ها و توزیع عناصر آن در فولاد ۱۰۰-HSLA.

نتیجه‌ی آن یک فولاد اکسیژن‌زدایی شده شامل مقدار اندکی از آخال‌های مضر اکسید آلومینیم و مقدار زیادتری از آخال‌های گلبولی با شکل‌پذیری اندک آلومینات‌های کلسیم است (Kiessling, ۱۹۸۹). همچنین نشان داده شده است که افزودن کلسیم در کنترل شکل سولفید و کاهش مقدار گوگرد پاتیل نقش دارد (Griffin و Bares, ۲۰۰۰؛ Shi و Atkinson, ۲۰۰۳؛ Wilson, ۱۹۹۹). مطابق دیاگرام فازی شکل ۷ آلومینات کلسیم در دمای فولادسازی بصورت مذاب می‌باشند. به این صورت آخال‌های مذاب آلومینات کلسیم باقی‌مانده در فولاد مذاب در طول خنک‌شدن و انجماد با گوگرد واکنش می‌دهند. از اینرو تجمع سولفید منگنز موجود در نواحی بین دندریتی حذف شده یا بسیار اندک می‌گردد (Kiessling, ۱۹۸۹). تعداد و اندازه آخال‌های کشیده شده و مضر سولفید منگنز کاهش یافته و آنها را به آخال‌های کمپلکس متشکل از سولفیدهای کلسیم-منگنز^۳ تبدیل می‌نماید که حین نورد گرم تغییر شکل نمی‌دهند (Griffin و Bares, ۲۰۰۰؛ Maiti و Hawbolt, ۱۹۸۵). به این ترتیب با کنترل شکل

سولفیدها توسط افزودن کلسیم و با کاهش اندازه گوگرد حساسیت به پارگی لایه‌ای عملاً حذف می‌شود (Hanus, ۲۰۰۳) (شکل ۸). از اینرو عملیات افزودن کلسیم مقدار گوگرد و اکسیژن فولادها را کاهش داده و آخال‌های اکسیدی و سولفیدی باقیمانده را اصلاح می‌کند.



شکل ۷ دیاگرام فازی اکسید کلسیم و اکسید آلومینیم.



شکل ۸ تاثیر شکل و مقدار گوگرد بر کاهش سطح مقطع نمونه

کشش جهت ضخامت به عنوان معیاری از حساسیت به پارگی لایه ای (Hanus, ۲۰۰۳).

نتیجه گیری

- ۱- انجام آزمون کشش در امتداد ضخامت فولاد HSLA-100 نشان داد که میزان کاهش سطح مقطع آن بالاتر از حداقل مقدار لازم و لذا مقاوم به پارگی لایه ای است.
- ۲- بررسی اندازه آخالهای موجود در فولاد HSLA-100 نشان داد که از متوسط اندازه ۳/۳ میکرومتر و اندیس کرویت ۰/۷ برخوردارند و طی نورد گرم کشیده نشده‌اند.
- ۳- آخال‌های موجود به صورت ترکیبی پیچیده از اکسید آلومینیم-اکسید کلسیم-سولفید منگنز هستند، بگونه‌ای که هاله ای از سولفید منگنز بخش آلومینیایی واقع در مرکز را احاطه نموده است.

مراجع

ابیضی، آرزو (۱۳۸۷). بررسی پارگی لایه ای فولاد S۳۵۵N. تبریز: پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند.

ابیضی، آرزو و ابراهیمی، علیرضا. (۱۳۸۷). "بررسی پارگی لایه ای در محل اتصال دیاگونال به lower آرک پل میانگذر دریاجه ارومیه". دومین کنفرانس بین‌المللی بازرسی‌های غیرمخرب، ۳۰ مهر و ۱ آبان ۱۳۸۷، تهران.

عباسی فیروزجاه، مجید (۱۳۷۸). بررسی روش اکسیژن زدایی بر مشخصه‌های آخال و خواص مکانیکی فولاد AISI: ۹۳۳۵. تهران: پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۲). آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، چاپ سیزدهم، ویرایش دوم، تهران.

ASTM A770/A770M (1978). "Standard Specification for Through-Thickness Tension Testing of Steel Plates for Special Application".

AWS D1.5, (2004). Bridge Welding Code.

Atkinson, H.V., Shi, G. (2003). "Characterization of inclusions in clean steels: a review including the statistics of extremes methods". *Progress in Materials Science*, Vol. 48, Pp. Pp.457-520.

Bailey, N., (1994). "Weldability of ferritic steels". ASM international. The material information society, First edition.

Chae, D., Koss, D.A. (2004). "Damage accumulation and failure of HSLA-100 steel". *Materials Science and Engineering A*, Vol. 366, Pp. 299-309.

Chattoraj, I., Tarafder, M., Swapan K. Das, Tarafder, S. (2003). "Hydrogen induced brittle crack growth in Cu-strengthened HSLA-100 steels". *Materials Science and Engineering A*, Vol. 339, Pp. 136-149.

DIN EN 10164 (1993). "Steel Products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product".

Ebrahimi, A. R., Abyazi, A., Abbasi, S. M. (2008). "Anisotropy of S355N steel". *International Journal of ISSI*, Vol. 5, No. 2, Pp. 14-20.

Farrar, J. C., Dolby, R. E., & Baker, R. G. (1969). "Minimizing lamellar tearing y improving z-direction ductility". *Welding Research Supplement*, Pp. 274s - 282s.

Farrar, J. C. M. (1974). "Inclusion and susceptibility to lamellar tearing of welded structural steels". *Welding Research Supplement*, Pp. 321 S -331S.

Ghosh, A. (2001). "Secondary steel making". London, New York, Washington.

Griffin, J. A., Bares, C. E. (2000). "Clean cast steel technology-machinability and technology transfer". University of Alabama at Birmingham.

- Hanus, F. (2003). "Small cause, large effect – influence of trace elements on the properties and the weldability of structural and pressure vessel steels". *Hydrocarbon Engineering*, Pp. 97-101.
- Heuschkel, J. (1971). "Anisotropy and weldability". *Welding Research Supplement*, Pp. 110S-126S.
- Kiessling, R., & Lange, N. (1978). "Non-metallic inclusion in steel". The metals society, London, 2.ed, part III.
- Kiessling, R., and Lange, N. (1978). "Non-metallic Inclusions in Steel". Parts I-IV, The metal society, London.
- Kiessling, R.K. (1989). "Non-metallic inclusions in Steel". Part 5, The institute of metals, London.
- Maiti, R., Hawbolt, E. B. (1985). "Morphology of a semi-killed and a calcium treated X-70 pipeline steel". *Journal of Materials for Energy Systems*, Vol. 6, Pp. 251-262.
- Wilson, A. D. (1999). "Clean steel technology-fundamental to the development of high performance steels". ASTM special technical publication.

iMat
Conference 2014

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.