

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## Investigation into the reasons fracture of drill pipe Gread S-135

### Abstract

Drill strings due to operational reasons stick to pull it out Rotate-Tensile operation is conducted which may lead to fracture. In this research reasons of such a fracture are analyzed. Tempering operation simulating the real situation proved to be responsible for reduced mechanical property therefore the premature fracture.

Keywords: Drill pipe, Drill string, Well hydraulic

## بررسی دلایل شکست کششی ناگهانی لوله حفاری گرید S-135

### چکیده:

لوله حفاری بنا به دلایل مختلف از قبیل خستگی، پیچش، ارتعاش، محاسبات اشتباه در انتخاب نوع گل حفاری و غیره بهنگام حفاری گیر کرده می شکند. جهت آزاد نمودن آنها از روش چرخش-کشش استفاده می شود که باعث شکست لوله می شود. در این تحقیق به آنالیز این شکست پرداخته، و با انجام عملیات واریسی مشخص شده که حرارت وارده از چرخش ناگهانی، باعث تغییر ساختار متالوگرافی گردیده در نیروهای عملیاتی (پایینتر از حد طراحی) خواهد شکست.

واژه های کلیدی: لوله حفاری، رشته حفاری، هیدرولیک چاه

## مقدمه:

شکست و بریدن لوله های حفاری گرید S-135، دکل ۴۰ فتح واقع در چاه ۱۵۱ بی بی حکیمه صورت گرفت و با آزمایش متالوگرافی یک لوله حفاری مشخص شد که نیرو های اصطکاکی (Frictional) به هنگام چرخاندن رشته حفاری گرمای لازم برای باز پخت (تمپر) موضعی لوله و یا تبدیل فاز مواد لوله حفاری به وجود می آورد

میزان نیروی کششی (Tensilepull) که میتوان برای آزاد کردن رشته حفاری گیر کرده اعمال کرد وابسته به حداقل مقدار اضافه کشش (MOP: Margin of overpull) رشته حفاری است. برای آزاد کردن یک رشته حفاری گیر کرده قالباً رشته حفاری را همزمان می چرخانند و می کشند . پس از اتمام این کار ، حداکثر کشش مجاز را کاهش می دهند که بستگی به مقدار گشتاور (Torque) اعمال شده دارد. اعمال کشش ، خواه بر مبنای MOP باشد یا از نرخ کششی کاسته شده با در نظر گرفتن گشتاور وارده ، باعث شکست های اضافه بار لوله حفاری می شود . این شکست ها با بارهایی (Loads) که بسیار پایین تر از ظرفیت سنجیده شده رشته حفاری هستند روی می دهند . با گرم شدن موضعی مواد سختی آن نیز کاهش می یابد

## شکست کششی لوله حفاری :

در این مقاله عواملی را که منجر به این قبیل شکست ها می شود مورد بررسی قرار گرفته میشود و به منظور اثبات یافته ها ، داده های آزمایش در اختیار خوانندگان قرار گرفته است . علاوه بر آن ، روش های موجود برای تعیین ماکزیمم بار مجاز لوله های گیر کرده بدون چرخش بکار می روند ، محدودیتهایی دارند که در این مقاله در آن اشاره شده است .

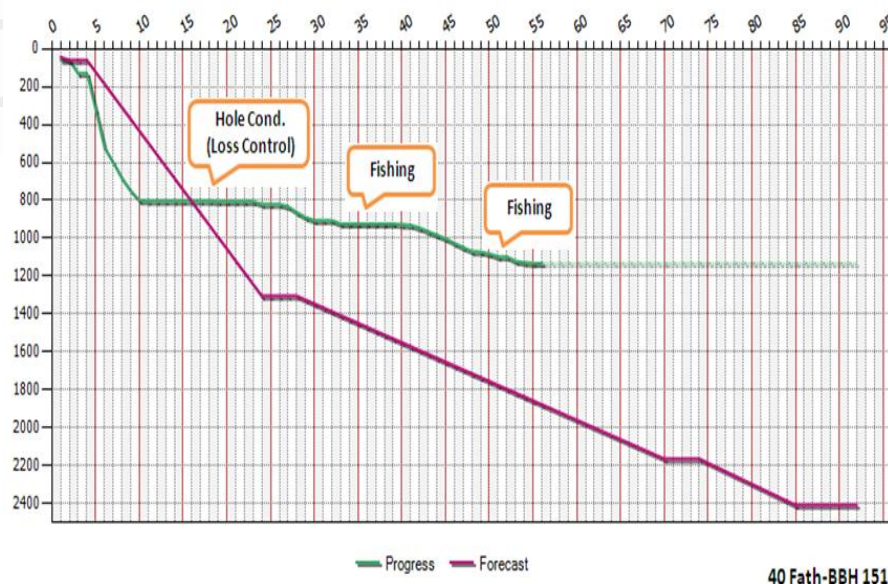
لوله های حفاری با مشخصات S-135, 5in در عمق ۱۰۷۲ متری بدون برگشتی گل، ملاحظه کاهش ناگهانی ۵۰ کیلوپوند وزن رشته گیر کرده بودند . برای آزاد کردن لوله های گیر کرده همزمان لوله ها را چرخانده و به بالا می کشند در حین انجام عملیات لوله در ۹۹۶ متری بریده میشود . بارهای کششی اعمال شده کاملاً پایین تر از ظرفیت کششی محاسبه شده بود . اتصالات شکسته شده با عملیات مانده یابی به سطح زمین کشیده شده اند

( Pres.=0 و GPM=250). هدف و خلاصه عملیات حفاری و ستون چینه شناسی در (شکل ۱) نشان داده شده است که متاسفانه حفاری طبق برنامه پیش بینی شده صورت نگرفت (نمودار ۱)

در بررسی اطلاعات چاه های مجاور این موقعیت (سازند میشان) هرزروی شدید وجود داشته است که با استفاده از پیل هرزروی کنترل شده است. پارامترهای حفاری اعمال شده مانند وزن گل مطابق برنامه حفاری بوده است. همانطوری که از حجم سیالات هرزرفته (جدول ۱) به سازند مشخص است سازند میشان این منطقه از نظر ساختاری در مقایسه با مناطق دیگر رفتار غیرعادی دارد. هرزروی شدید باعث ناپایداری دیواره و بهم خوردن هیدرولیک چاه و خارج نشدن کندهای حفاری گردیده، بنابراین در اثر اصطکاک رشته حفاری با دیواره چاه گشتاور لحظه ای بالا رفته و باعث بریده شدن رشته می شود. در بررسی نمودارهای Mud logging نشانه هایی از افت فشار به دلیل شوئیدگی یا افزایش گشتاور و اعمال تنش ناگهانی به رشته مشاهده نشد (شکل ۲).

چاه ۱۵۱ بی بی حکیمه (۴۰ فوتج) موقعیت: شرق ۱۶۰ جنوب		
هدف	تامین ظرفیت (تامین تولید مجاز روزانه P.G.C) واحد بهره برداری شماره ۱ بی بی حکیمه و تعیین سطح تماس آب و نفت در دامنه جنوبی میدان بی بی حکیمه	
خلاصه	حفاری حفره ۲۶ تا ۵۸ متری و رفتن جداره ۱۸ ۵/۸"	
عملیات حفاری	حفاری حفره ۱۷ ۱/۲" تا عمق ۱۰۴۸ متری بدون برگشتی، همراه با پمپاژ مکرر LCM پیل، سیمان و گل	
ستون چینه شناسی	Aj: ماسه سنگ، مارل (از سطح) Mn: شیل و مارل (از ۴۶۶ متری) GSV: انیدریت و مارل خاکستری (از ۱۱۸۰ متری) GS۶: لایه های مارل قرمز و کمی نمک GS۵: انیدریت و مارل خاکستری و کمی آهک نرم GS۲: نمک CR: انیدریت AS: سنگ آهک و دولومیت	Bit Depth @ 1121m

شکل ۱: هدف و خلاصه عملیات حفاری



نمودار ۱: نمودار پیش بینی و پیشرفت حفاری



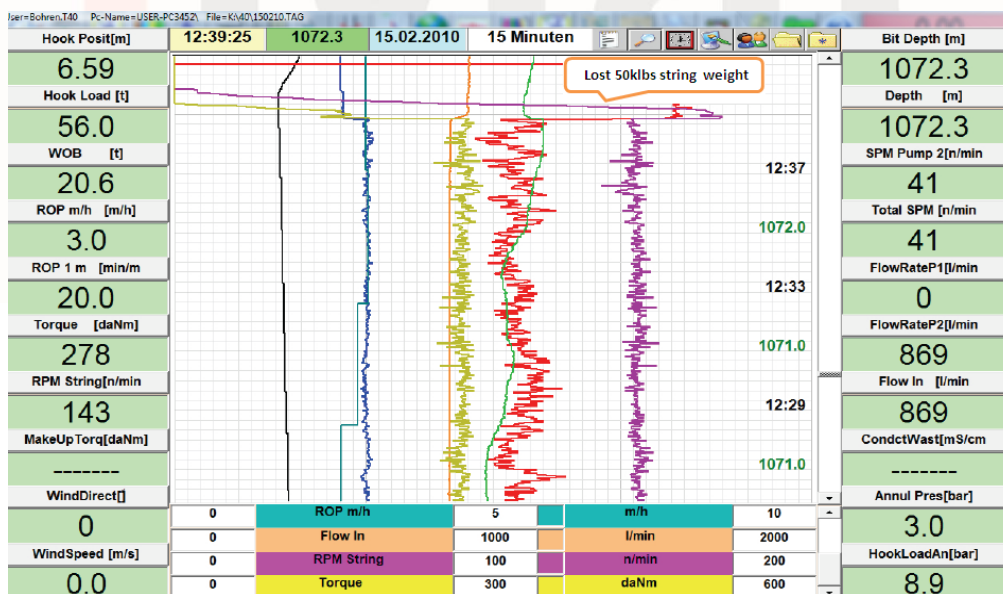
مشاهده شکستگی در رشته حفاری بدلیل حفاری بدون برگشتی و تماس مکرر رشته با دیواره چاه و بوجود آمدن اصطکاک و حرارت شدید از یک طرف و تحت تنش بودن رشته حفاری باعث آسیب دیدگی رشته می‌باشد. رشته حفاری استفاده شده مطابق طراحی چاه بوده و قبل از استفاده مورد بازرسی قرار گرفته است.

### فراکتوگرافی (Fractography) لوله ها:

به منظور بررسی علت شکست و عوامل دخیل در شکستگی لوله ها ، تحلیل متالوگرافی لوله حفاری S-135, 5in انجام گرفت .

حجم سیالات هرزرفته به درون سازند (۸۸/۱۲/۳)				
دکل	گل	سیمان	انواع پیل	گانک پیل
	حجم (بشکه)	حجم (بشکه)	حجم (بشکه)	حجم (بشکه)
۴۰- BB۱۵۱	۸۲۵۰	۳۲۴۷	۴۱۰۰	۲۷۰

جدول ۱: حجم سیالات هرز رفته به درون سازند



شکل ۲: نمودار Mud logging نشانه‌هایی از افت فشار به دلیل شوئیدگی یا افزایش گشتاور و اعمال تنش ناگهانی به رشته مشاهده نشد

بازرسی چشمی :

شکست در بدنه لوله حفاری و نزدیک به ابزار اتصال نرینه رخ داده است. شکست در فاصله ۱,۹۶ متری از پیشانی اتصال نرینه رخ داده است رشته شکسته شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

سطح شکست نشانگر نوعی جدایش نرم تحت بارگذاری کششی بود. همانطور که در (شکل ۳) می بینید، شکستها در صفحه ای که نسبت به محور لوله زاویه ۴۵ درجه دارند گسترش یافته اند. همچنین نواحی شکست به وضوح نشانگر کاهش سطح مقطع و تغییر شکل پلاستیک گستردهای می باشد.



شکل ۲: لوله حفاری شکسته شده S-135, 5in

بنابراین شکل ناحیه گلوبی شده و اضافه بار شکست های نرم مشاهده شده متفاوت است در نزدیکی شکست دارای چندین محل با سطح مقطع باریک شده (گلوبی شده) و با فاصله اندک از یکدیگر بودند.

(شکل ۴) نمایشگر کاهش سطح مقطع و تغییر شکل پلاستیک است. بطور کلی شکل شکست حاکی از وجود اضافه بار کششی نرم است.



شکل ۳: سطح شکست با زاویه ۴۵  
شکل ۴: ناحیه گلوبی و تغییر شکل پلاستیک شده در نزدیکی منطقه شکسته شده

سطح خارجی رشته ها در نزدیکی دوسر شکست به نظر مسطح و پولیش شده می آمد. بریدگی های سازند و آثار سائیدگی نیز روی سطح دیده می شود. این آسیب دیدگی ها امکان دارد از دوران لوله حفاری با سازند بوجود آمده باشد. بمنظور بررسی سطح داخلی رشته های شکسته شده، لوله را بصورت طولی با اره بریده و آن را به دو نیم کردند. (شکل ۵) وضعیت پوشش داخلی لوله را نشان می دهد. پوشش پلاستیکی داخلی در نزدیکی انتهای شکسته شده و آسیب دیده بود. رنگ و بافت پوشش پلاستیک داخلی در امتداد

انتهای شکسته شده تغییر کرده بود ، به نظر می رسید که این آسیب دیدگی ناشی از قرار گرفتن در معرض دمای بیش از حد بالا در حین عملیات می باشد .



شکل ۵: آسیب دیدگی پوشش

پلاستیک داخلی لوله بعلت دمای زیاد

#### بررسی ناحیه حرارت دیده لوله دور از شکست .

به منظور بررسی خواص لوله ها ، نمونه ای از لوله بریده شد . این نمونه را از محلی در لوله که لاقل ۱,۵۲ متری دور از ناحیه تحت تأثیر گرما بود برداشتند . ناحیه تحت تأثیر گرما به جاهایی در امتداد لوله گفته می شود که کاهش سطح مقطع و یا آسیب دیدگی پوشش پلاستیکی داخلی لوله را منجر می شود . آزمایشهای تجزیه شیمیایی ، آزمایش های کشش ، آزمایش شارپی (یا آزمون ضربه نمونه شیار دار ) و آزمایشهای ریز ساختاری بر روی این انجام شد .

نتایج آزمایش در (جدول ۲) به طور خلاصه آمده است . مواد بکار رفته دارای حداقل مقتضیاتی است که در API 5D برای هر گرید لوله حفاری مشخص شده بود . معلوم گردید که موادی که خارج از ناحیه تحت تأثیر گرما بودند ساختار دانه ای مارتنزیت تمپر شده داشتند . که مشخصه یک فولاد تمپر شده و کونچ شده است . این امر بیانگر آن است که شکست لوله حفاری از مقاومت کم یا عملیات حرارتی نامناسب مواد ناشی نشده است .

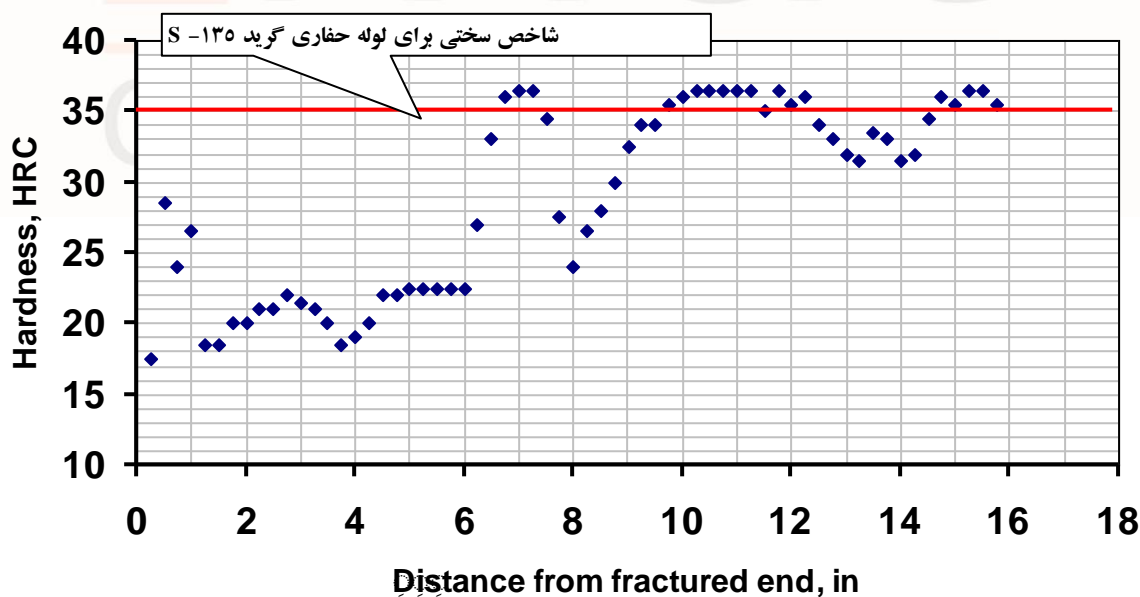
#### بررسی ناحیه نزدیک شکست :

به منظور بررسی خواص مواد در نزدیکی انتهای شکست ، قسمتی طولی از درون ناحیه تحت تأثیر گرما در نزدیکی انتهای شکسته شده تا بیرون این ناحیه را از لوله برداشتیم .

در دیواره میانی و در طول این قسمت طولی ، یک تست سختی ، فاصله ¼ اینچی انجام گرفت . مقادیر سختی لوله در (نمودار ۲) آمده است.



جدول ۲: خواص مواد بدنه لوله S-135 که از منطقه تحت تاثیر گرما برداشته شد			
خواص مواد		مقادیر استاندارد و نتایج آزمون	
		مقادیر Max و Min گرید S-135	نتایج آزمون
تست کشش	استحکام تسلیم, ksi	135(min)	150.7
		165(max)	-
	استحکام تسلیم نهایی, ksi	145(min)	166.1
		12.5%(min)	18
آنالیز شیمیایی	فسفر %	0.030(max)	0.012
	سولفور %	0.030(max)	0.005
تست ضربه	مینیمم ft-lbs	28(min)	14



نمودار ۲: مقادیر سختی (HRC) بدست آمده از طول بدنه لوله

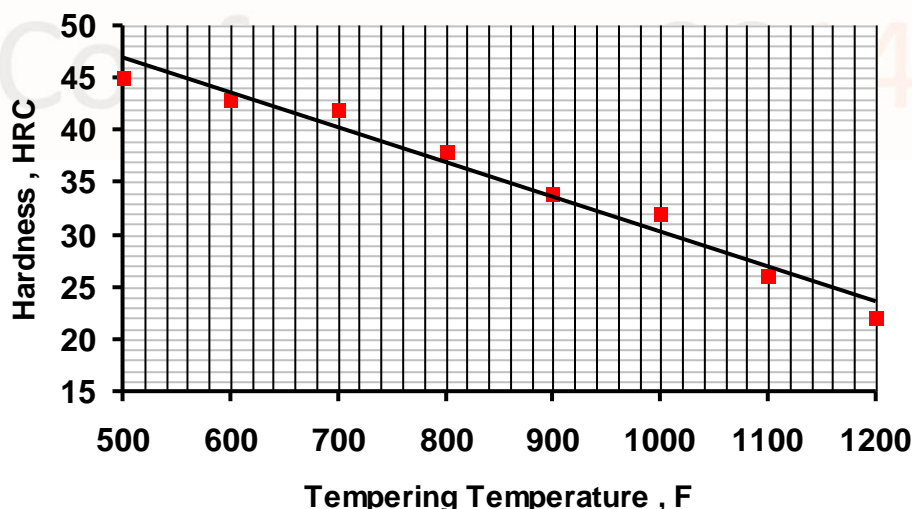
در لوله حفاری S-135، با نمونه سختی راکول ۳۵HRC در نزدیکی منطقه شکست افت سختی مشاهده شد. میانگین سختی بدست آمده در خارج از ناحیه تحت تاثیر گرما حدود ۳۵HRC که متناظر با مقاومت کششی در حدود ۱۵۷/۰۰۰ Psi است ولی در نزدیکی محل شکسته شده افت سختی تا مقادیر پائینی چون ۱۷،۵HRC که متناظر با مقاومت کششی در حدود ۱۰۴/۰۰۰ Psi می باشد.

در شکستهای اضافه بار کششی نرم، سختی در ناحیه های سطح مقطع گلوبی شده بیشتر از سختی مواد اصلی است و این بعلت سختی کرنشی است. با این وجود، در لوله شکسته شده، سختی در نواحی تحت تاثیر گرما بسیار کمتر از سختی مواد اصلی است. این کاهش سختی حاکی از وجود گرمای موضعی در نزدیکی انتهای شکسته شده، لااقل تا دمای تمپره سازی است.

تمپره کردن فولاد روندیست که شامل گرم کردن فولادی که از پیش گرم شده تا دمای پائین تر از دامنه تبدیل و سپس سرد کردن آن با سرعت مناسب است. که از این عملیات برای افزایش نرمی و چقرمگی انجام می گیرد. تمپره کردن معمولاً به کاهش سختی، مقاومت کششی و مقاومت تسلیم می انجامد و از سویی باعث افزایش نرمی و چقرمگی منجر می شود.

(نمودار ۳) تاثیر دمای تمپره کردن را بر سختی فولاد آلیاژ 4130 همان ماده ای که لوله حفاری از آن ساخته شده اند) را نشان می دهد.

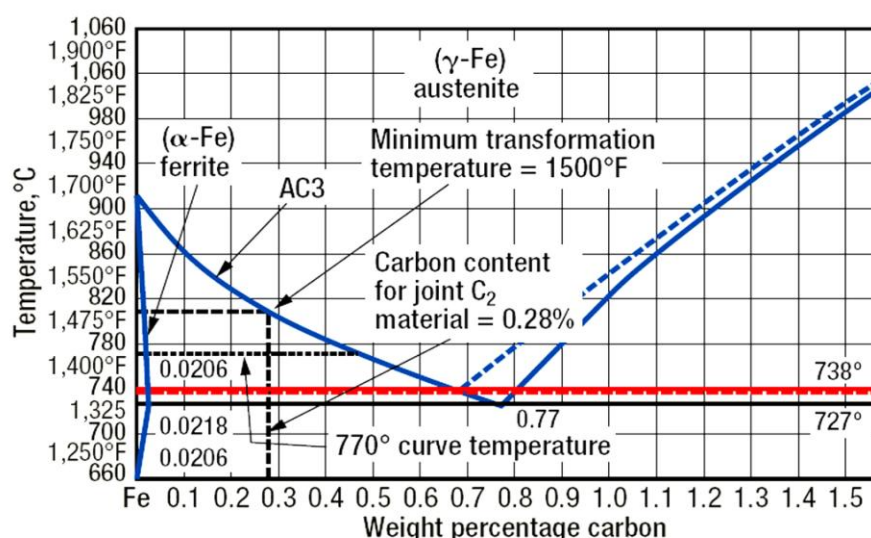
با افزایش دما از استحکام فولاد کاسته می شود و استحکام تسلیم به هنگام رسیدن فولاد به منطقه ذوب به صفر می رسد. با گرم کردن موضعی لوله در نزدیکی محل شکسته شده تا دمای بالاتر یا مساوی دمای تمپره آنها باعث کاهش استحکام و سختی مواد این رشته ها می شود. با کاهش ظرفیت بار بدنه لوله حفاری باعث ایجاد شکستهای اضافه بار کشش نرم می شوند. مقادیر سختی و استحکام کششی متناظر برای لوله پس از سرد کردن این رشته ها اندازه گیری شده. که مقادیر سختی و استحکام کششی متناظر به هنگام شکست بسیار پائین بوده است. با این وجود، به دلیل اینکه هیچ راهی برای دانستن دمای رشته های لوله حفاری به هنگام چرخیدن در زمان گیر کردن لوله ها در داخل چاه وجود ندارد، پس مقاومت کششی در هنگام شکست ناشناخته باقی می ماند.



نمودار ۳: سختی فولاد آلیاژ 4130 بعد از تمپره کردن

## بررسی میکرو ساختارها:

کاهش سختی در ناحیه تحت تاثیر گرما نشانگر آنست که لوله حفاری تا دمای بالاتر یا مساوی دمای تمپره سازی بطور موضعی گرم شده است. یک راه برای تعیین دامنه دمایی مناسب که لوله در آن گرم شده این است که ریز ساختاری که در ناحیه تحت تاثیر گرما قرار دارد را با ریز ساختار خارج از این ناحیه مقایسه می کنیم. هرگونه تغییر در این ساختار (ساختار اصلی) در ناحیه تحت تاثیر گرما به معنا اینست که دمای حاصله بالاتر از دمای تبدیل آستینیتی بوده است. این دمای فاز تبدیل مینیمم با خط AC3 در نمودار فاز آهن-کربن که در (شکل ۶) است را نشان می دهد نمونه ها هم از داخل و هم از خارج ناحیه تحت تاثیر گرمای لوله برداشته شده است، مواد متعلق به خارج از این ناحیه شامل یک ساختار مارتنزیتی تمپره شده است که مشخصه یک فولاد تمپره شده و کونچ شده است.



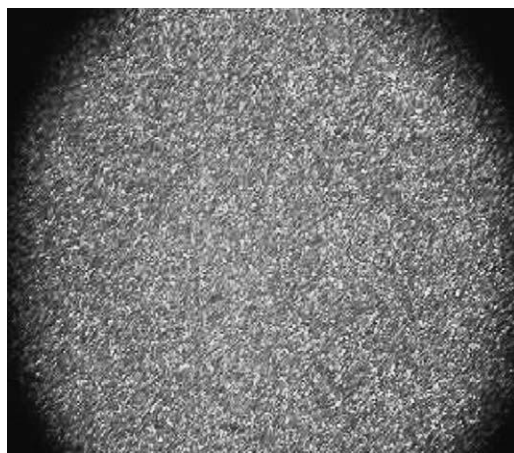
شکل ۶: نمودار فازی آهن-کربن

(شکل ۷) نشان دهنده یک فولاد آلیاژی کونچ و تمپره شده ۴۱۳۰ که لوله حاری از آن ساخته شده است. همانطور که برای لوله حفاری درجه S-135 مقتضی است این ساختار مواد اصلی لوله حفاری بود. مواد درون ناحیه تحت تاثیر گرما شامل ساختاری مرکب از فریت و پرلیت بودند (اشکال ۸ و ۹) این دو ریز ساختار را نشان می دهد.

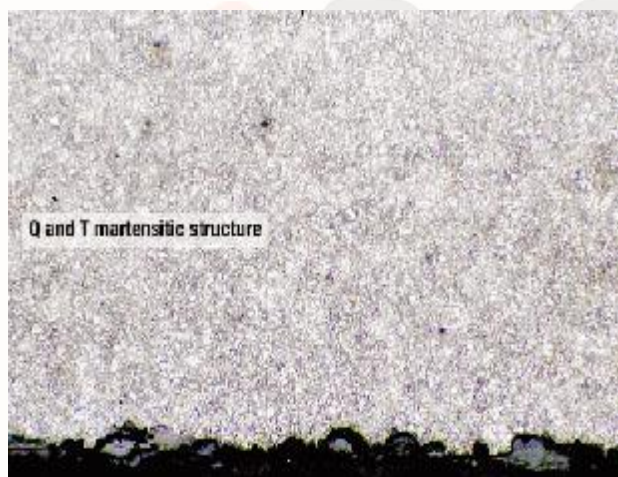
تبدیل ساختار دانه ای در ناحیه تحت تاثیر گرما حاکی از آن است که گرما سازی موضعی منجر به دماهای بالاتر از 1500F می شود (دمای تبدیل آستینیتی برای مواد لوله، که در شکل ۶ آمده است).

## محدودیت طراحی:

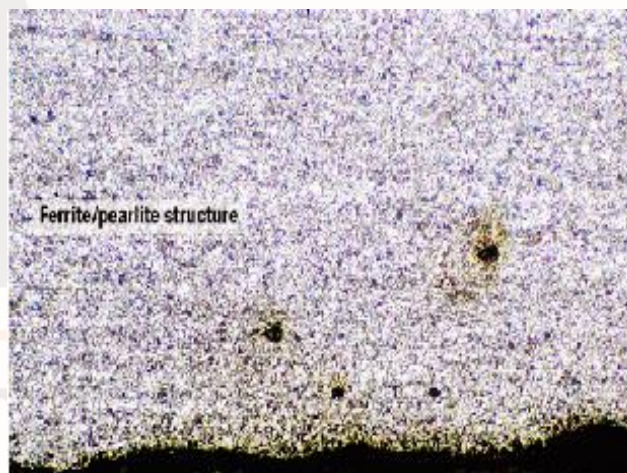
کار استاندارد طراحی برای پیشگیری از شکستهای اضافه بار کششی در مواقع گیر کردن لوله ها شامل طراحی یک مقدار اضافه کشش (MOP: Margin of OverPull) است. MOP تفاوت میان ظرفیت کششی ضعیف ترین قطعه رشته حفاری و بیشترین باری است که انتظار می رود رشته حفاری تحمل کند. به زبان ساده تر، MOP بار کششی اضافه موجود است که می توان بدون هیچ خطری در موقع گیر کردن لوله ها بر رشته حفاری وارد کرد.



شکل ۷: فولاد آلیاژی کونچ و تمپر شده ۴۱۳۰



نمودار ۸: میکروساختار داخلی لوله (2000x)



نمودار ۹: میکروساختار نزدیک به انتهای

محل شکسته شده (2000x)

از آنجا که بارها از سطح اعمال می شوند و همانطور که در مورد شکست قبلی دیدیم ، اگر لوله های حفاری به هنگام گیرکردن چرخانده شوند و گرمای لازم تولید شود ، طراح قادر به لحاظ کردن طراحی MOP نمی باشد.

ظرفیت کششی یک قطعه رشته حفاری بعنوان قسمت پائینی بدنه قطعه یا ظرفیت کششی اتصال تعریف شده است. و باید برای آن همیشه هر گونه تخفیف بر مبنای فشار و یا بارهای پیچشی را لحاظ کرد . معمولاً رشته حفاری گیرکرده همزمان کشیده و چرخانده می شود ، سپس بارهای پیچشی و کششی بطور همزمان بر رشته حفاری وارد می شوند.



چرخش لوله حفاری باعث کاهش ظرفیت کششی بدنه لوله می شود و بالعکس. فشار خارجی نیز ظرفیت کششی بدنه لوله را کاهش می دهد. فشار داخلی بسته به میزان فشار اعمال شده ممکن است ظرفیت کششی بدنه لوله را کمتر یا زیاد تر کند. با این وجود، هرگونه افزایش در ظرفیت کششی حاصل از فشار داخلی معمولاً به دلایل ایمنی نادیده گرفته می شود.

در ابزار اتصال تاثیر گشتاور بر ظرفیت کششی بستگی به بیشتر بودن یا نبودن گشتاور اعمال شده از گشتاور سفت کردن (Make : MUT up torque) دارد و اگر گشتاور بیشتر از MUT باشد بستگی به این دارد که اول کشش یا گشتاور وارد شده است. تاثیرات فشار بر ظرفیت کششی ابزار اتصال معمولاً با ابزار یک ضریب اطمینان لحاظ می شود.

اگر چه ممکن است طراح ظرفیتهای کششی رشته حفاری را با لحاظ کردن انواع نقشه های بارگذاری مرکب به دقت محاسبه کند و حداکثر بارهای پیش بینی شده را با استفاده از گشتاور و برنامه های نیروی کششی محاسبه کار کرده باشد ولی در مورد این گونه شکست های ناگهانی که ناشی از گرماست، هیچ راهی برای طراحی وجود ندارد. ظرفیت حقیقی رشته حفاری وابسته به دمای وارده بر ته چاه است و هیچ راهی برای دانستن دمای لوله حفاری در مواقعی که لوله ها گیر کرده اند و دورانی نیز ندارند، وجود ندارد.

#### نتیجه گیری:

عامل اصلی مشکلات بوجود آمده، هرزروی شدید

در سازند میشان این منطقه می باشد که به دنبال آن ناپایداری دیواره چاه، بهم خوردن هیدرولیک چاه، گیر لوله ها، گشتاور غیرعادی، بریدن رشته حفاری و شکستگی در اتصالات رشته حفاری را باعث شده است. نیروهای اصطکاکی بوجود آمده در حین چرخاندن رشته حفاری گرمای کافی برای تمپره کردن موضعی لوله حفاری و یا تغییر فاز مواد آن را فراهم می کند. گرم کردن موضعی لوله حفاری سختی مواد را کاهش می دهد و تا حد زیادی قابلیت کشش لوله حفاری که وابسته به دمای وارده است را کم می کند. شکست های اضافه بار در بارگیری هایی که بسیار پائین تر از ظرفیت بارگیری کششی و مرکب بوده، تحت شرایط گیرکردن لوله ها روی می دهد درجه، در نزدیکی 45 ویژگی های این دسته از شکست ها شامل نواحی گوناگون با کاهش سطح مقطع در نزدیکی شکاف، صفحه شکاف شکاف سطح خارجی پولیش شده و پوشش پلاستیک داخلی که تغییر رنگ داده و یا سوخته است. مکن شکاف طبق معمول در بدنه لوله حفاری در نزدیکی ابزار اتصال نرینه است. میزان کاهش ظرفیت کششی لوله حفاری قابل پیش بینی و محاسبه نیست، چرا که هیچ است. (jar) شیوهای برای محاسبه دمای ته چاه وجود ندارد و بهترین راه حل برای رهایی کردن لوله های گیر کرده، استفاده از ضربه زن که ضربه زن در جهت محور عمودی ضربات سریع و بسیار سنگینی را به رشته حفاری وارد می کند که این ضربات وسیع باعث به حکت درآوردن لوله های گیر کرده می شود که در این حال میتوان با چرخاندن و کشیدن لوله ها به بالا، لوله ها را آزاد کرد.

## مراجع:

- 1- Hill , T.H, Drill string Design and Failure Prevention , T H, Hill Associates , Inc , September 2002 .
- 2-API Specification 5D, Specification for Drill Pipe, 5thed. , American Petroleum Institute, October 2001
- 3-Metals Handbook, Volume 4 , Heat Treatment , 9thed., American Society of Metals , November 1981 , 70 .
- 4-Metals Handbook, Volume 4 , Heat Treatment , 9thed., American Society of Metals , November 1981 , 71 .
- 5- Metals Handbook , Volume 8 , Metallography, Structures and Phase Diagrams, 8thed., American Society of Metals, September 1973

iMat  
Conference 2014