آیا یک پدیده متالورژیکی باعث غرق شدن تایتانیک شد؟

کامران خداپرستی
کارشناس ارشد مواد
گروه مکانیک و فرآیند شرکت مشانیر
k.khodaparasti@moshanir.com

واژه های کلیدی: دمای تبدیل رفتار نرم به ترد ، تایتانیک، فولاد، شکست ترد، اکسیژن زدایی

مقدمه

نزدیک به صد سال از واقعه غرق کشتي اقيانوس پيماي تايتانيك - عظيم ترين كشتي مسافربر جهان در زمان خود كه ماجراي غرق آن حداقل سوژه دو فيلم شده است- مي گذرد و هنوز اين حادثه محل بحث و جدل بسياري در محافل علمي است. تايتانيك ساخته شد تا محصول نهايي عصر خودباوري، كاميابي و تجمل گرايي باشد. با ساخت اين كشتي بسياري گمان كردند كه زمان غلبه بشر بر نيروهاي طبيعي فرا رسيده است و اين موجود غول آسا مصون از قهر طبيعت است. اما غرق اين كشتي در اولين سفر دريايي خود، خط بطلان بر اين باوركشيد و پس از آن منبع تحقيق و كنكاش بسيار در چند و چون اين واقعه شد. نوشتار حاضر با بهره گيري از منابع متعددي در اين زمينه، بر آن است كه ضمن ارائه تحليلي كوتاه از اين رخداد، چرايی آن را به يكی از ويژگيهای مهم فولاد يعنی تبد يل رفتار نرم به ترد پيوند داده و به تار يخچه، عوامل موثر و اهم يت چشمگير آن در انتخاب مواد بپردازد.

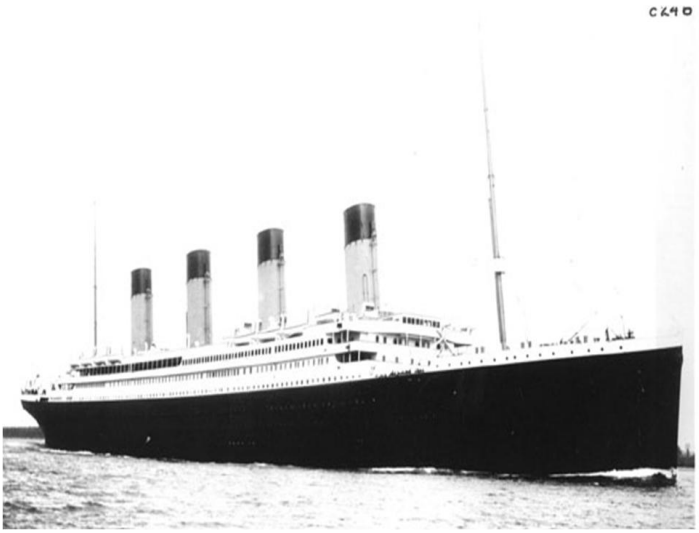
تاریخچه تایتانیک

جهان تغييرات شگرفي را مي گذراند. راديو در سال 1901 ابداع شده بود. برادران رايت اولين پرواز موفقيت آميز خود را در سال 1903 انجام داده بودند. تجارت كشتي هاي اقيانوس پيماي عظيم، پيشرفت هاي عمده اي را در زمينه طراحي كشتي، اندازه و سرعت شاهد بود.
شركت كشتيراني ستاره سفيد[1]، كه يكي از پيشروان اين امر بود، در سال 1907 ساخت سه كشتي بخار عظيم را در دستور كار قرار داد كه قرار بود استاندارد جديدي در زمينه آسايش ، تجمل و ايمني تعريف كنند. دو كشتي اول المپيك و تايتانيك[2] نام گرفتند. نام تايتانيك براي اين انتخاب شده بود كه حس برتري اندازه و قدرت را القا كند. طراحي دو كشتي يك سال بطول انجاميد. ساخت المپيك در دسامبر 1908 و به دنبال آن ساخت تايتانيك در مارس 1909 آغاز گرديد. براي تطابق با اين پروژه هاي عظيم، محوطه كشتي سازي در بلفاست بايد از نو ساخته مي شد، در حاليكه اسكله كشتيراني ستاره سفيد در نيويورك نيز بايستي بحد كافي طويل مي شد تا كشتي ها بتوانند در آن پهلو بگيرند.

در طي دو سالی كه صرف كامل كردن بدنه تايتانيك شد، مطبوعات درباره عظمت كشتي به تبليغات فراوان پرداختند بطوريكه تايتانيك حتي قبل از به آب انداختن آن به يك افسانه تبديل شده بود. به آب انداختن بدنه كامل شده تايتانيك در ماه مي 1911 ، يك نمايش عمومي خيره كننده بود. بليط ها به نفع يك بيمارستان محلي اطفال فروخته شدند.
تايتانيك داراي 270 متر طول و 28 متر پهنا بوده و ب ىش از 46000 تن وزن داشت . ارتفاع آن 32 متر بود كه تقريباً 11 متر آن زير آب قرار مي گرفت. داراي سه دودكش واقعي و يك دودكش مجازي بود كه براي افزودن بر حس عظمت و قدرت كشتي اضافه شده بود و نيز بخارات و دود آشپزخانه هاي متعدد آنرا به بيرون مي راند.
موتورهاي بزرگ و پر قدرت آن هيچكدام از ارتعاشهاي آزاردهنده متداول در اقيانوس پيماهاي ديگر را ايجاد نمي كردند. حتي زماني كه با حداكثر سرعت 22 گره دريايي معادل با 41 كيلومتر در ساعت، كه در زمره سريعترين كشتي هاي آن زمان بود حركت مي‌كرد، مسافرين داخل آن مي توا نستند از حد اكثر آسايش برخوردار شوند.

تايتانيك بزرگترين شي متحركي بود كه توسط انسان ساخته شده بود. افزون بر اين تايتانيك ساخته شده بود تا شگفتي تكنولوژي ايمني مدرن باشد. به پشتوانه اين تدابير ايمني بود كه مطبوعات كشتي تايتانيك را غرق نشدني ناميدند.
لوازم داخل كشتي در نوع خود از مدرنترين و لوكس ترينها بودند و شامل لامپ هاي برقي و بخاري برقي در تمام اتاقها ،
آسانسورهاي برقي، يك استخر شنا، يك سالن اسكوآش (كه بسيار مدرن ساخته شده بود)، يك سالن ژيمناستيك همراه با اسب مكانيكي بود تا سوارکاران حرفه اي بتو انند با آن تمرين كرده و خود را سر وزن و آماده نگه دارند.
هم چنين اتاقهاي نشيمن و تجهيزات بخش درجه ى ک آن با بهترين هتل هاي قاره اروپا برابري مي كرد. مسافرين درجه يك آن بايد از طريق يك راه پله بزرگ شش پاگرده داراي سقف شيشه اي به آرامي پايين مي آمدند تا از غذاهاي عالي سالن نهارخوري كه تمامي عرض كشتي را در عرشه D پوشانده بود لذت ببرند. براي آنهايي كه خواستار يك فضاي خصوصي تر بودند، تايتانيك چند رستوران سفارشي تدارك ديده بود. دو گروه موسيقي از بهترين نوازندگان قاره قطعات موسيقي را در تايتانيك اجرا مي كردند.
دو كتابخانه نيز وجود داشت. سفر دريايي تايتانيك در ساوت همپتون به تاريخ دهم آوريل 1912 آغاز شد.

شکل1 - پوستر تبلیغاتی تایتانیک



شکل2 - تایتانیک

غرق شدن

كشتي هاي آن زمان مجهز به رادار نبودند ولي تايتانيك به سيستم تلگراف بي سيم ماركوني مجهز شده و دو اپراتور سيستم بطور شبانه روزي در اتاق مخابرات آن كار مي كردند. در روز يكشنبه 14 آوريل، پنجمين روز مسافرت، تايتانيك پنج اخطار مختلف درباره مشاهده كوههاي يخ دريافت كرد، اما كاپيتان كشتي چندان توجهي به اين اخطارها ننمود. كشتي با سرعت 22 گره در حال حركت رو به جلو بود و مدير اجرايي شركت اعلام كرد كه يك روز زودتر از برنامه به نيويورك خواهند رسيد.

در شب چهاردهم آوريل، اپراتور بي سيم شديدا سرگرم مخابره پيامهاي كوتاه مسافرين به خويشاوندان و دوستانشان در ساحل نيوفوندلند (محل پهلو گرفتن كشتي) بود. او ششمين اخطار ديده شدن كوه يخ را نيز دريافت كرد، اما هيچ توجهي به اينكه تايتانيك چقدر نزديك مكان ارسال اخطارهاست نكرد و پيام را زير يك وزنه كاغذ در كنار آرنج خود گذاشت. اين پيام هرگز به كاپيتان اسميت يا ناخدا يكم كشتي نرسيد.
در ساعت 11:40، يكي از ديده بانان كشتي كه در آشيانه خدمه حاضر بود، كوه يخ عظيمي را كه بطرز خطرناكي در جلو و نزديك كشتي بود مشاهده كرد. او به ناخدا يكم مورداك اعلام خطر كرد و مورداك سراسيمه دستور داد كه كشتي تماما به سمت چپ بگردد. او به موتورخانه دستور داد كه گردش پروانه ها را معكوس كنند. كشتي به آرامي به چپ گرديد، اما تايتانيك بسيار بزرگ بود و بسيار سريع حركت مي كرد، و كوه يخ نيز بسيار نزديك بود. سي و هفت ثانيه بعد پهلوي سمت چپ كشتي به قسمت زير آب كوه يخ كشيده شده و شكافي در بدنه كشتي ايجاد شد. آب به سرعت وارد قسمتهاي كشتي شد و از آنجايي كه شكاف بسيار طويل بود، بيشتر قسمتهاي كشتي همزمان شروع به پر شدن از آب كردند.
بدين ترتيب در طول شبي پر از حادثه و وحشت، 706 نفر از مسافرين نجات يافته و 1517 نفر باقيمانده يا در داخل آبهاي منجمد اقيانوس اطلس جانسپردند، ويا همراه بدنه عظيم كشتي كه در حين فرو رفتن در آب به دو تكه شد، به قعر اقيانوس رفتند.

اكتشاف....

بدنه تايتانيك در سال 1985 توسط رابرت بالارد[3]، به كمك سونار[4] در عمق 3700 متری اقيانوس اطلس در حاليكه در كف آن قرار داشت، كشف شد. در اين اكتشاف از يك زيردريايي كوچك كه قادر به نفوذ در عمق درياها بود استفاده شد. كشتی به دو بخش بزرگ شكسته شده بود كه از هم 600 متر فاصله داشتند. اين اولين باري بود كه تايتانيك پس از سال 1912 دوباره ديده مي شد.

عواملي كه در غرق كشتي موثر بودند

اشتباه كاپيتان كشتي

اين سفر دريايي، سفر بازنشستگي كاپيتان اسميت بود. او مي خواست به هر ترتيبي كه شده در اين مسافرت ركوردي از خود بجاي بگذارد. او سالها قبل از اين حادثه گفته بود: من نمي توانم تصور كنم كه يك كشتي بخار جديد غرق شود. كشتي هاي جديد اين خطرات را پشت سر گذاشته اند.كاپيتان اسميت پنج اخطار مشاهده كوه يخ از خدمه خود و ديگر كشتي ها را ناديده گرفت. اگر او فرمان به آهسته تر شدن حركت كشتي مي داد، شايد اين حادثه رخ نمي داد.

اشتباه بروس آيسمي[5] مدير اجرايي شركت كشتيراني

بروس آيسمي در كشتي حاضر بود. رقابت بين كشتي هاي اقيانوس پيما شديد بود و شركت ستاره سفيد مي خواست نشان دهد كه آنها قادر به عبور شش روزه از پهنه اقيانوس هستند. براي برآورده ساختن اين مقصود، بروس آيسمي به كاپيتان اسميت فشار وارد آورد كه تايتانيك را با حداكثر سرعت به حركت وادارد.

اشتباه آقاي توماس اندروز سرپرست طراحان تايتانيك

اين باور كه تايتانيك غرق نشدني است، تا حدودي مرهون اين حقيقت بود كه تايتانيك از شانزده قسمت ضد آب تشكيل شده بود. ليكن ارتفاع ديواره اين بخشها بحد كافي در نظر گرفته نشده بود. شركت ستاره سفيد نمي خواست ارتفاع ديواره ها زياد باشد زيرا اين امر فضاي اختصاص يافته به قسمت درجه يك را كاهش مي داد. اگر ارتفاع اين ديواره ها بحد كافي بود، فضاي بيشتري در اين قسمتها بوجود مي آمد و هواي موجود در آنها مانع غرق كشتي مي شد.

اشتباه ناخدا يكم مورداك

ناخدا يكم مورداك به محض مشاهده كوه يخ دستور داد براي كاستن از سرعت كشتي موتورها معكوس شوند و جهت فرار از برخورد ، كشتي به سمت چپ بچرخد. در نتيجه سمت راست بدنه با كوه يخ برخورد كرد و شكافي عظيم در بدنه كشتي ايجاد شد. اگر مورداك دستور مي داد ضمن كاستن از سرعت، كشتي بطور مستقيم به راه خود ادامه دهد و با دماغه، كه بسيار محكمتر از بدنه است، به كوه يخ برخورد كنند، احتمالا فقط 2 يا 3 قسمت جلويي در هم فرو مي رفت و كشتي غرق نمي شد.

بالاخره اشتباه تمامي دانشمندان و مهندسان

یکی از دلایل اصلی رخ دادن این فاجعه، پدیده "تبدیل رفتار نرم به ترد فولاد" [6] است که در زمان ساخت تایتانیك و تا چند دهه پس از آن براي مهندسان ناشناخته بود.

دمای تبدیل رفتار نرم به ترد فولاد چیست؟

تغییر دما بر رفتار ماده تاثیر می گذارد. در فلزات هرگونه افزایش دما باعث فعالتر شدن نابجائی ها و در نتیجه کاهش استحکام تسلیم می گردد. آن دسته از فلزات و آلیاژهاي آنها كه داراي ساختار مکعبی با وجوه پر[7] هستند، مانند آلومینیوم، در هر دمایی، شكست نرم خواهند داشت. شكست نرم به آرامي و پس از تغيير شكل پلاستيكي زياد به ازاي تنشي بالاتر از استحكام كششي ظاهر مي شود. شكست ترد[8] معمولا در فلزاتي با ساختار مکعبی مرکز پر[9] (همانند فولاد) و منشوری فشرده[10] و آلياژهاي آنها در دماهای پایین (معمولا پايينتر از دماي معمولي محيط) و بطور ناگهاني رخ می دهد یعنی این گروه با کاهش دما تغییر رفتار از نرم به ترد می دهند. در شكست ترد عموما تغيير شكل پلاستيكي قابل توجهي در منطقه شكست مشاهده نمي شود. فولادها ی کم کربن در آهنگهای کم کرنش در تمام دماهای بالای حدود 170 درجه سانتیگراد نرم هستند، ولی هنگامی که در معرض بارهای ضربه ای قرار می گیرند، در گستره باریکی از دما در نزدیکی صفر درجه سانتیگراد، نحوه شکست از حالت رشته ای چقرمه به حالت ترد تبدیل می شود.

روشن است دمایی که قطعه در آن کار م ی کند یک ی از مهمتر ین عوامل ی است که بر ماه یت شکست تاث یر م ی گذارد به عبارت د یگر تغیی ر دما بر رفتار ماده تاث یر دارد. شکست ترد معمولا در در دمای پایی ن اتفاق م ی افتد و در برخ ی فولادها، شرای ط ممکن است به گونه ای باشد که تفاوت چن د درجه در گستره دمای مح یط، تفاوت ب ین رفتار نرم و ترد را تع یی ن کند. فولادها ی کم کربن در آهنگهای کم کرنش در تمام دماها ی بالای حدود 170 درجه سانت یگراد نرم هستند، ول ی هنگام ی که در معرض ن یروهای ضربه ا ی قرار م ی گ یرند، در گستره بار یک ی از دما در نزد یک ی صفر درجه سانت یگراد، نحوه شکست از حالت نرم به حالت ترد تبد یل م ی شود.

از کارافتادگ ی سازه های ساخته شده از فولادها ی کم کربن در اثر شکست ترد از آغاز مصرف ا ین فولادها بروز کرده است؛ اما تنها در سالهای دهه 1940 بود که ا ین مساله به وضوح مطرح شد و مورد توجه قرار گرفت. ا ین امر مقارن با ساخت اول ین کشت یهای با بدنه تمام جوشکاری شده بود. پ یش از آن اگر در یک ی از ورقها ی کشت ی شکست ترد رخ م ی داد، ترک در انتهای صفحه ی ا در ی ک ردی ف پرچ متوقف م ی شد. در یک کشت ی تمام جوشکاری شده، بدنه کشت ی عملا یک ورق پ یوسته است و اگر شکست ترد شروع شود، ممکن است به طور ناگهان ی ادامه ی ابد.

دمای تبدیل چگونه اندازه گیری می شود؟

یکی از آزمونهای مورد استفاده برای تعین دمای تبدیل رفتار نرم به ترد (DBTT) آزمون ضربه (شارپی) [11] است که بر اساس استاندارد ASTM E 23 انجام می شود. نمونه ی شارپی، مقطعی مربع شکل به ابعاد 10×10 mm و شیار V با زاویه ی 45 درجه به عمق 2 mm و شعاع راس 0.25 mm دارد . نمونه به صورت تیری در حالت افقی روی تکیه گاه قرار می گیرد و بار توسط ضربه ی یک آونگ در حال نوسان به پشت شیار وارد می شود (سرعت برخورد حدود 5 متر بر ثانیه است) نمونه با آهنگ کرنش زیادی می شکند .کمیت اصلی که در آزمون ضربه اندازه گیری می شود، انرژی جذب شده در شکست نمونه است. چنانچه مقدار انرژي شكست كم باشد مي توان چنين نتيجه گيري كرد كه ماده ترد بوده و داراي حساسيت بالايي در مقابل نيروهاي ضربه اي است و اگر اين انرژي زياد باشد ماده نرم وانعطاف پذير است و يا به عبارتي داراي تافنس يا چقرمگي بالايي است. حالت های مختلف شکست به سادگی و حتی بدون بزرگنمایی قابل تشخیص اند. سطح صاف شکست ترد بازتابندگی زیاد و ظاهر براقی دارد ، در صورتی که سطح گود شده شکست نرم، جاذب نور و دارای ظاهری کدر است .

توجه به منحنی انرژی جذب شده بر حسب دما نشان می دهد که انرژی جذب شده با کم شدن دما کم می شود ولی در بیشتر موارد کاهش جذب انرژی در دمای خیلی مشخصی رخ نمی دهد در نتیجه تعین دقیق دمای تبدیل دشوار می شود . دمایی که در آن رفتار ماده از نرم به ترد تبدیل می شود، DBTT نام داشته و می توان آن را دمایی فرض کرد که ظاهر شکست 50% ترد است. در آزمون شارپی، دمای تبدیل را می توان بر سطح 27 ژول منطبق کرد. آ زمون ضربه با نمونه ی شیاردار هنگامی معنی پیدا می کند که در گستره ای از دما انجام شود، تا دمایی که در آن تبدیل نرمی به تردی رخ می دهد تعیین شود.

برای فولاد، انرژی جذب شده در فرآیند شکستن نمونه آزمون شارپی ممکن است از حدود 1600 کیلو ژول بر متر مربع در 15+ درجه سانتیگراد به حدود 150 کیلو ژول بر متر مربع در 5- درجه سانتیگراد برسد.
مزیت اصلی آزمون ضربه شارپی این است که آزمون نسبتا" ساده ای است که در آن از یک نمونه ی آزمون کوچک و نسبتا" ارزان استفاده می شود . آزمون ها به سادگی در گستره ای از دماهای پایینتر از دمای محیط قابل اجرا هستند، این آزمون برای مقایسه اثر نوع آلیاژ و عملیات حرارتی بر چقرمگی به کار می رود و غالبا" از آن برای کنترل کیفیت و به منظور انتخاب مواد استفاده می کنند . مشکل عمده این است که استفاده از نتایج آزمون شارپی در طراحی دشوار است چون هیچ کمیتی بر حسب میزان تنش وجود ندارد. همچنین هیچ رابطه ای بین داده های شارپی با اندازه ترک ریز (مو) وجود ندارد. علاوه بر این، وجود پراکندگی زیاد نتایج که در این آزمون ذاتی است می تواند ترسیم منحنی های دمای تبدیل را مشکل سازد.
آزمونهای دیگری نظیر آزمون جابجایی شکاف نوک ترک [12] بر اساس استاندارد ASTM E 1290 و یا آزمون پلینی [13]بر اساس استاندارد ASTM E 208 نیز به این منظور به کار می روند.

عوامل موثر بر دمای تبدیل

میزان تغییر از رفتار نرم به ترد تابع ترکیب شیمیایی، ریز ساختار، عملیات حرارتی واکسیژن زدایی است. بعضی از عناصر آلیاژی موجود در فولادها می توانند بر دمای تبدیل از رفتار نرم به ترد اثر بگذارند. منگنز و نیکل دمای تبدیل را پایین می آورند ولی کربن، نیتروژن و فسفر آن را افزایش می دهند. همچنین نسبت Mn:C حداقل باید 3:1 باشد تا چقرمگی مطلوب حاصل شود. در ضمن تا جای ممکن باید نسبت Mn:S در بالاترین حد ممکن نگاه داشته شود.

تاثیر میزان اکسیژن فولاد بر دمای تبدیل

فولاد مذابي كه از كوره فولادسازي بدست مي آيد حاوي مقادير زيادي اكسيژن حل شده است كه بايد پيش از ريخته گري فولاد، چه بصورت پيوسته (مداوم) و چه به صورت شمش، حذف گردد. اكسيژن زداهايي كه معمولا براي اين منظور مورد استفاده قرار مي گيرند آلومينيوم و سيليسيم (به شكل فروسيليكون) هستند. حذف اكسيژن از فولاد را آرام سازی[14] مي خوانند و عبارتهاي آرام شده با سيليسيم يا آلومينيوم از اينجا آمده اند.

فولاد کاملاآرام[15] که بعضی مواقع به آن فولاد آرام[16] نیز گفته می شود، فولادي است که کاملا اکسیژن زدایی شده و ترکیب شیمیایي و خواص نسبتا همگني دارد. به فولاد نیمه آرام[17] اکسیژن زداي کمتري نسبت به فولاد کاملا آرام اضافه مي شود و از این فرآیند براي فولاد هاي کم کربن و کربن متوسط براي مصارف سازه اي استفاده مي گردد. فرآیند اکسیژن زدایي در مورد برخي فولادها انجام نمي گردد و اکسیژن باقي مانده در فولاد با کربن واکنش داده و ایجاد تخلخل (حفره هاي گازي) که در حقیقت گاز اکسید کربن است، مي کند. این فولادهاي نا آرام[18] که به آن فولادهای جوشان نیز گفته می شود، داراي تغییرات زیادي در ترکیب شیمیایي هستند به گونه اي که پوسته خارجي آنها شامل آهن خالص، کربن اندك و فسفر و گوگرد است. این عناصر با مقادیري بیش از مقدار متوسط، در مرکز شمش به ویژه نزدیك به سطح بالایي یافت مي شوند. دمای تبدیل فولاد جوشان بالاتر از دمای محیط است و بدیهی است که اگر دمای سرویس زیر صفر درجه سانتیگراد باشد امکان بروز پدیده تبدیل رفتار نرم به ترد وجود خواهد داشت. آزمایش نشان داده است که دمای تبدیل برای فولاد کاملاآرام به 60- درجه سانتیگراد می رسد.

با توجه به نقش اکسیژن در فولاد، کدها و دستورالعملهای طراحی، توجه ویژه ای به این مورد داشته اند و در بسیاری از موارد استفاده از فولاد جوشان را ممنوع نموده اند. به همین صورت توصیه آنها استفاده از فولاد کاملا آرام برای دماهای پایین است.

سایر پارامترهای موثر بر دمای تبدیل

هرچه فولاد دانه ریزتر باشد دمای تبدیل پایینتری دارد. اندازه گیری دانه بندی فولاد بر اساس استاندارد ASTM E 112 قابل انجام است. ضخامت قطعه نیز عامل تعیین کننده دیگری است بطوریکه در ضخامتهای کمتر از 13 میلیمتر پدیده تبدیل رفتار نرم به ترد مشاهده نمی شود و هر چه ضخامت افزایش می یابد باید تمهیدات لازم جهت کاهش هر چه بیشتر دمای تبدیل پیش بینی گردد. عملیات حرارتی نیز می تواند باعث کاهش یا افزایش دمای تبدیل گردد.

آیا تبدیل رفتار نرم به ترد فولاد باعث غرق تایتانیک شد؟

پس از کشف بقایای تایتانیک در سال 1985، آزمایشهای مختلف کشش، متالوگرافی، ضربه و آنالیز شیمیایی روی بدنه کشتی انجام شد. نتایج این آزمونها را درجداول 1 و 2 و نیز شکلهای 3و4 مشاهده می کنید.

Table II. The Composition of Steels from the *Titanic*, a Lock Gate, and ASTM A36 Steel

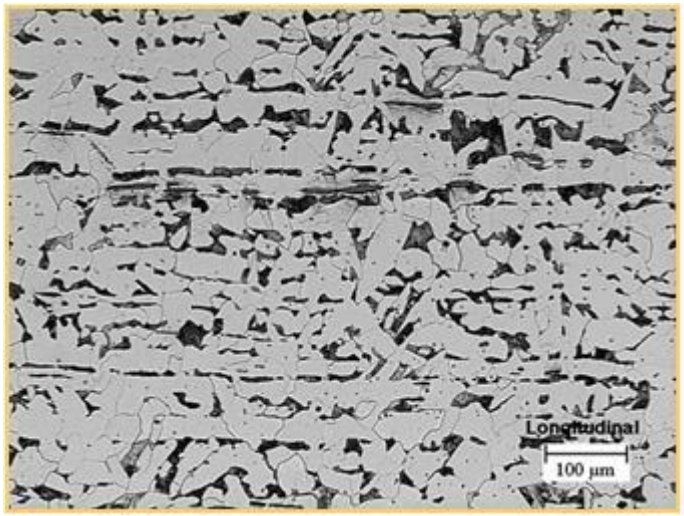
	C	Mn	P	S	Si	Cu	O	N	MnS: Ratio
Titanic Hull Plate	0.21	0.47	0.045	0.069	0.017	0.024	0.013	0.0035	6.8:1
Lock Gate*	0.25	0.52	0.01	0.03	0.02	—	0.018	0.0035	17.3:1
ASTM A36	0.20	0.55	0.012	0.037	0.007	0.01	0.079	0.0032	14.9:1

*Steel from a lock gate at the Chittenden ship lock between Lake Washington and Puget Sound, Seattle, Washington.

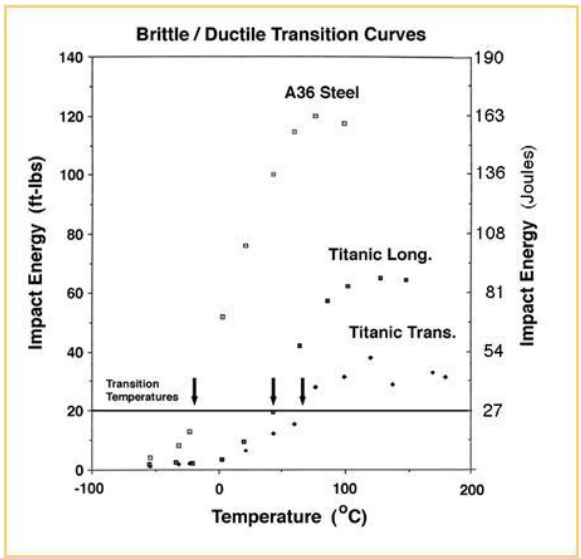
جدول 1- نتایج آنالیز شیمیایی بدنه تایتانیک و معادل سازی آن با فولاد A36

Table III. A Comparison of Tensile Testing of *Titanic* Steel and SAE 1020		
	Titanic	SAE 1020
Yield Strength	193.1 MPa	206.9 MPa
Tensile Strength	417.1 MPa	379.2 MPa
Elongation	29%	26%
Reduction in Area	57.1%	50%

جدول 2- نتایج آزمون کشش ورق بدنه تایتانیک



شکل3 - ریز ساختار نمونه طولی ورق تایتانیک که توسط محلول نایتال 2% اچ شده است



شکل4 - نمودار آزمون ضربه شارپی

نکته مهمی که در جدول 1مشخص است، مقدار بسیار اندک عنصر نیتروژن در فولاد تایتانیک است. این امر نشانگر آن است که فولاد با روش بسمر19 تولید نشده است زیرا ویژگی فولادهای تولیدی با این روش وجود مقادیر زیاد نیتروژن است که باعث ترد شدن فولاد بویژه در دماهای پایین می گردد. در اوایل قرن بیستم تنها روش تولید فولادهای سازه ای، فرآیند کوره آتشدان روباز(زیمنس-مارتین)20 بوده است. مقادیر زیاد اکسیژن و مقدار کم سیلیسیوم آن بیانگر اکسیژین زدایی جزیی فولاد است یعنی نیمه آرام بوده است.
تحقیقات یک دانشمند نشان می دهد در عصر تایتانیک، حدود دو سوم فولادهای تولیدی با کوره آتشدان روباز انگلستان، در کوره هایی با آستری اسیدی تولید می شده اند. احتمال زیادی وجود دارد که فولاد مورد استفاده در ساخت تایتانیک نیز در چنین کوره ای تولید شده باشد که دلیلی بر مقادیر زیاد فسفر و گوگرد فولاد است. آستری بازی21 در واکنش با فسفر و گوگرد فولاد، سبب حذف این ناخالصیها از فولاد می گردد همانند بیشتر فولادهایی که در آن زمان در گلاسکو اسکاتلند تولید می شدند.
در جدول 1 آنالیز شیمیایی دو فولاد دیگر نیز آمده اند. یکی مربوط به فولاد کشتی lock gates است که در سال 1912 در ایالات متحده ساخته شده بود و عمری برابر با تایتانیک دارد و دیگری فولاد ASTM A36 است که فولادی مدرن و امروزیست.
همانگونه که در جدول 1 مشخص است مقایسه بین ورق تایتانیک با A36 نشان می دهد که فولادهای امروزی منگنز بیشتر و گوگرد کمتری نسبت به فولادهای یک قرن پیش داشته و در نتیجه نسبت Mn:S بالاتر است که خود باعث کاهش احتمال رخ دادن پدیده تبدیل رفتار نرم به ترد می گردد.

این نکته نیز قابل توجه است که فولاد A36 مقدار فسفر کمتری نسبت به فولاد بدنه تایتانیک دارد که این امر کاهش دمای تبدیل را در پی دارد. اگر در شکل 3 دقت کنیم می توانیم کلنی های کشیده شده فاز پرلیت را ببنیم. در مناطقی از ساختار هم ذرات درشت و کشیده MnS که فازی مضر در فولاد است، دیده می شوند. در ریز ساختار پدیده banding قابل مشاهده است.
در پی اندازه گیریهای انجام شده، قطر متوسط دانه در مقطع طولی 60/4 میکرون و در مقطع عرضی 41/92 میکرون گزارش شده است. این پارامتر برای فولاد A36 عدد 26/17 میکرون است. برای بررسی بیشتر از میکروسکوپ الکترونی روبشی 22 و نیز روش EDAX 23 بهره گرفته شد.
3 سری نمونه ضربه در دامنه دمایی 55- درجه سانتیگراد تا 179 درجه سانتیگراد مورد آزمون قرار گرفتند که 2 سری مربوط به نمونه های طولی و عرضی تایتانیک و یک سری نیز مربوط به فولاد A36 بود.
توجه دقیق به شکل 4 این واقعیت را نشان می دهد که دمای تبدیل یا همان DBTT برای نمونه طولی ورق تایتانیک 32 درجه سانتیگراد و 56 درجه سانتیگراد برای نمونه عرضی بوده است یعنی این فولاد در دماهای زیر 33 درجه سانتیگراد ترد شده و مستعد آسیب بوده است.

ورق تایتانیک دارای ضخامت اسمی 1/875 سانتیمتر بود که بر اثر خوردگی توسط آب شور اقیانوس این میزان کاهش یافته بود و امکان ماشینکاری نمونه استاندارد کشش وجود نداشت لذا از نمونه گرد با قطر 0/625 سانتیمتر و طول گیج 2/5 سانتیمتر استفاده شد. توجه به این مطلب لازم است که با توجه به جدول 2، ورق تایتانیک از استحکام قابل قبولی برخوردار بوده است.
با عنایت به مطالب ذکر شده، می توان انگشت اتهام را در غرق تایتانیک به سمت پدیده تبدیل رفتار نرم به ترد (DBTT) نشانه رفت. بنا بر گزارشها و مدارک موجود، دمای آب به هنگام برخورد تایتانیک با کوه یخ، 2- درجه سانتیگراد بوده است که اگر این عامل را در کنار تافنس کم فولاد بدنه تایتانیک به دلایلی از جمله: میزان کم منگنز، پایین بودن نسبت Mn:S ، درشت دانه بودن فریتها و نیز وجود کلنی های درشت پرلیت قرار دهیم به این نتیجه می رسیم که با وجود استفاده از مرغوبترین فولادی که سازندگان تایتانیک در دسترس داشتند اما رخ دادن پدیده تبدیل رفتار نرم به ترد فولاد در کنار عامل نیروی اعمالی هنگام برخورد به کوه یخ سبب ایجاد آن فاجعه گردید.

قصه پرغصه غرق شدن نسخه اصلي رباعيات خيام

شايد خيلي از ايرانيان ندانند كه نسخه اصلي و دستنويس كتاب رباعيات خيام با كشتي تايتانيك به عمق اقيانوس رفت و متاسفانه نابود شد و در كنار بسياري ديگر از شناسنامه هاي ازبين رفته فرهنگ و تمدن ايران قرار گرفت. اين كتاب بسيار پرارزش كه «عمر اعظم» نام داشت سرگذشت بسيار غم انگيزي دارد و سه روايت درباره آن نقل شده است.براساس يک روايت اين كتاب را يكي از شاهزادگان قاجار براي فروش به امريكا مي برده است و چون او يكي از سرنشينان كشتي تايتانيك بود، اين كتاب را با خود به قعر اقيانوس برد و به اين ترتيب برگي ديگر بر ماجراي قاچاق ثروت هاي ملي ايران افزوده و يک اثر نفيس نابود شد. روايت دوم نيز دست كمي از روايت نخست ندارد. «بنيامين عمربوساژ» كه باخبر مي شود نسخه دستنويس رباعيات خيام (عمر اعظم) در دست يكي از شاهزادگان ايراني است، به ايران سفر مي كند، ديگ طمع اين شاهزاده ضدملي را به جوش مي آورد، كتاب را از او مي خرد و هنگام بازگشت به امريكا، چون با كشتي تايتانيك سفر مي كرده است، اين كتاب به قعر اقيانوس مي رود و يک اثر نايا ب از فرهنگ ايران زمين متاسفانه نابود مي شود.و اما براساس روايت سوم، صحافي به نام «فرانسيس ستكلايف تلاش» آن را خريداري كرده، از نظر صحافي روي آن كار مي كند و قصد فروش آن را داشته كه به علت بحران اقتصادي انگليس (سال 1912) تصميم مي گيرد آن را براي فروش به امريكا ببرد، به يک مسافر امريكايي مي فروشد و چون خريدار مسافر كشتي تايتانيك بوده كتاب با غرق كشتي به اعماق دريا مي رود و نابود مي شود.مي گويند برادرزاده صحاف انگليسي «استانلي» از باقيمانده كتاب و تصاويري كه از آن داشته است، نسخه دومي- نه به ارزش نسخه اول كه به روايتي خط و نوشته خود خيام بوده است- تهيه مي كند كه اين نسخه نيز در بمباران لندن، طي جنگ جهاني دوم نابود مي شود.

وي دست از كار نمي كشد و نسخه سومي از طرح ها، عكس ها و تصاوير نسخه هاي اول و دوم تهيه مي كند كه اين نسخه در اختيار همسر و بازماندگان «استانلي بري» بوده است كه چند سال پيش به موزه بريتانيا تعلق گرفت. در اين كتاب كه هم اكنون در موزه بريتانيا موجود است يک هزار قطعه جواهر، هزاران سنگ قيمتي رنگارنگ و چند مترمربع ورقه طلا به كار رفته است. قصه پرغصه كتاب دستنويس رباعيات خيام را بسياري از نويسندگان جهان كه شيفته اين دانشمند بزرگ ايراني بوده اند، با درد و اندوه نگاشته اند.

يادگارهای تايتانيک

نامه ای كه "ادولف سافلد" 5 روز پيش از غرق شدن تايتانيک، به همسرش نوشته بود در حراجی لندن در سال 2009 به قيمت 85 هزار دلار به فروش رفت.يک موزه انگليسی كه نام آن ذكر نشده است اين مبلغ ركورد شكن را پرداخت نموده است. در اين نامه چگونگی زندگی در تايتانيک از ديد مسافران بخش درجه يک توصيف شده و در پايين برگه اندازه كابين و تزئينات آن نوشته شده است. همچنين در اين حراجی كليدی متعلق به يكی از كاركنان كشتی كه در دقيقه آخر از تايتانيک خارج شده است به قيمت 54 هزار دلار و مجموعه ای از عكسهای اين كشتی مجلل و مسافرانش 100 هزار دلار فروخته شد.

زيرنويس ها:

1- White Star Lines
2- RMS Titanic
3- Dr. Robert Ballard
4- sonar
5- J. Bruce Ismay
6- ductile-to-brittle transition temperature (DBTT)
7- face centered cubic (FCC)
8- brittle fracture
9- body centered cubic (BCC)
10- hexagonal close packed (HCP)
11- Charpy impact test
12- crack tip opening displacement (CTOD)
13- Drop-weight test (Pellini test)
14- killing
15- fully killed
16- killed steel
17- semi-killed
18- rimmed steel
19- Bessemer process
20- open-hearth process
21- lining of the basic open-hearth furnace
22- SEM –scanning electron microscopy
23- energy-dispersive x-ray analysis

مراجع

1- G. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Series in Materials Science and Engineering, 1988, pp. 471-488

2- http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9801/Felkins-9801.html

3- http://en.wikipedia.org/wiki/RMS_Titanic

4- http://www.ecophotoexplorers.com/ecotitanic.asp

5- روزنامه اعتماد، 30 آذر ماه 1388، شماره 2132، صفحه آخر

6- روزنامه جام جم، سه شنبه 31 فروردین 1389

7- سرگذشت تایتانیک، گردآوري و تحقيق: اصغر ناصري ، آبانماه 1381، http://www.tdins.org