دانشگاه هرمزگان

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سازه های دریایی

عنوان پایان نامه :

بررسی توزیع تنش در اتصالات T و K شکل و تأثیر ترک بر آن

استاد راهنما :

دکتر بابک شکرالهی زاده حاجی آبادی

استاد مشاور :

دکتر محمد طاهر کمالی

دانشجو :

رحمان علیزاده لشکانی

بهمن ۱۳۸۷

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

عنوان

فصل اول : تاریخچه و مروری بر شکست سازه ها

۱ ـ ۱ مقدمه ۷
۱ ـ ۲ سوابق تاریخی و بررسی روند تحقیقات در مکانیک شکست ۸
۱ ـ ۲ ـ ۱ تجربه کشی آزادی ۹
۱ ـ ۲ ـ ۲ تحقیقات در مکانیک شکست پس از جنگ دوم جهانی ۱۰

فصل دوم:مفاهیم اساسی در مکانیک شکست

۲ ـ ۱ طراحی با روش مکانیک شکست ۱۳
۲ ـ ۱ ـ ۱ معیار انرژی ۱۳
۲ ـ ۱ ـ ۲ روش ضریب شدت تنش ۱۴
۲ـ ۲ اثر تمرکز تنش ترک ۱۶
۲ -۳ نرخ رهایی انرژی ۱۷

فصل سوم:روش های عددی در محاسبه کمیت های مکانیک شکست

۳-۱مقدمه ۲۲
۳-۲ مقدمه ای بر روش اجزای محدود ۲۴
۳ـ۳ انواع المان های متداول برای تحلیل اجزای محدود ۲۸
۳ـ۴ روند تحلیل اجزای محدود ۳۲
۳ـ۵ المان های ویژه برای مدل اجزای محدود ترک ۳۸
۳ـ۶ محاسبه فاکتور شدت تنش در مدل های اجزای محدود دو بعدی ۴۲
۳ـ۷ محاسبه فاکتور شدت تنش در مدل های اجزای محدود سه بعدی ۴۵
۳ـ۸ روش های تعیین میزان رهایی انرژی کرنشی ۴۷
۳ـ۸ـ۱ تعریف میزان رهایی انرژی کرنشی ۴۸
۳ـ۸ـ۲ روش تئوری تیر برای تعیین میزان رهایی انرژی کرنشی ۵۰
۳ـ۸ـ۳ روش مساحت برای محاسبه میزان رهایی انرژی کرنشی ۵۱

فصل چهارم :جزئیات اتصالات وعوامل موثر بر SCF

۴ـ۱ تعاریف تنش و راهکارهای مربوط ۵۴
۴ـ۲ آنالیز اجزای محدود برای به دست آوردن تنش های نقاط حاد ۵۵
۴ـ۳ انواع اتصالات ۵۶

۴ـ۳ـ۱ اتصالات لوله ای ۵۶
۴ـ۴ محاسبات تنش نقطه حاد ۵۹
۴ـ۵ جزئیات محاسبه فاکتورهای تمرکز تنش ۶۱
۴ـ۵ـ۱SCF برای اتصالات لوله ای ۶۱
۴ـ۵ـ۲ SCF برای جوش های دور تا دور لوله به لوله ۶۲
۴ـ۵ـ۳ برون یابی تنش ۶۳
۴ـ۶ معادلات SCF اتصالات ساده ۶۵
۴ـ۶ـ۱ ضریب تمرکز تنش در API ۶۵

فصل پنجم:آنالیز اجزا محدودو تعیین SCF

۵-۱مقدمه ۶۹
۵-۲مشخصات فولادوجوش ۷۲
۵ـ۳ـ روش FE (المان محدود) در مورد توزیع تنش اتصالات T و K شکل ۷۳
۵-۴ استفاده از روش FE در تعیین SCF اتصالات T و K شکل ۷۵
۵-۵اثر تغییرات پارامترهایγ،β،τ بر ضریب تمرکز تنشSCF ۷۹
۵-۶تنش های اصلی در حالت سه بعدی تنش ۸۱
۵-۷مقدمه ای بر مکانیک شکست ۸۳
۵-۷-۱ نرخ آزاد سازی انرژی ۸۷
۵-۷-۲ روش انتگرال J ۸۷
۵-۸اثر ترک بر ضریب تمرکزتنش در اتصال TوKشکل ۹۲

بحث ونتیجه گیری
پیشنهادات جهت ادامه کار
منا بع و ماخذ

فهرست جداول

عنوان

جدول ۴ـ۱ : معادلات پارامتری SCF برای جوش های دور تادور لوله به لوله ۶۲
جدول ۴ـ۲ : فرمول های SCF انتخاب شده برای اتصالات ساده ۶۷

فهرست اشکال

عنوان

شکل ۲-۱-مقایسه بین روش مکانیک شکست و روش مقاومت مصالح در طراحی اجزا،(a)روش مقاومت مصالح (b) روش مکانیک شکست ۱۳
شکل ۲ـ۲ـ وضعیت تنش در نزدیکی نوک ترک در یک ماه ماده الاستیک ۱۵
شکل ۲-۳ورق دارای سوراخ بیضی تحت کشش ۱۶
شکل ۲-۴ ورق دارای ترک تحت اثر بار ۱۹
شکل ۲ـ۵ نمودار نیرو ـ تغییر شکل ۲۰
شکل ۳-۱ طیف نوری حاصل از یک نمونه ترک دار ۲۳
شکل ۳-۲ یک نمونه آزمایش کالیبراسیون نرمی ۲۳
شکل ۳ـ۳ نمونه ای از مدل اجزای محدود برای یک قطعه ترک دار ۲۴
شکل ۳-۴ نمونه ای از مدل المان های مرزی برای یک قطعه ترک دار ۲۴
شکل ۳-۵ یک المان فنری ۲۵
شکل ۳ـ۷ هندسه ورق یکسر گیردار تحت نیروی نقطه ای ۳۳
شکل ۳ـ۸ یک ناحیه چهار گرهی برای توصیف هندسه مسئله ۳۳
شکل ۳ـ۹ نگاشت تبدیل ناحیه چهار ضلعی مورد نظر به یک متر مربع ۳۴
شکل ۳ـ۱۰ ناحیه المان بندی شده با شبکه ۳×۳ ۳۵
شکل ۳ـ۱۱ مدل اجزای محدود صفحه با اعمال تکیه گاه ها و نیروی وارده ۳۷
شکل ۳ـ۱۲ المان هشت گرهی ایزوپارامتریک در نوک ترک ۳۹
شکل ۳ـ۱۳ گره های جابجا شده در فرمول بندی ایزوپارامتریک ۳۹
شکل ۳ـ۱۴ المان های ویژه در نوک ترک ۴۱
شکل ۳ـ۱۵ المان های مثلثی شش گرهی ویژه دور نوک ترک ۴۲
شکل ۳ـ۱۶ مودهای تغییر شکل ترک ۴۴
شکل ۳ـ۱۷ مختصات قطبی در نوک ترک ۴۵
شکل ۳ـ۱۸ المان بیست گرهی ایزوپارامتریک و نوع تخریب شده (ویژه) آن ۴۷
شکل ۳ـ۱۹ ترک در یک جسم دلخواه ۴۹
شکل ۳ـ۲۰ ترک در قسمتی از یک قطعه ترک دار ۵۰
شکل ۳ـ۲۱ سطح زیر منحنی نیرو ـ تغییر مکان ۵۲
شکل ۴-۱ شیب تنش (واقعی و فرضی) نزدیک جوش ۵۴
شکل ۴-۲ نمونه ای از شکل های مختلف اتصالات لوله ای ۵۹
شکل۴-۳ رابطه تنش در مهار با مود بارگذاری ۶۰
شکل ۴-۴ پارامترهای کاربردی در محاسبه SCF ۶۱

شکل۴-۵ خطای در ساختار برای اتصالات دور تا دور لوله به لوله (T_1 ضخامت عضو نازکتر) ۶۳
شکل۴-۶ تعریف تنش در سازه های جوش شده (توزیع تنش در نواحی مختلف) ۶۴
شکل ۴-۷تعریف نواحی تنش هندسی در اتصالات لوله ای ۶۴
شکل۴-۸ وابستگی نقطه منحصر بخ فرد نوع المان استفاده شده در مدل اجزای محدود ۶۵
شکل۴-۹ پارامترهای مورد استفاده در معادلات SCF ۶۷
شکل۵-۱ابعاددونمونهTوK شکل ا صلی ۷۰
شکل ۵-۲دستگاه تست نمونه TوKشکل ۷۰
شکل ۵-۳ شبکه بندی اتصال Tشکل ۷۰
شکل ۵-۴ شبکه بندی اتصال kشکل ۷۱
شکل ۵-۵ تعیین ابعاد جوش با توجه به ضوابط آئین نامۀ API ۷۳
شکل۵-۶ تقسیم سازه به بخشهای مختلف متناسب با مناطق محاسباتی ۷۶
شکل۵-۷جزئیات شبکه بندی پنجه جوش ۷۶
شکل۵-۸ تنش نقطه حاد به وسیله برونیابی دو نقطه به فاصله $Lr_{\min}$ و $Lr_{\max}$ از پای جوش ۷۷
شکل ۵-۹ نتایج حاصل از روش FEوکنترل آن با نتایج آزمایشگاهی دراتصال Tشکل اصلی ۷۸
شکل ۵-۱۰ نتایج حاصل از روش FEوکنترل آن با نتایج آزمایشگاهی ونتایج مقاله دراتصال Tشکل اصلی ۷۸
شکل ۵-۱۱نتایج حاصل از روش FEوکنترل آن با نتایج آزمایشگاهی دراتصالKشکل اصلی ۷۹
شکل۵-۱۲اثر تغییرات پارامترهای β، γ بر ضریب تمرکز تنشSCFاتصالTشکل ۸۰
شکل ۵-۱۳ اثر تغییرات τ بر ضریب تمرکز تنش در اتصال T شکل ۸۱
شکل ۵-۱۴ اثر تغییرات پارامترهایτ،β،γ بر ضریب تمرکز تنشSCF در اتصالات K شکل ۸۱
شکل ۵-۱۵ تبدیل تنش در حالت سه بعدی ۸۳
شکل ۵-۱۶ سه مود موجود در ترک ۸۴
شکل ۵-۱۷ استفاده از المانهای دو بعدی در مدلسازی ترک ۸۶
شکل ۵-۱۸ استفاده از المان سه بعدی در مدلسازی ترک ۸۶
شکل ۵-۱۹ محاسبۀ مقدار انتگرالjبر اساس انرژی ناشی از گسترش مجازی ترک ۸۸
شکل ۵-۲۰ مسیر ترک در اتصال T شکلMN-MX ۸۹
شکل ۵-۲۱ مسیر ترک در اتصال K شکل MN-MX ۸۹
شکل ۵-۲۲ گرههای اطراف ترک ۹۰
شکل ۵-۲۳ مش بندی اطراف ترک K شکل ۹۰
شکل ۵-۲۴ مش بندی ترک در اتصال K شکل ۹۱
شکل ۵-۲۵ مش بندی ترک در اتصال T شکل ۹۱
شکل ۵-۲۶ اثر ترک بر SCFاتصال Tشکل اصلی ۹۲

شکل ۵-۲۷ مقایسه SCFاتصال Tشکل اصلی با وبدون ترک ۹۲
شکل ۵-۲۸ مقایسه SCFاتصالK شکل اصلی با وبدون ترک ۹۳
شکل ۵-۲۹: مقایسهٔ بین نمودار SCF در حالت ترکدار و بدون ترک برای اتصال K شکل $\gamma=۱۲ , \tau=۰,۷ , \beta=۰,۵$ ۹۳
شکل ۵-۳۰: مقایسهٔ بین نمودار SCF در حالت ترکدار و بدون ترک برای اتصال T شکل $\gamma=۸ , \tau=۰,۲۵ , \beta=۰,۸$ ۹۳

چکیده :

ضریب افزایشی که برای تبدیل تنش اسمی به تنش ماکزیمم موجود در مناطق بحرانی به کار می رود ضریب تمرکز تنش SCF نامیده می شود . این ضریب که مشخص کننده مقاومت اتصال مخصوصاً مقاومت خستگی آن می باشد با توجه به شکل هندسی اتصال و نوع بارگذاری آن با فرمول های مربوطه محاسبه می گردد . بکارگیری ضریب تمرکز تنش در محاسبه عمر خستگی بسیار حائز اهمیت می باشد . ضریب تمرکز تنش همچنین چگونگی توزیع تنش در انواع اتصالات را بیان می کند و بواسطه آن می توان تنش پای جوش hot spot stress را تعیین نمود .

مکانیک شکست یکی از علوم مهندسی است که پدیده شکست در مواد را بررسی نموده و روش های طراحی برای عملکرد مطمئن سازه را ارائه می دهد . این علم دارای کاربردهای بسیار گسترده ای در طراحی سازه های دریایی می باشد . به طوری که امروزه دست کم ۸۰٪ از طراحی ها بر اساس دانش مکانیک شکست انجام گرفته و یا لااقل سازه های طراحی شده با روش های دیگر ، به منظور اطمینان از ایمنی و کارایی لازم با روش های مکانیک شکست مورد بررسی و آزمایش قرار می گیرند .

در این رساله ، با استفاده از نرم افزار ANSYS-۱۰ مدل اجزا محدود سه بعدی اتصالات T و K شکل جهت تعیین ضریب تمرکز تنش و مدل واقعی جوش با استفاده از المان بیست گرهی Solid ۱۸۶ بررسی و مقادیر محاسبه شده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می گردد . همچنین اثر تغییرات پارامترهای موثر بر ضریب تمرکز تنش بررسی می شود .

در نهایت با توجه به اهمیت علم مکانیک شکست اثر ترک بر روی توزیع تنش و ضریب تمرکز تنش بررسی می گردد .

در این تحقیق اثر جوش بر روی توزیع تنش در نظر گرفته شده است گر چه در مطالعات قبلی عموماً این اثر را نادیده می گرفتند همچنین با توجه به نامناسب بودن المان پوسته ای برای مدل کردن جوش که در مطالعات قبل صورت گرفته از المان مکعبی بیست گرهی ۱۸۶ Solid استفاده شده است . و پس از ایجاد ترک تکین شدن تنش و کرنش در نوک ترک به صورت واقعی مدل شده است .

بنابراین در این رساله می توان مدل واقعی جوش و ضریب تمرکز تنش اثر تغییرات سایر پارامترها بر روی آن ها را نتیجه گیری نمود همچنین اثر ترک بر روی ضریب تمرکز تنش بررسی شده است .

کلمات کلیدی :

اتصال T و K شکل ، تنش نقطه حاد [۱] ، ضریب تمرکز تنش [۲] ، مدل اجزاء محدود Ansys [۳] ، ترک [۴] ، المان تکین [۵] ، مکانیک شکست [۶] ، ضریب شدت تنش [۷] .

---

۱ - Hot spot stress
۲ - Stress concentration factor
۳ - Finite element method
٤ - Crack
٥ - Singular Element
٦ - Fracture Mechanics
۷ - Intensity Factor

مقدمه :

تولید و تامین انرژی در هر کشور از اهمیت بالایی در زمینه های اقتصادی و سیاسی داشته و دارد از این رو سرمایه گذاری های کلانی در هر کشور در امر تحقیق و پژوهش پیرامون فناوری های مربوط به بهره برداری و استفاده از منابع انرژی صورت می گیرد . در حال حاضر منابع نفتی بخش عمده نیاز انرژی کشور را تامین می کنند ، لذا پژوهش در امر استخراج منابع نفت و فناوریهای مربوطه از جمله سکوهای دریایی که برای اکتشاف و استخراج منابع نفتی کاربرد دارند ، ضروری به نظر می رسد . زمینه های پژوهش مرتبط با سکوهای دریایی بسیار گسترده و وسیع می باشند و هر کدام از مراحل جانمایی ، طراحی ، ساخت ، نصب ، بهره برداری و نگهداری نیاز به دامنه وسیعی از تخصص ها و علوم مختلف دارد . یکی از این زمینه ها تعیین ضرایب تمرکز تنش (SCF) در اتصالات سازه های دریایی است که از جنبه های مختلف دارای اهمیت می باشد تعیین توزیع تنش و محاسبه عمر خستگی سازه که مهمترین و مشکل ساز ترین مرحله طراحی یک سکوی دریایی می باشد از جمله این جنبه هاست .

بارهای وارده بر اتصالات باعث ایجاد تنش هایی در نقاط خاصی از طول جوش می شود که مقدار این تنش ها چندین برابر بزرگتر از تنش اسمی موجود در عضوهای اتصال است . ضریب افزایشی که برای تبدیل تنش اسمی به تنش ماکزیمم موجود در مناطق بحرانی به کار می رود ضریب تمرکز تنش SCF نامیده می شود ضریب تمرکز تنش SCF در محاسبه محدوده های تنش نقاط حاد حداکثر به کار گرفته می شوند . این ضریب که مشخص کننده مقاومت اتصال مخصوصاً مقاومت خستگی آن می باشد با توجه به شکل هندسی اتصال و نوع بارگذاری آن با فرمول های مربوطه محاسبه می گردد [۱] بکار گیری ضریب تمرکز تنش عمر خستگی حائز اهمیت است تا جائی که در بعضی اتصالات تمرکز تنش می تواند تنش ماکزیممی در مقطع به اندازه ۳۰ برابر تنش اسمی اعمال شده در عضو تولید کند . [۱۳] تخمین دقیق و

صحیح ضرایب تمرکز تنش در محاسبه طول عمر خستگی بسیار موثر بوده به طوری که اگر ۱۸٪ کمتر تقریب زده شود در مواردی ممکن است عمر خستگی اتصال بیش از ۲ برابر بدست آید [۲]

علم مقاومت مصالح دارای شاخه های گوناگونی است که از رشد و تعالی قابل توجهی در زمینه های کاربردی و روش های تحلیلی عملی برخوردار بوده است . یکی از شاخه های این علم ، با کاربرد زیاد و تحلیل علمی نسبتاً مشکل ، مکانیک شکست است . پیشرفت بسیار سریع تکنولوژی در قرن حاضر که منجر به توسعه صنایع مختلف مکانیکی ، شیمیایی ، . . . شده و در عین حال فضا و دریا را نیز به تسخیر خود در اورده است ، لزوم بکار گیری مواد جدید و گوناگون را باعث شده است . طبیعی است که بکارگیری این مواد ، در گستره وسیع تکنولوژی ، معیارهای نوینی در روش های طراحی را نیز الزامی نموده است . در این میان ، در چند دهه اخیر ، توجه زیاد دانشمندان و محققین به بررسی و تحلیل مواد در شرایط کاری مختلف ، با استفاده از علم مکانیک شکست معطوف شده است . مکانیک شکست یکی از علوم مهندسی است که پدیده شکست در مواد را بررسی نموده و روش های طراحی برای عملکرد مطمئن سازه را ارائه می دهد . این علم دارای کاربردهای بسیار گسترده ای در طراحی قطعات سازه ها و ماشین آلات مربوط به صنایع مختلف مانند صنایع نیروگاهی ، خودرو سازی ، کشتی سازی ، هوافضا و سازه های دریایی می باشد . به طوری که گفته می شود امروزه دست کم ۸۰٪ از طراحی ها در این زمینه ها بر اساس دانش مکانیک شکست انجام گرفته و یا لااقل سازه های طراحی شده با روش های دیگر ، به منظور اطمینان از ایمنی و کارایی لازم با روش های مکانیک شکست مورد بررسی و آزمایش قرار می گیرند . با توجه به این که حدود هفتاد تا هشتاد درصد شکست سازه های مکانیکی ناشی از گسترش ترک در آنها می باشد اهمیت بکارگیری علم مکانیک شکست دریافتن پاسخ علت خرابی سازه ها آشکار می گردد .

در این رساله ، با استفاده از نرم افزار Ansys-۱۰ به بررسی مدل اجزا محدود سه بعدی اتصالات T و K شکل جهت تعیین ضریب تمرکز تنش و مدل واقعی جوش با استفاده از المان بیست گرهی Solid ۱۸۶ پرداخته و به بررسی تاثیر تغییرات پارامترهای موثر بر ضریب تمرکز تنش اتصال T و K شکل خواهیم پرداخت .

آن چه در این رساله متمایز از مطالعات انجام شده قبلی می باشد این که اولاً مطالعات قبلی عموماً اثر جوش را بر روی توزیع تنش نادیده می گرفتند چرا که مدل کردن مقطع جوش بین دو عضو جوش شونده با توجه به هندسه و منحنی پیچیده آن بسیار دشوار بود . shao [۱۹]پیشنهاد کرده است که از یک روش برای شبیه سازی اندازه جوش در محل برخورد مقاطع استفاده شود ، ثانیاً در مطالعات قبلی بیشتر از المان پوسته ای استفاده گردیده است که استفاده از این المان برای مدل کردن سازه های لوله ای تو خالی دارای دو مشکل اساسی می باشد .

اول این که المان پوسته ای برای مدل کردن جوش مناسب نیست و دیگر این که المان پوسته ای با تغییرات تنش در لوله های ضخیم همخوانی ندارد [۱۹] .Herion et.alثابت کرد که المان های صلب برای مدل کردن سازه های لوله ای در روش FE و مدل کردن تمرکز تنش بسیار مناسب می باشد بنابراین از این نوع المان در این رساله استفاده شده است در نهایت با توجه به اهمیت علم مکانیک شکست تاثیر ترک بر روی توزیع تنش و ضریب تمرکز تنش بررسی و تکین شدن تنش و کرنش در نوک ترک مدل گردیده است .

فصل اول :

تاریخچه و مروری بر شکست سازه ها

۱ ـ ۱ مقدمه

پدیده شکست اجسام یکی از عمده ترین مسائلی است که از زمان ساختن ساده ترین ابزارها با آن مواجه بوده و بدلیل پیشرفت تکنولوژی در عصر حاضر ، این مسئله از اهمیت بیشتری نسبت به گذشته برخوردار می باشد . متلاشی شدن بسیاری از سازه ها و کشتی ها در دهه های گذشته لزوم درک دقیق تری از مکانیک شکست در اجسام را در علوم جدید ایجاب می کند .

تحقیقات در زمینه نفت در بستر اعماق دریایی تجارب تئوری و عملی بسیار سودمندی را در جهت اکتشاف و استخراج نفت دریاها در اختیار انسان قرار داده است . اکتشاف سفره های عظیم نفت و گاز در اعماق دریاها ، ایجاد سکوهای عظیم حفاری و تولید نفت در دریاها را در پی داشته است . از دهه ۱۹۴۰ تاکنون تمایل بشر برای ساخت سازه های ثابت دریایی در اعماق دریاها روز به روز بیشتر شده است[۵] . ابتدا سکوی تولید در دریا بر پا می شود و پس از آن انتقال نفت و گاز طبیعی از سکوی تولید به تاسیسات ساحلی امری مهم می باشد . لوله های زیر دریایی بعنوان یک پیشنهاد بسیار مناسب و موثر برای انتقال مستمر نفت و گاز طبیعی از اعماق دریا به ساحل در نظر می باشد . اگر چه لوله سازه ای بسیار ساده و ابتدایی است ولی اندر کنش لوله های زیر دریایی با امواج دریا و لرزش های زلزله بسیار مهم و پیچیده است هر ترکی که در لوله ایجاد می شود تهدیدی جدی برای قطع شدن انتقال نفت ، استخراج نفت و همچنین آلودگی محیط می باشد .

یکی از موضوعات مهم در مکانیسم شکست ، تعیین ضریب شدت تنش می باشد . برای کاربردهای مهندسی و تئوری شکست استفاده از یک روش ساده برای تعیین ضریب شدت تنش با ساز و کار پیچیده ترک امری بدون شک مثبت می باشد.

پیشرفت بسیار سریع تکنولوژی در عصر حاضر که منجر به توسعه صنایع مختلف مکانیکی ، شیمیایی و . . . شده و در عین حال فضا و دریا را نیز به تسخیر خود در آورده است ، لزوم بکارگیری مواد جدید و گوناگون را باعث شده است . طبیعی است که بکارگیری این مواد در گستره وسیع تکنولوژی ، معیارهای

نوینی در روش های طراحی را نیز الزامی نموده است . با توجه به این که حدود هفتاد تـا هـشتاد درصـد شکست سازه های مکانیکی ناشی از گسترش ترک در آنها مـی باشـد اهمیـت بکـارگیری علـم مکانیـک شکست در یافتن پاسخ علت خرابی سازه ها آشکار می گردد .

۱ ـ ۲ سوابق تاریخی و بررسی روند تحقیقات در مکانیک شکست

از دیرباز سازه ها حتی الامکان بنحوی طرح می شوند که دیرتر دچار شکست وزوال شـوند بـسیاری از سازه های مصریان ، رومیان و ایرانیای باسـتان و بناهـایی کـه در دوره رنـسانس در اروپـا سـاخته شـده همچنان پا بر جا هستند که از نظر علم مهندسی جدید تحسین بر انگیز می باشند . از آن جا کـه دانـش مکانیک قبل از نیوتن محدود بود ، ساخت بناهای تاریخی با طراحـی موفـق مـستلزم سـعی و خطاهـای بسیاری بوده است . قبل از انقلاب صنعتی اکثر سازه ها برای تحمل بارهای فشاری طراحی مـی شـدند . انقلاب صنعتی دگرگونی عظیمی در مواد بکار رفته در سـازه هـا را بوجـود آورد و آن اسـتفاده از آهـن و فولاد بود . استفاده از فولاد این امکان را بوجود آورد که بتوان از قابلیت کشش مواد نیز استفاده کرد .

شاید آزمایشات لئونارد داوینچی را بتوان نخستین تلاش در ریشه یابی شکست در اجسام بـشمار آورد او هنگام اندازه گیری مقاومت سیم های آهنی دریافت که مقاومت این سیم ها نسبت عکس بـا طـول آن ها دارد . در واقع وجود تعداد بیشتری از ترک های ریز[۱] در سطح سیم امکان شکست در تـنش کمتـر را افزایش می دهد .

قدم اساسی در ایجاد رابطه تنش شکست و ابعاد ترک در اوایل قرن حاضر توسـط گریفیـث[۲] برداشـته شد . او طی انتشار مقاله ای در سال ۱۹۲۰[۶] روش تحلیل تنش در اطراف یک سوراخ بیضی شکل (که هشت سال پیش تر توسط اینگلیس[۳][۷] انجام شده بود) برای حل انتشار یک ترک ناپایدار بکار گرفـت . گریفیث با استفاده از قانون اول ترمودینامیک توانست تئوری شکست را بر اساس تعادل ساده انرژی پایـه

---

[۱] flaw
[۲] -Griffith
[۲] -Inglis

گذاری کند. بر طبق این تئوری ، شرایط ناپایداری در رشد ترک و شکست در یک جسم آنست که تغییر در انرژی کرنشی حاصل از رشد ترک برای غلبه بر انرژی سطحی ماده کافی باشد.

۱ ـ ۲ ـ ۱ تجربه کشتی آزادی

در روز های اول جنگ دوم جهانی آمریکا در چهارچوب قرارداد لند لیز[۱] مبادرت به ارسال کشتی به بریتانیا نمود این کشتی ها با مدیریت مهندس معروف آمریکایی هنری کیزر که پیش تر سد هوور[۲] را طراحی کرده بود ساخته شد . وی با بکارگیری از یک روش جدید برای ساخت این کشتی ها ، برای اتصال سراسری کشتی از جوشکاری استفاده نمود که قبلاً این امر با اتصالات پرچ انجام می شد . بکار گیری این روش باعث کاهش چشمگیر در زمان ساخت کشتی ها شد . این موفقیت سرو صدای زیادی را بوجود آورد تا این که در سال ۱۹۴۳ ، هنگامی که کشتی آزادی بین سیبری و آلاسکا در حرکت بود به دو نیم تقسیم شد . شکست های بعدی در بسیاری از بدنه های دیگر کشتی های آزادی در فواصل زمانی کوتاهی اتفاق افتاد بطوری که از ۲۷۰۰ کشتی آزادی ، حدود ۴۰۰ کشتی دچار شکست در بدنه شدند که بین آن ها ۹۰ کشتی دچار صدمه جدی ، ۲۰ کشتی شکست کلی و ۱۰ کشتی به دو نیم تقسیم شدند . تحقیقات بعدی نشان داد که علل اصلی شکست ناشی از عوامل زیر بود .

ـ جوشکاری توسط افراد نیمه ماهر انجام شده بود و ترک ریز در قسمت های جوش شده باقی مانده بودند .

ـ اکثر شکست ها از نواحی اتصالات گوشه ای که دارای تمرکز تنش زیادی بودند شروع شده بود .

ـ فولاد بکار رفته برای ساخت کشتی های آزادی از چقر مگی[۳] کمی برخوردار بوده است.

---

[۱] -Lend-Lease ACT
[۲] -Hoover Dam
[۳] -Toughness

اگر در ساخت این کشتی ها با حفظ همان نوع فولاد از اتصالات پرچ شده استفاده می شد ، عملاً امکان گسترش ترک از بین می رفت . اتصالات جوش شده در واقع پیکره واحدی را تشکیل می دهد و ترکی که از ناحیه خاصی شروع می شود . در شرایط بحرانی بدون توقف بسرعت گسترش می یابد

در برخی از کشتی های آزادی گسترش ترک باعث دو نیم شدن کشتی در جهت عرضی شد . پس از وقوع حوادث فوق ، در کشتی های بعدی از قطعات تقویتی استفاده شد که به نواحی دارای تمرکز تنش پرچ می شدند و نقش متوقف کننده ترک[۱] را ایفا می کردند .

۱ ـ ۲ ـ ۲ تحقیقات در مکانیک شکست پس از جنگ دوم جهانی

پس از مطالعات اولیه اینگلیس و گریفیث ، ایروین معتقد بود که ابزار اساسی برای تحلیل شکست در اجسام فراهم شده است . وی خاطر نشان ساخت که برای رشد ترک ، علاوه بر انرژی سطحی ، بایستی انرژی لازم برای غلبه بر جریان پلاستیک در اطراف نوک ترک نیز فراهم شود . اوروان [۸]و موت[۹] نیز مستقلاً تئوری مشابهی را ارائه نمودند . در سال ۱۹۵۶ ایروین[۱۰] مفهوم نرخ رهایی انرژی را عنوان کرد که تعمیم تئوری گریفیث بود. توسط و سترگارد[۱۱] مقاله ای در سال ۱۹۳۹ منتشر شد که در آن روشی برای تحلیل تنش و تغییر مکان در نوک یک ترک ارائه گردیده بود . ایروین[۱۲] نشان داد که تنش و تغییر شکل درنوک ترک را می توان با عامل ثابتی ارتباط داد که رابطه مستقیم با نرخ ر هایی انرژی دارد . این عامل بعداً ضریب شدت تنش[۲] شناخته شد .

پس از جنگ جهانی دوم در سال های حوالی ۱۹۶۰ بنیادهای مکانیک شکست الاستیک خطی بخوبی شناخته شده بود بعد از آن غالب تحقیقات معطوف به بررسی پلاستیسیته نوک ترک بود . هنگامی که تغییر شکل پلاستیک قابل توجهی در جسم بوجود می آید فرضیات مکانیک شکست الاستیسیته خطی[۳] (LEFM) معتبر نخواهد بود ایروین با استفاده از LEFM مدل تصحیح منطقه پلاستیک را ارائه نمود و

---

[۱] -Crack arrester
[۲] -Stress Intensily Factor
[۳] Linear Elastic Fracture Mechanics

واتویل[۱] و بارنسلات[۲] هر یک مبادرت به توسعه مدل های واقعی تری بر اساس نوار باریکی از ماده تسلیم شده در نوک ترک نمودند. ولز معیار شکست دیگری بر مبنای تغییر مکان در نوک ترک[۳] (CTOD) در ماده ای با تغییر شکل پلاستیک زیاد در هنگام شکست را پیشنهاد داد .

در سال ۱۹۶۸ رایس[۴] با فرض رفتار الاستیک غیر خطی برای ماده ای با تغییر شکل پلاستیک موفق شد مفهوم نرخ رهایی انرژی را برای مواد با رفتار غیر خطی تعمیم دهد. او نشان داد که نرخ رهایی انرژی غیر خطی را می توان بر مبنای انتگرال خطی J در یک مسیر اختیاری در اطراف ترک محاسبه نمود . در همان سال ها تچینسن[۵] ، رایس و رزنگرن[۶] موفق شدند انتگرال J را به میدان تنش در نوک ترک برای یک ماده با رفتار غیر خطی ارتباط دهند . تحلیل های فوق خاطر نشان ساخت که J می تواند بعنوان یک عامل شدت تنش غیر خطی و همچنین بعنوان نرخ رهایی انرژی در نظر گرفته شود .

در سال ۱۹۷۶ ، شیه[۷] وهاتچینسن موفق به ارائه چهارچوب تئوریک برای کاربرد مفهوم مکانیک شکست در طراحی شدند که بر مبنای آن رابطه ریاضی بین چقرمگی ، تنش و ابعاد ترک بر مبنای J مشخص می شد . شیه همچنین با برقراری رابطه بین J و تغییر مکان نوک ترک ، CTOD نشان داد که هر یک از دو مشخصه فوق می تواند معیاری برای شکست اجسام در نظر گرفته شوند .

توسعه مکانیک شکست اجسام در سال های ۱۹۸۰ به بعد بیشتر متوجه رفتار شکست مواد غیر خطی و وابسته به زمان نظیر ویسکوالاستیسیته و و یسکوپلاستیسیته گر دید و بیشتر تحقیقات جدید بر مبنای عمومیت دادن به انتگرال مداری J پایه گذاری شده اند.

---

۱ -Dugdale
۲ -Barenblatt
۳ -Crack Tip Opening Displacement
٤ -Rice
٥ -Hutchinson
٦ -Rosengren
۷ -Shih

فصل دوم:

مفاهیم اساسی در مکانیک شکست