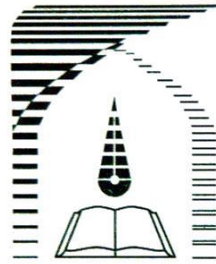


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی هوافضا گرایش طراحی سازه‌های هوافضایی

شبیه‌سازی سه‌بعدی رشد ترک در لوله جدار نازک تحت فشار متحرک داخلی با

استفاده از روش المان محدود

نگارنده

محمد ملکان

استاد راهنما

دکتر مجید میرزائی

بهمن‌ماه ۱۳۹۰

تقدیر و تشکر

شکر و سپاس خداوندی را که شایسته ستایش است.

در اینجا وظیفه خود می‌دانم که از استاد محترم و گرامی جناب آقای دکتر مجید میرزائی که پیوسته از راهنمایی‌های ایشان بهره‌جسته و در تمام مراحل تحقیق با هدایت مدبرانه مرا یاری نموده‌اند، تقدیر و تشکر می‌نمایم.

همچنین، از زحمات آقایان مهندس ابراهیم سیدی و مهندس حامد معیری کاشانی کمال تشکر را دارم.

چکیده

تحلیل رشد ترک در استوانه جدار نازک تحت فشار متحرک کاربردهای علمی و صنعتی متنوعی دارد که از جمله می‌توان به پارگی لوله‌ها و مخازن تحت فشار در اثر انفجار گازی داخلی اشاره کرد. دتونیشن گازی درون یک لوله منجر به یک بارگذاری متحرک داخلی می‌شود که در نتیجه آن تغییر شکل‌های گذرا در لوله بوجود می‌آید. در اثر ایجاد موج دتونیشن در یک لوله امواج خمشی ایجاد می‌شوند که با سرعت معادل از سرعت موج دتونیشن در لوله حرکت کرده و ممکن است باعث رشد ترک در لوله و شکست آن شود. همچنین این امواج، کرنش‌هایی بسیار بالاتر از معادل استاتیک آن پدید می‌آورند. این تحقیق به آنالیز المان محدود رشد ترک در یک لوله جدار نازک حاوی ترک اولیه سطحی در راستای محوری تحت بارگذاری متحرک داخلی (دتونیشن) می‌پردازد. بارگذاری دتونیشن بصورت یک بار شوک داخلی با فشار ماکزیمم $6/1 \text{ MPa}$ است که با سرعت 2404 m/s در طول لوله حرکت می‌کند. ابتدا پاسخ الاستو-دینامیک لوله با بارگذاری دتونیشن بدست آمده و جنبه‌های مختلف آن به لحاظ روش حل المان محدود بررسی می‌شود. حل عددی پاسخ سازه‌ای به بارگذاری دتونیشن توسط نرم‌افزار ABAQUS انجام و از المان چسبنده با معیار کشش-جدایش برای شبیه‌سازی رشد ترک در لوله جدار نازک استفاده شده است. بخش آخر به مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی رشد ترک از روش عددی و نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی که در مطالعات پیشین موجود است، می‌پردازد. شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در این نوع بارگذاری بخش عمده‌ای از رشد ترک بصورت تناوبی و تحت تأثیر امواج سازه‌ای انجام می‌گیرد.

کلید واژه‌ها: لوله جدار نازک، بارگذاری متحرک داخلی، دتونیشن، رشد ترک خستگی، ABAQUS،

المان محدود

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|---|-----------|
| فهرست جدول‌ها..... | ج |
| فهرست شکل‌ها..... | د |
| فهرست علائم..... | و |
| فصل ۱- مقدمه..... | ۹ |
| ۱-۱- بار فشاری با جبهه موج کم فشار..... | ۱۰ |
| ۲-۱- بار فشاری با جبهه موج فشار متوسط..... | ۱۰ |
| ۳-۱- بار فشاری با جبهه موج فشار بالا..... | ۱۱ |
| فصل ۲- بیان مفاهیم اولیه و مروری بر تحقیقات گذشته..... | ۱۶ |
| ۱-۲- مقدمه..... | ۱۶ |
| ۲-۲- کاربردهای مطالعه موج دتونیشن..... | ۱۹ |
| ۳-۲- مکانیک شکست..... | ۱۹ |
| ۱-۳-۲- مکانیک شکست دینامیکی..... | ۲۰ |
| ۲-۱-۳-۲- مکانیک شکست دینامیکی مود I..... | ۲۱ |
| ۲-۳-۲- مقاومت شکست..... | ۲۳ |
| ۴-۲- مروری بر تحقیقات پیشین..... | ۲۵ |
| ۱-۴-۲- پاسخ سازه ای لوله به بارگذاری دتونیشن..... | ۲۵ |
| ۲-۴-۲- مطالعات انجام شده در زمینه ترک خوردگی لوله..... | ۲۶ |
| فصل ۳- مدلسازی عددی بارگذاری دتونیشن و تغییر شکل‌های دینامیکی حاصل از آن..... | ۳۷ |
| ۱-۳- مقدمه..... | ۳۷ |
| ۲-۳- آنالیز المان محدود لوله جدار نازک بدون ترک تحت بارگذاری دتونیشن تست شده توسط Shepherd و Beltman..... | ۳۷ |
| ۱-۲-۳- مدلسازی المان محدود..... | ۳۸ |
| ۲-۲-۳- اعمال شرایط مرزی..... | ۳۹ |
| ۳-۲-۳- شبیه سازی بار دتونیشن..... | ۴۰ |
| ۳-۳- آنالیز لوله جدار نازک بدون ترک تحت بارگذاری دتونیشن تست شده توسط Chao..... | ۴۲ |
| ۱-۳-۳- مدلسازی المان محدود..... | ۴۳ |
| ۲-۳-۳- اعمال شرایط مرزی..... | ۴۳ |
| ۳-۳-۳- شبیه سازی بار دتونیشن..... | ۴۴ |

فصل ۴- مدلسازی عددی رشد ترک دینامیکی لوله جدار نازک ناشی از بار متحرک داخلی ۴۶

- ۴۶-۱-۴ مقدمه..... ۴۶
- ۴۶-۲-۴ المان چسبنده..... ۴۶
- ۴۶-۱-۲-۴ مقدمه..... ۴۶
- ۴۶-۲-۲-۴ ماده چسبنده..... ۴۷
- ۴۶-۲-۳-۴ رفتار الاستیک خطی کشش جدایش..... ۴۷
- ۴۶-۲-۴-۴ تعریف آسیب..... ۴۸
- ۴۶-۲-۵-۴ شروع آسیب..... ۴۹
- ۴۶-۲-۶-۴ رشد آسیب..... ۵۱
- ۴۶-۲-۶-۱-۴ تعریف مود مختلط..... ۵۲
- ۴۶-۲-۶-۲-۴ رشد بر پایه جابجایی مؤثر..... ۵۵
- ۴۶-۲-۶-۳-۴ رشد بر پایه انرژی..... ۵۷
- ۴۶-۲-۷-۴ ماکزیمم از هم پاشیدگی و انتخاب انتقال المان..... ۶۰
- ۴۶-۲-۸-۴ خروجی..... ۶۱
- ۴۶-۳-۳-۴ مدلسازی المان محدود لوله جدار نازک با ترک اولیه..... ۶۲
- ۴۶-۳-۱-۴ مدل المان محدود و شرایط مرزی..... ۶۲
- ۴۶-۳-۲-۴ شبیه سازی جبهه ترک لوله جدار نازک..... ۶۳
- ۴۶-۳-۳-۴ محاسبه پارامترهای المان چسبنده برای مدلسازی رشد ترک لوله جدار نازک..... ۶۶
- ۴۶-۳-۴-۴ طول منطقه چسبندگی..... ۶۹

فصل ۵- نتایج و بحث..... ۷۲

- ۷۲-۱-۵ مدلسازی با مقدار ثابت انرژی شکست..... ۷۲
- ۷۲-۲-۵ مدلسازی با در نظر گرفتن retardation..... ۷۷
- ۷۲-۳-۵ دوشاخه شدن و انحنای ترک..... ۸۰

فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۸۶

فهرست مراجع..... ۸۹

فهرست جدول‌ها

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۳۸ | جدول ۱-۳: مشخصات بارگذاری [۴]..... |
| ۳۸ | جدول ۲-۳: مشخصات مادی و هندسی لوله جهت بررسی بارگذاری [۴]..... |
| ۴۲ | جدول ۳-۳: مشخصات مادی و هندسی لوله جدار نازک [۳]..... |
| ۴۲ | جدول ۴-۳: مشخصات بارگذاری [۳]..... |
| ۶۱ | جدول ۱-۴: متغیرهای مرتبط با المان چسبنده در نرم‌افزار ABAQUS [۵۶]..... |
| ۶۲ | جدول ۲-۴: شرایط بارگذاری دتونیشن برای لوله جدار نازک [۳]..... |

فهرست شکل‌ها

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| شکل ۱-۱: شماتیک فشار متحرک داخلی (a) دتونیشن گازی (b) موج شاک [۱]..... | ۹ |
| شکل ۲-۱: گسیختگی لوله آلومینیومی در اثر دتونیشن گازی داخلی [۱]..... | ۱۱ |
| شکل ۳-۱: گسیختگی در اثر حرکت بار فشاری با جبهه موج فشار بالا [۱]..... | ۱۱ |
| شکل ۴-۱: سیکل موتور PDE [۲]..... | ۱۲ |
| شکل ۵-۱: دو سمت یک لوله گسیخته شده در یکی از نیروگاههای هسته ای ژاپن [۳]..... | ۱۳ |
| شکل ۱-۲: پروفیل واقعی موج دتونیشن (اندازه گیری شده در آزمایشگاه) و معادل ایده آل آن [۳]. | ۱۶ |
| شکل ۲-۲: پروفیل فشار در یک لحظه از زمان در طول لوله [۴]..... | ۱۷ |
| شکل ۳-۲: (a): نمایی از جبهه موج دتونیشن که از سمت چپ به سمت راست در یک مخلوط $C_2H_4 - 3O_2 - 6N_2$ با فشار اولیه $P_1 = 20\text{ kPa}$ حرکت مینماید. (b): فویل دوده‌های دتونیشن | |
| در $C_2H_4 - 3O_2 - 6N_2$ با $P_1 = 20\text{ kPa}$ [۵]..... | ۱۸ |
| شکل ۴-۲: دستگاه مختصات نوک ترک [۳]..... | ۲۱ |
| شکل ۵-۲: شماتیک بیان کننده خصوصیات ارتباط بین سرعت ترک و شدت تنش دینامیکی [۸]..... | ۲۳ |
| شکل ۶-۲: کرنش محیطی حاصل از تست بر حسب میلی ثانیه در لوله تحت دتونیشن [۳]..... | ۲۵ |
| شکل ۷-۲: لوله با طول 0.914 m نصب شده در فیکسچر تست [۳]..... | ۳۳ |
| شکل ۱-۳: لوله جدار ضخیم تحت بارگذاری دتونیشن و موقعیت کرنش سنجهای نصب شده بر آن [۴]..... | ۳۸ |
| شکل ۲-۳: مدل المان محدود سه بعدی لوله جدار..... | ۳۹ |
| شکل ۳-۳: نحوه اعمال شرایط مرزی بر مدل المان محدود..... | ۴۰ |
| شکل ۴-۳: تاریخچه کرنش در محل گیج شماره ۵، بالا) نتایج المان محدود، وسط) نتایج حل تحلیلی [۱۶]، پایین) نتایج تجربی [۴]..... | ۴۱ |
| شکل ۵-۳: سیستم آزمایش مربوط به لوله جدار نازک [۳]..... | ۴۲ |
| شکل ۷-۳: شرایط مرزی مختلف در نظر گرفته شده برای سیلندر در مراجع مختلف [۱۸]..... | ۴۳ |
| شکل ۸-۳: تاریخچه کرنش، بالا سمت راست) کرنش بر حسب زمان برای لوله جدار نازک در فاصله m 0.2822 از سمت چپ آن، پایین سمت راست) نتایج حل تحلیلی [۱۷]، سمت چپ) نتایج تجربی به همراه سه مرتبه چرخش 90° درجه نسبت به محور طولی [۳]..... | ۴۴ |
| شکل ۱-۴: اندازه گیری مود مختلط بر اساس کشش []..... | ۵۳ |
| شکل ۲-۴: رشد آسیب خطی [۵۶]..... | ۵۳ |
| شکل ۳-۴: نمایش پاسخ مود مختلط در المان چسبنده [۵۶]..... | ۵۴ |

- شکل ۴-۴: رشد آسیب نمایی [۵۶]..... ۵۶
- شکل ۴-۵: مدل المان محدود لوله جدار نازک..... ۶۲
- شکل ۴-۶: شماتیک شکاف سیلندر Chao..... ۶۳
- شکل ۴-۷: الف) مدل صفحه تخت به همراه ترک تیز که توسط Raju و Newman در سال ۱۹۸۱ فرض شده بود. ب) لوله با شکاف سطحی واقعی [۳]..... ۶۴
- شکل ۴-۸: لوله جدار نازک به همراه ترک راه بدر طولی [۷]..... ۶۵
- شکل ۴-۹: ترک نیم بیضوی رشد یافته که بصورت ترک راه بدر مثلثی شکل در نظر گرفته شده است. ۶۶
- شکل ۴-۱۰: محل المانهای چسبنده جهت شبیه سازی مسیر رشد ترک برای رشد در صفحه اولیه ترک..... ۶۷
- شکل ۴-۱۱: محل المانهای چسبنده جهت شبیه سازی مسیر رشد ترک برای دو شاخه شدن ترک..... ۶۸
- شکل ۵-۱: نتایج شبیه سازی رشد ترک با استفاده از معیار رشد ترک CTOA بحرانی (تنش بر حسب MPa و رشد ترک بر حسب mm) [۴۷]..... ۷۲
- شکل ۵-۲: توزیع تنش اصلی اول در لوله تغییر شکل یافته در مراحل مختلف حل (تنش بر حسب MPa و رشد ترک بر حسب mm میباشند)..... ۷۳
- شکل ۵-۳: درصد میزان اختلاف رشد ترک بر اساس معیار رشد ترک CTOA و المان چسبنده برای نوک جلو ترک..... ۷۴
- شکل ۵-۴: توزیع فشار ناشی از دتونیشن در لحظه رسیدن موج دتونیشن به ترک..... ۷۵
- شکل ۵-۵: اندازه رشد ترک نسبت به زمان با استفاده از المان چسبنده..... ۷۶
- شکل ۵-۶: نتایج شبیه سازی رشد ترک با استفاده از retardation (توزیع تنش اصلی اول بر حسب MPa و رشد ترک بر حسب mm میباشند)..... ۷۸
- شکل ۵-۷: اندازه رشد ترک نسبت به زمان با در نظر گرفتن retardation..... ۷۹
- شکل ۵-۸: توزیع تنش اصلی اول بر روی سازه تغییر شکل یافته پس از دوشاخه شدن ترک (بر حسب MPa)..... ۸۳
- شکل ۵-۹: توزیع تنش اصلی اول بر روی سازه تغییر شکل یافته با شرایط بالقوه برای branching و انرژی شکست ثابت (بر حسب MPa)..... ۸۴

فهرست علائم

| واحد | توضیح | علامت |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | کرنش محیطی | ε_{θ} |
| m | شعاع لوله | R |
| m | جابجایی شعاعی | w |
| m | جابجایی شعاعی در اثر خمش | w_b |
| N/m ² | مدول یانگ | E |
| | ضریب معادله ارتعاشی | A_4 |
| | ضریب معادله ارتعاشی | A_2 |
| | ضریب معادله ارتعاشی | A_0 |
| degree | زاویه بازشدگی نوک ترک | $CTOA$ |
| S | زمان آغاز رشد ترک | τ_i |
| m/s | سرعت موج رابلی | c_R |
| m/s | سرعت موج اتساعی کرنش صفحه‌ای | c_d |
| | ضریب پواسون | ν |
| N/m ^{3/2} | ضریب شدت تنش بحرانی دینامیکی مود اول | K_{IC}^d |
| N/m ^{3/2} | ضریب شدت تنش مود اول | K_I |
| m | طول ترک | $2a$ |
| m | شعاع در مختصات قطبی | r |
| radian | زاویه در مختصات قطبی | θ |
| N/m ^{3/2} | ضریب شدت تنش بحرانی | K_c |
| K | درجه حرارت | T_{temp} |
| m | ضخامت | h |
| N/m ^{3/2} | ضریب شدت تنش دینامیکی مود اول | K_I^d |
| J/m ² | نرخ آزاد شدن انرژی | G |
| N/m ^{3/2} | ضریب شدت تنش | K |
| N/m ^{3/2} | فاصله بازشدگی نوک ترک | $CTOD$ |
| N/m ² | تنش | σ |
| N/m ² | تنش تسلیم | σ_{ys} |
| N/m ² | تنش تسلیم | σ_y |
| N/m ² | فشار اولیه دتونیشن | P_1 |

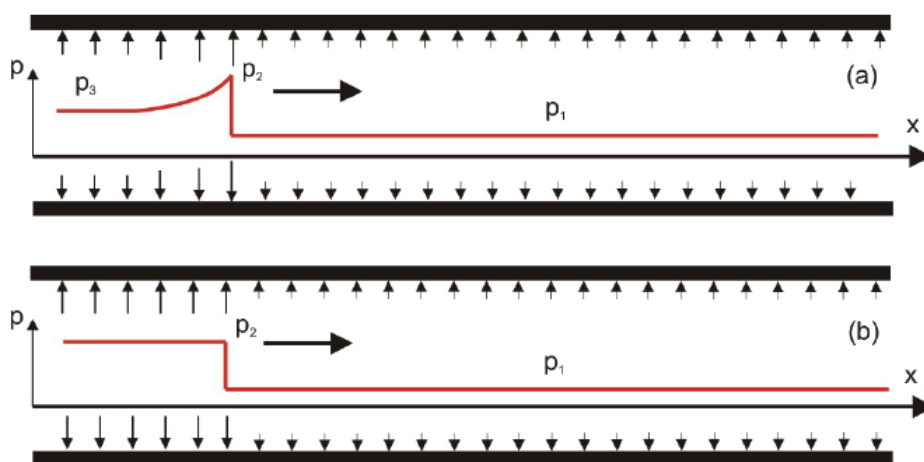
| واحد | توضیح | علامت |
|----------|--------------------------------------|------------|
| N/m^2 | فشار ماکزیمم دتونیشن | P_2 |
| N/m^2 | فشار نهایی دتونیشن | P_3 |
| N/m^2 | فشار محیط | P_{atm} |
| N/m^2 | فشار | P |
| S | متغیر زمانی | t |
| m | متغیر مکانی | X |
| S | ضریب کاهش نمایی | T |
| | تابع پله | H |
| m/s | سرعت موج دتونیشن | V_{cj} |
| m | طول لوله | L |
| | ضریب تصحیح برش | κ |
| N/m^2 | مدول برشی | G |
| Kg/m^3 | چگالی | ρ |
| J | انرژی | ϕ |
| N/m^2 | کشش بین دو صفحه چسبنده | t |
| m | جابجایی بین دو صفحه چسبنده | δ |
| | پارامترهای درونی | q |
| m | جابجایی نرمال بین دو صفحه چسبنده | δ_n |
| m | جابجایی برشی بین دو صفحه چسبنده | δ_s |
| N/m^2 | کشش نرمال بین دو صفحه چسبنده | t_n |
| N/m^2 | کشش برشی بین دو صفحه چسبنده | t_s |
| N/m^2 | مقاومت کششی ماکزیمم | σ_c |
| m | جابجایی کششی ماکزیمم | δ_c |
| N/m | کار ناشی از جدایش بر واحد سطح چسبنده | Γ_c |

فصل اول:

مقدمه

فصل ۱ - مقدمه

پاسخ سازه‌ای استوانه‌ها به بارگذاری فشاری متحرک داخلی، به پارامترهای مختلفی مانند ابعاد، خصوصیات مکانیکی، دامنه و سرعت بار فشاری بستگی دارد. مثال کلاسیک از این نوع بارگذاری، موج فشاری متحرک داخلی یا موج شوک با پروفیل خاص است که در اثر انفجار گازی مخلوط سوخت در استوانه به وجود می‌آید [۱]. در شکل ۱-۱ پروفیل این نوع بارگذاری‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: شماتیک فشار متحرک داخلی (a) دتونیشن گازی (b) موج شوک [۱]

در بررسی پاسخ سازه‌ای استوانه‌ها به بار فشاری متحرک داخلی، بسته به اینکه بزرگی تنش‌های ناشی از بار فشاری، از استحکام کششی نهایی دینامیکی، کوچکتر، مساوی یا بزرگتر باشند بار فشاری موجود، به ترتیب به سه دسته بار فشاری متحرک با جبهه موج کم فشار^۱، بار فشاری متحرک با جبهه موج فشار متوسط^۲ و بار فشاری با جبهه موج فشار بالا^۳ تقسیم‌بندی می‌شود و پاسخ سازه‌ای نیز در هر کدام متفاوت خواهد بود [۱].

^۱ Low-Pressure moving front

^۲ Medium-Pressure moving front

^۳ High-Pressure moving front

۱-۱- بار فشاری با جبهه موج کم فشار

برای بار فشاری با جبهه موج نسبتاً کم فشار، عبور جبهه موج فشاری سبب ایجاد کرنش‌های نوسانی الاستیک در استوانه شده که این کرنش‌های نوسانی حتی پس از عبور موج نیز ادامه خواهند داشت. برای پاسخ استوانه به این نوع بارگذاری آزمایشات تجربی، مدل‌های تحلیلی و شبیه‌سازی‌های عددی زیادی تاکنون ارائه شده است. یک نمونه از این استوانه‌های تحت بارگذاری فشاری با جبهه موج کم فشار، لوله موتور انفجار ضربه‌ای^۱ (PDE) می‌باشد. این نوع موتورها به دلیل تولید نیروی پیشران در رژیم سرعتی مادون صوت و مافوق صوت، به عنوان پیشران‌های نسل نو، در صنایع هوافضا مطرح می‌باشند. این موتورها نوعی از پیشران‌های هوافضایی است که به وسیله سیکل‌های فرکانس بالای دتونیشن گازی نیروی تراست شبه‌پایا^۲ ایجاد می‌کند. از آنجائیکه موتور PDE تولید تراست شبه‌پایا از طریق دتونیشن گازی سیکل بالا می‌نماید، عکس‌العمل بین امواج سازهای ناشی از دتونیشن‌های متوالی می‌تواند مشکل ساز شده و باعث بوجود آمدن ترک خستگی سیکل بالا در جداره لوله گردد [۱].

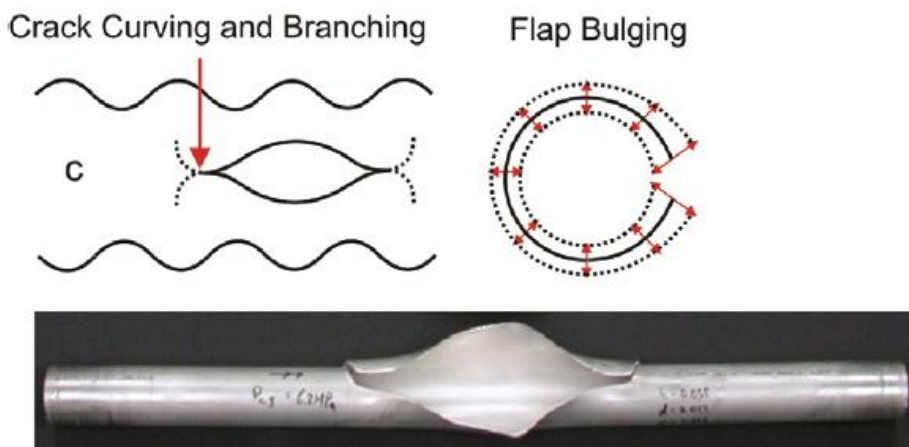
۱-۲- بار فشاری با جبهه موج فشار متوسط

عبور بار فشاری متحرک داخلی با جبهه موج فشار متوسط سبب می‌شود که تنش‌های به وجود آمده در حد استحکام نهایی ماده استوانه باشد که می‌تواند سبب ایجاد ترک‌های محوری گردد. رشد این ترک‌ها سبب تکه تکه شدن استوانه می‌شود. از این نوع گسیختگی‌ها، می‌توان به حادثه انفجار در نیروگاه هسته‌ای ژاپن در سال ۲۰۰۳ و انفجار در نیروگاه هسته‌ای آلمان در سال ۲۰۰۵ اشاره کرد. در هر دو حادثه، لوله‌های فولادی در اثر انفجار گازی مخلوط هیدروژن و اکسیژن گسیخته شده بودند. امروزه، نشان داده شده است که رشد این ترک‌ها به صورت سیکلی بوده و در نتیجه سیکل‌های مکرر اعمال تنش، یک نوع خاص از خستگی سیکل کوتاه به وجود آمده و باعث رشد ترک می‌شود. در شکل

^۱ Pulse Detonation Engine

^۲ Quasi-Steady

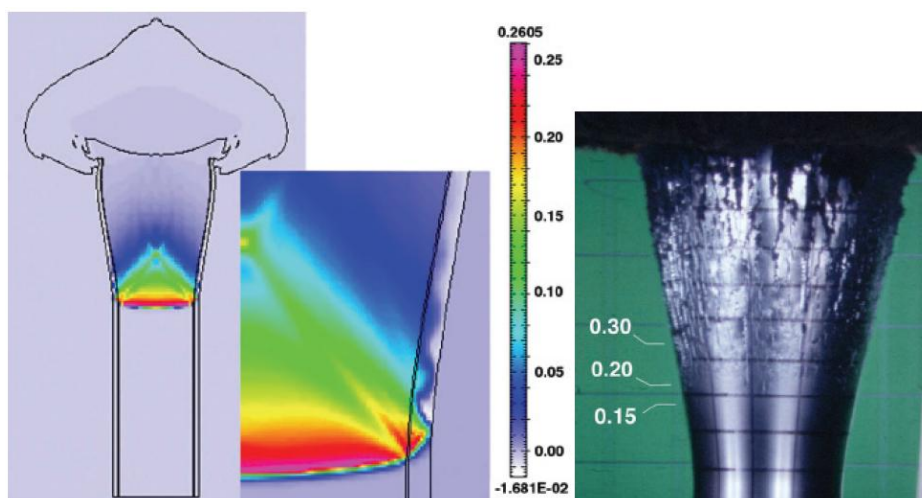
۲-۱ نشان داده شده است که عبور موج فشاری از درون استوانه سبب شکل‌گیری تنش‌های هوپ نوسانی در استوانه شده که حتی پس از عبور موج نیز این تنش‌ها وجود دارند و سبب رشد سیکلی ترک می‌شوند [۱].



شکل ۲-۱: گسیختگی لوله آلومینیومی در اثر دتوئیشن گازی داخلی [۱]

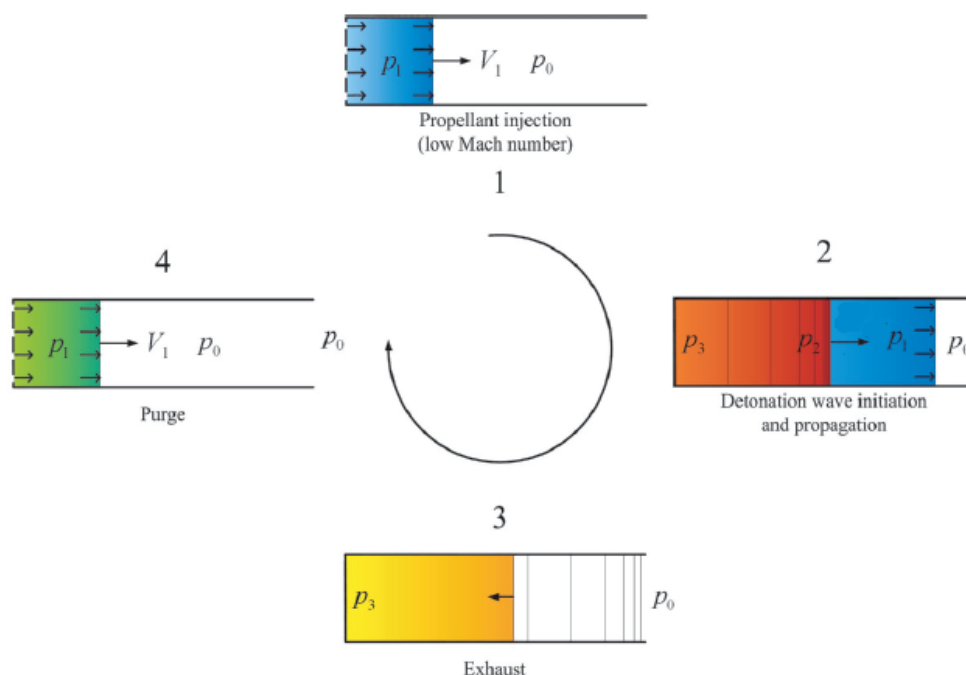
۳-۱ - بار فشاری با جبهه موج فشار بالا

با عبور موج فشاری با جبهه موج فشار بالا، چندین ترک به صورت همزمان در استوانه بوجود می‌آید که در نتیجه رشد و شاخه شدن این ترک‌ها، سازه از هم گسیخته می‌شود. شکل ۳-۱ یک نمونه از گسیختگی در اثر حرکت موج فشاری با جبهه فشار بالا را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۳-۱: گسیختگی در اثر حرکت بار فشاری با جبهه موج فشار بالا [۱]

همانند دیگر قطعات سبک وزن هوافضایی که بار تحمل می‌کنند، عیوب و ترک‌های اولیه به طرق مختلف ایجاد می‌شوند که از جمله آنها می‌توان به این موارد اشاره کرد: **(الف)** ترک‌های ناشی از آسیب خارجی، **(ب)** حفره‌های^۱ ناشی از پروسه ساخت، **(ج)** ترک‌های میان لایه‌ای در کامپوزیت‌ها در صورتیکه یک موتور PDE از کامپوزیت لایه‌ای ساخته شود و **(د)** خستگی، اکسیده شدن و خوردگی. وجود عیب، نیاز علم مکانیک شکست را در طراحی و آنالیز ایمنی حتمی می‌کند. در شکل ۴-۱ سیکل یک موتور PDE نشان داده شده است. بارگذاری متحرک تناوبی و سیر دمای بالا باعث افزایش پیچیدگی‌های تحلیل سازه می‌شود و آن را تبدیل به یک مسئله خستگی ترمومکانیکی سیکل بالا از نوع پالسی می‌کند. در موتورهای PDE، بررسی چنین مسئله‌ای از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است و همچنین ابتدا بسیار مهم می‌باشد که طبیعت رفتاری آن در یک مدل ساده تک-سیکل بررسی شود.



شکل ۴-۱: سیکل موتور PDE [۲]

^۱ Voids

همچنین، شکست خط لوله در اثر انفجار را می‌توان در حوادث نیروگاه هسته‌ای مشاهده کرد. دو حادثه در ژاپن (شکل ۱-۵) و آلمان اتفاق افتادند. در هر دو حادثه، مقطع لوله کربن استیل در اثر احتراق ناشی از ترکیب هیدروژن-اکسیژن متلاشی شد.



شکل ۱-۵: دو سمت یک لوله گسیخته شده در یکی از نیروگاه‌های هسته‌ای ژاپن [۳]

یکی از مهمترین سؤال‌های ایجاد شده در حین بررسی حادثه، تشخیص نوع احتراق از روی رفتار شکست بود. در حالیکه پروفیل فشار هر کدام از این حوادث با هم کاملاً متفاوت می‌باشد و رفتار و خصوصیات شکست متفاوتی را ایجاد می‌کند، با این حال اطلاعات کافی برای پاسخ مشخص برداشت نگردید. این حوادث نیاز به مطالعه شکست در بارگذاری‌های متحرک در لوله را تقویت کرد.

هدف از این تحقیق شبیه‌سازی رشد ترک در لوله جدار نازک حاوی ترک اولیه سطحی تحت بارگذاری دتوئیشن گازی با استفاده از روش المان محدود می‌باشد. نتایج بدست آمده با انفجارهای واقعی مقایسه گردیده و از صحت و دقت آنها اطمینان حاصل شده است. بر همین اساس، تعدادی از مشخصه‌های شکست هدایت شونده با دتوئیشن بیان شده و با آنالیز المان محدود آشکارسازی می‌شوند.

به این منظور پایان‌نامه حاضر در شش فصل به شرح زیر تنظیم شده است:

فصل اول: در این فصل توضیح مختصری در مورد این تحقیق بیان می‌گردد.

فصل دوم: در این فصل روش‌های مختلف تحلیل مسائل شکست، زمینه‌های کاربردی و تحقیقاتی پایان‌نامه، مفاهیم و تعاریف مورد نیاز و تحقیقاتی که تاکنون در این زمینه انجام شده است، بطور مختصر توضیحاتی ارائه خواهد شد.

فصل سوم: در این فصل بارگذاری دتونیشن اعمالی توضیح داده شده و نتایج المان محدود بارگذاری با نتایج حاصل از تست‌های آزمایشگاهی و حل تحلیلی مقایسه خواهد شد.

فصل چهارم: در این فصل مدل عددی برای شبیه‌سازی رشد ترک در لوله جدار نازک ارائه می‌گردد. نرم‌افزار المان محدود مورد استفاده، ABAQUS می‌باشد. برای شبیه‌سازی رشد ترک در لوله جدار نازک از المانهای چسبنده استفاده شده است.

فصل پنجم: در این فصل به توجیه و تفسیر نتایج بدست آمده از حل عددی شبیه‌سازی رشد ترک لوله تحت بارگذاری دتونیشن پرداخته می‌شود.

فصل ششم: در این فصل توانایی پایان‌نامه در برآورده شدن اهداف مورد انتظار ارزیابی شده و پیشنهادهایی جهت ادامه کار ارائه می‌گردد.

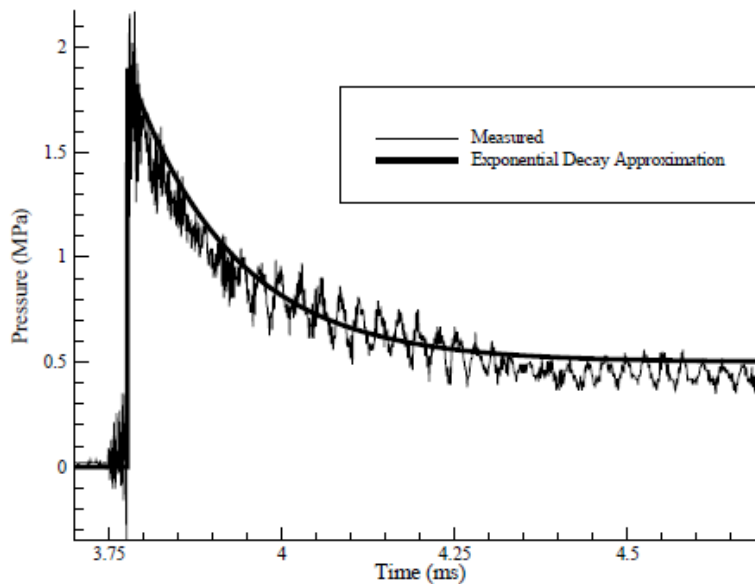
فصل دوم:

بیان مفاهیم اولیه و مروری بر تحقیقات گذشته

فصل ۲- بیان مفاهیم اولیه و مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۲- مقدمه

موج دتونیشن یک موج ماورای صوت ناشی از احتراق مواد سوختنی است که شامل یک موج شوک در جلوی جبهه موج و یک منطقه واکنش^۱ در پشت جبهه می‌باشد که به شدت با یکدیگر کوپل شده-اند. امواج دتونیشن دارای سرعت و فشار مشخصی به نام چاپمن-ژوکت می‌باشند که این دو پارامتر بستگی به درصدهای مخلوط سوخت-هوا دارد. ضخامت منطقه واکنش در مخلوط‌های استوکیومتری سوخت-هوا کمتر از ۱۰ mm و برای مخلوط‌های سوخت-اکسیژن کمتر از ۰/۱ mm می‌باشد. پروفیل فشار در یک نقطه از لوله در طول زمان مطابق شکل ۱-۲ می‌باشد. مشاهده می‌گردد که در لحظه عبور موج دتونیشن از نقطه مورد نظر فشار بصورت ناگهانی افزایش یافته و سپس بصورت نمایی کاهش می‌یابد.



شکل ۱-۲: پروفیل واقعی موج دتونیشن (اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه) و معادل ایده‌آل آن [۳]

^۱ Reaction Zone