

مقدمه‌ای بر طراحی ضربه‌گیرهای استوانه‌ای

مهدی تاجداری

فرزاد مختارنژاد

شهاب صالح غفاری

سرشناسه: تاجداری، مهدی، ۱۳۳۸ - عنوان و نام پدیدآور: مقدمه‌ای بر طراحی ضربه‌گیرهای استوانه‌ای / مهدی تاجداری، فرزاد مختارنژاد، شهاب صالح غفاری.
 مشخصات ظاهری: ر. ۱۸۶ ص. مصور. شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۶۶۵-۱۵-۴ : ۹۷۸-۶۰۰۰۰۰۰ ریال
 یادداشت: واژه نامه. یادداشت: کتابخانه.
 موضوع: ضربه گیرها موضوع: سازه های جدار نازک موضوع: لوله های فلزی
 شناسه افزوده: مختارنژاد، فرزاد شناسه افزوده: صالح غفاری، شهاب
 رده بندی کنگره: ۱۳۹۰/۲۲/ت ۱۰۶-۱۰۶ TJ رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۲۱۰۲۸ کتبشناسی ملی: ۲۶۰۳۸۲۷



انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر



دانشگاه صنعتی مالک اشتر
 مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت

عنوان کتاب: مقدمه ای بر طراحی ضربه گیرهای استوانه ای
 مولف: مهدی تاجداری، فرزاد مختارنژاد، شهاب صالح غفاری
 ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
 طرح روی جلد: فریناز عسگری
 لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
 صفحه آرای رایانه ای: امین پژوهش چهرمی
 ویراستار ادبی: امین پژوهش چهرمی
 شمارگان: ۱۰۰۰ جلد
 نوبت چاپ: اول، زمستان ۹۰
 قیمت: ۶۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-5665-15-4

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۶۶۵-۱۵-۴

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.
 نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.
 آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مرکز فناوری اطلاعات و خدمات علمی تهران
 مدیریت انتشارات، تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

پیش گفتار

به طور کلی تجهیزات و سازه‌های مختلف در هنگام برخورد با اجسام دیگر به دستگاه‌هایی با قابلیت جذب انرژی نیاز دارند. دستگاه‌های جاذب انرژی یا ضربه‌گیرها بسیار گوناگون هستند و از طریق سازوکارهای مختلف، انرژی برخورد را مستهلک می‌کنند. سازوکارهای جذب انرژی را می‌توان به دو دسته کلی بازگشت‌پذیر مانند جریان سیال در دمبرهای هیدرولیک و بازگشت‌ناپذیر مانند تغییر شکل پلاستیک ستون‌های عمودی خودروها در برخورد مستقیم، تقسیم کرد. دسته اول در برخوردهای با انرژی کم و دسته دوم در برخوردهای با انرژی بالا که در آنها احتمال خرابی جدی سازه و یا خطر جانی برای انسان وجود دارد، کاربرد دارند. این دستگاه‌ها معمولاً از مواد فلزی، چوب، پلاستیک و یا مواد مرکب ساخته می‌شوند.

از طرفی لوله‌های جدار نازک که در اثر بار محوری به صورت پلاستیک فروریزش می‌کنند یکی از انواع ضربه‌گیرهای با کارایی بالا محسوب می‌شوند. این لوله‌ها به لحاظ حجمی و وزنی سبک هستند، ساخت آنها آسان و به لحاظ قیمت ارزان هستند. همچنین این لوله‌ها در هنگام فروریزش پایداری دارند. لذا در این کتاب ضربه‌گیرهای از نوع لوله‌ای فلزی با جدار نازک تحت بارهای محوری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این ضربه‌گیرها با لهیدگی خود در برابر بار محوری و تبدیل انرژی جنبشی ضربه به کار پلاستیک، انرژی ضربه را مستهلک می‌کنند. این نوع جاذب‌های انرژی از جمله ضربه‌گیرهای بازگشت‌ناپذیری هستند که در سامانه‌های حمل و نقل

(آسانسورها، خودروها، ترن‌ها، بالگردها، هواپیماها و کشتی‌ها) موانع نگهدارنده، راکتورهای اتمی (حمل مواد، حفاظت مخازن) و سازه‌های ساحلی (تماس کشتی با اسکله و بارگیری) و حتی در برخی از سامانه‌های نظامی کاربرد دارند.

باید توجه داشت که تاکنون سازوکارهای مختلفی برای لهیدگی لوله‌های فلزی تحت بار محوری، توسط طراحان و محققین معرفی شده و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. معمول‌ترین حالت‌های فروریزش لوله‌های فلزی تحت بار محوری به صورت چین‌دار، وارونگی و یا پارگی اتفاق می‌افتد. هر یک از این شیوه‌های فروریزش، خواص و ویژگی‌های خاص خود را دارند. مطالعه شیوه‌های فروریزش لوله‌های فلزی تحت بار محوری، در ارتباط مستقیم با علم مقاومت مصالح پیشرفته، تئوری پوسته و ورق و مکانیک ضربه است.

کتاب حاضر مشتمل بر هفت فصل است. در فصل اول مقدماتی در خصوص انواع ضربه‌گیرها ارائه شده و در مورد سازه‌های جاذب انرژی و اهمیت کاربرد آن‌ها برای در امان نگاه داشتن جان سرنشینان خودروها، حفاظت افراد در حوادث صنعتی، افزایش ایمنی بزرگراه‌ها، همچنین برای حفاظت مراد اولیه و کالاهای بسته‌بندی شده مطالبی ارائه و اصول طراحی سازه‌های جاذب انرژی و انتخاب مواد مناسب برای آن‌ها تشریح شده‌اند.

برای دست‌یابی به مدل مناسب برای تحلیل رفتار جاذب‌های انرژی، در فصل دوم به مدل‌های رفتاری ایده‌آل مواد همچنین مفاهیم اساسی در مورد اثرات تغییر شکل‌های بزرگ پرداخته شده است.

در فصل سوم فروریزش محوری لوله‌های جدار نازک با مقطع دایروی مورد توجه قرار گرفته است. در این فصل تحلیل‌ها و آزمایش‌های انجام شده روی لوله‌های دایروی تحت بارهای محوری مورد بحث قرار گرفته‌اند. در این راستا مدل‌های مختلف و نتایج آزمایش‌های گوناگونی ارائه شده است.

از آن‌جا که ممکن است شکست سازه‌ای بر اثر ترکیبی از خمش و کشش پلاستیک همراه با پارگی اتفاق بیفتد، در فصل چهارم تغییر شکل پلاستیک همراه با پارگی مورد بحث قرار گرفته است. پارگی ممکن است به دو صورت یکی درون صفحه‌ای و دیگری برون صفحه‌ای رخ دهد. در این فصل، مطالعات انجام شده در خصوص اندازه‌گیری انرژی پارگی در این دو حالت همچنین وارونگی و شکافگی لوله‌های فلزی با سطح مقطع دایره‌ای ارایه شده‌اند.

در فصل پنجم با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط محققین روی لوله‌های فلزی، به بررسی اثر پارامترهای مؤثر در فروریزش محوری لوله‌های جدار نازک با مقطع دایروی همچنین فاکتورهای هندسی بر فروریزش لوله‌های بدون شیار پرداخته شده و در این راستا اثر عملیات حرارتی و تاثیر موقعیت بارگذاری بررسی شده‌اند و فروریزش پلاستیک لوله‌های شیاردار همچنین وارونگی و پارگی دیواره لوله در قالب در این فصل مورد توجه قرار گرفته‌اند.

بر اساس مطالعاتی که در قالب چند پایان‌نامه کارشناسی ارشد و تحت راهنمایی مؤلف ارایه شده در فصل ششم یک مدل برای ضربه‌گیری لوله‌ای استوانه‌ای تحت بار محوری پیشنهاد گردیده است. در این فصل با کاربرد نرم‌افزار LS-DYNA به شبیه‌سازی عددی فروریزش مدل پیشنهادی پرداخته شده و در انتهای فصل تحلیل فروریزش لوله‌های شیاردار پیشنهادی ارایه گردیده است.

در ادامه، با ارایه نتایج تجربی و شبیه‌سازی نمونه‌های آزمون شده به بررسی مدل پیشنهادی پرداخته شده است. همچنین در این فصل تاثیر پارامترهای هندسی بر چگونگی فروریزش لوله‌های شیاردار پیشنهادی مورد توجه قرار گرفته و نمودارهای نیرو-جابجایی حاصل از آزمایش‌های تجربی برای مدل مزبور ارایه گردیده‌اند.

انتظار می‌رود این کتاب به دلیل جامعیت مطالب ارائه شده در خصوص ضربه‌گیرهای از نوع لوله‌ای فلزی با جدار نازک تحت بارهای محوری و کاربردی بودن آن، بتواند مورد استفاده مهندسان و محققان در این زمینه قرار گیرد. مطمئناً در تهیه این کتاب نواقصی وجود دارد، لذا از همکاران گرامی و دانشجویان و محققین عزیز تقاضا داریم جهت بهبود کیفیت کتاب در چاپ‌های بعدی موارد پیشنهادی را از طریق آدرس (tajdari@iuim.ac.ir) ارسال کنند.

مهدی تاجداری

فرزاد مختارنژاد

شهاب صالح غفاری

فهرست مطالب

فصل نخست: کاربرد و مواد انواع ضربه گیرها ۳

۱-۱- مقدمه ۳

۲-۱- کاربرد سازه های جاذب انرژی (ضربه گیرها)، سازه و مواد آنها ۳

۱-۲-۱- ضربه گیرهای مورد استفاده در تصادم خودروها و وسائل نقلیه ۳

۲-۲-۱- ضربه گیرهای مورد استفاده در ادوات نظامی ۷

۳-۲-۱- سازه های جاذب انرژی مورد استفاده برای حفاظت در حوادث صنعتی و نظامی ۷

۴-۲-۱- سازه های جاذب انرژی مورد استفاده برای یعنی بزرگراه ها ۱۱

۵-۲-۱- سازه های جاذب انرژی برای حفاظت شخصی ۱۱

۶-۲-۱- مواد جاذب انرژی مورد استفاده در بسته بندی و حمل کالاها ۱۳

۳-۱- اصول طراحی سازه های جاذب انرژی و انتخاب مواد مناسب برای آنها ۱۳

۱-۳-۱- کلیاتی در مورد طراحی سازه های جاذب انرژی ۱۳

۲-۳-۱- اصول کلی طراحی سازه های جاذب انرژی ۱۴

♦ تبدیل انرژی به صورت برگشت ناپذیر ۱۴

♦ نیروی واکنش ثابت و محدود ۱۶

♦ جابه جایی (کورس) زیاد ۱۶

♦ تغییر شکل پایدار و تکرارپذیر ۱۷

♦ وزن کم و ظرفیت ویژه جاذب انرژی بالا ۱۷

♦ قیمت پایین و در دسترس بودن آسان ۱۸

فصل دوم: تجزیه و تحلیل جاذب های انرژی ۲۱

۲۱	۱-۲- مقدمه
۲۱	۲-۲- رفتار ایده‌آل مواد
۲۱	۱-۲-۲- خواص مکانیکی مواد در حالت کشش
۲۴	۲-۲-۲- مدل‌های ایده‌آل مواد
۲۸	۳-۲-۲- رابطه گشتاور-انحناء برای تیرهای پلاستیک
۳۲	۴-۲-۲- لولای پلاستیک و خط لولا
۳۳	۵-۲-۲- مدل‌های مکانیکی برای مواد ایده‌آل
۳۵	۶-۲-۲- اعتبار مدل ایده‌آل صلب-پلاستیک
۳۸	۳-۲- تحلیل حدهی و تئوری‌های کران
۳۸	۱-۳-۲- حالت حدهی برای سازه‌های پلاستیک کامل
۳۹	۲-۳-۲- مثال: تیر تحت خمش و کشش
۴۴	۳-۳-۲- میدان تنش قابل قبول استاتیکی و تئوری کران پایین
۴۷	۴-۳-۲- میدان قابل قبول استاتیکی سرعت/جابجایی و تئوری کران بالا
۵۱	۴-۲- اثرات تغییر شکل‌های بزرگ
۵۱	۱-۴-۲- مقدمه
۵۱	۲-۴-۲- تجزیه و تحلیل یک مثال
۵۶	۳-۴-۲- اثرات مختلف تغییر شکل‌های بزرگ
۵۷	۵-۲- روش انرژی
۵۷	۱-۵-۲- مقدمه
۵۸	۲-۵-۲- تعیین بار فروریزش اولیه با کاربرد روش انرژی
۶۰	۳-۵-۲- تعیین سازوکار فروریزش اولیه با کاربرد روش انرژی
	۴-۵-۲- تعیین ظرفیت تحمل بار یک سازه در حالت تغییر شکل‌های بزرگ با کاربرد روش انرژی
۶۲	انرژی

فصل سوم: فروریزش چین‌دار محوری لوله‌های جدار نازک با مقطع دایروی. ۶۷

۶۷	۱-۳- مقدمه
۶۷	۲-۳- انواع سازوکارهای جذب انرژی ضربه‌گیرها

۳-۳- سازوکارهای فروریزش ضربه‌گیرهای لوله‌ای فلزی	۶۸
۳-۴- مراحل مختلف سازوکار کمانش و تشکیل چین در لوله‌های فلزی	۶۹
۳-۵- انواع شیوه‌های فروریزش لوله‌های فلزی	۷۰
۳-۵-۱- فروریزش متقارن:	۷۱
۳-۵-۲- فروریزش نامتقارن:	۷۱
۳-۵-۳- فروریزش به شکل ترکیبی (مقارن و نامتقارن):	۷۲
۳-۵-۴- فروریزش بشکاف:	۷۳
۳-۵-۵- کمانش و پلر:	۷۳
۳-۶- نمونه‌ای از انواع شیوه‌های فروریزش لوله‌های فلزی	۷۳
۳-۷- عوامل موثر بر نوع فروریزش لوله‌های فلزی	۷۵
الف- هندسه لوله:	۷۶
ب- خواص مواد سازنده لوله:	۷۶
ج- شرایط مرزی اعمالی به لوله:	۷۶
د- نوع بار محوری اعمال شده به لوله:	۷۶
۳-۸- پارامترهای طراحی ضربه‌گیرهای فروریزشی	۷۷
۳-۸-۱- کارآیی ضربه‌گیر	۷۷
الف) انرژی ویژه:	۷۷
ب) بازده لهیدگی:	۷۷
ج) بازده حجمی:	۷۸
۳-۸-۲- مشخصات نمودار نیرو- جابه‌جایی	۷۸
الف) بیشینه نیرو:	۷۸
ب) متوسط نیروی فروریزش:	۷۸
۳-۸-۳- برخی معیارهای جانبی دیگر	۷۹
الف) تبدیل انرژی به صورت برگشت‌ناپذیر:	۷۹
ب) جابه‌جایی زیاد:	۷۹
ج) پایداری و تکرارپذیر بودن تغییر شکل:	۷۹
د) ظرفیت جذب انرژی بالا و وزن کم	۸۰

- ۸۰..... (ه) قابلیت اطمینان:
 ۸۰..... (و) قیمت:
 ۹-۳- کمانش پیش رونده استاتیکی لوله‌های فلزی تحت بار محوری ۸۰
 ۱-۹-۳- مدل الکساندر برای شکل فروریزش حلقه‌ای ۸۱
 ۲-۹-۳- مدل‌های تئوریک مربوط به شکل‌های فروریزش نامتقارن ۸۴
 ۳-۱- بررسی شرایط مرزی بین کمانش پیش رونده و کمانش اولیه ۸۵
 ۱-۱۰-۳- تخمین طول بحرانی شروع خمیدگی لوله‌های آلومینیومی ۸۶
 ۱۱-۳- آزمایش‌های انجام شده در مورد فروریزش محوری لوله‌های دایروی ۸۸
 ۱۱-۳-۱- نتایج آزمایش‌های گیلو ۸۹
 ۲-۱۱-۳- اثر سازه‌ای و نصب صلیب ۹۰

فصل چهارم: تغییر شکل پلاستیک همراه با پارگی لوله‌های جدار نازک با مقطع

دایروی ۹۴

- ۱-۴- مقدمه ۹۴
 ۲-۴- اندازه‌گیری انرژی پارگی ۹۴
 ۱-۲-۴- پارگی درون صفحه‌ای ۹۴
 ۲-۲-۴- پارگی برون صفحه‌ای ۹۸
 ۳-۴- پارگی به همراه باریکه شدن دیواره لوله‌های فلزی با سطح مقطع دایره‌ای ۱۰۱
 ۱-۳-۴- تحلیل تئوریک ردی و رید ۱۰۱
 ۲-۳-۴- تحلیل تئوریک هوانگ و همکاران ۱۰۵

فصل پنجم: پارامترهای موثر در فروریزش محوری لوله‌های جدار نازک با مقطع

دایروی ۱۱۲

- ۱-۵- مقدمه ۱۱۲
 ۲-۵- بررسی اثر فاکتورهای هندسی بر فروریزش لوله‌های بدون شیار ۱۱۶
 ۳-۵- بررسی اثر عملیات حرارتی و پر کردن لوله‌های جاذب انرژی بر رفتار جذب انرژی آنها ۱۱۸

۴-۵- جزئیات شکل‌ده و نتایج به‌دست آمده از لوله‌های چنددار.....	۱۲۰
۵-۵- بررسی تاثیر موقعیت بارگذاری در لوله‌های چین دار	۱۲۴
۶-۵- بهبود رفتار جذب انرژی با کاربرد روش‌های دو انتهای بسته و ساختار تقسیم شده در لوله‌های ساده	۱۲۶
۷-۵- فروریزش پلاستیک لوله‌های شیاردار	۱۳۰
۸-۵- وارونگی و پارگی دیواره لوله در قالب	۱۳۳
۱-۸-۵- تحلیل تقریبی تنوی وارونگی به طرف خارج لوله تحت بار محوری	۱۳۵
۲-۸-۵- فرآیند پارگی و باریکه شدن لوله در قالب	۱۳۶

فصل ششم: شبیه‌سازی و طراحی بسته ضربه‌گیر لوله‌ای استوانه‌ای تحت بار

محوری.....	۱۴۴
۱-۶- مقدمه	۱۴۴
۲-۶- ارایه یک مدل پیشنهادی	۱۴۶
۳-۶- شبیه‌سازی عددی فروریزش لوله‌های شیاردار	۱۴۸
۱-۳-۶- مراحل شبیه‌سازی	۱۴۸
۲-۳-۶- کد دستورات LS-DYNA برای حل مساله فروریزش لوله‌ها تحت اثر بار محوری	۱۵۰
۳-۳-۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی	۱۵۶
۴-۶- آزمایش‌های تجربی	۱۵۹
۵-۶- مدل تحلیلی فروریزش لوله‌های شیاردار پیشنهادی	۱۵۹
۶-۶- نتایج	۱۶۱
۱-۶-۶- نتایج نهایی نمونه‌های آزمون شده	۱۶۱
۲-۶-۶- نتایج شبیه‌سازی نمونه‌های آزمون شده	۱۶۳
۳-۶-۶- مقایسه نتایج شبیه‌سازی و نتایج تجربی	۱۶۴
۷-۶- تاثیر پارامترهای هندسی بر چگونگی فروریزش لوله‌های شیاردار پیشنهادی	۱۶۷

۱۶۸.....	۶-۸- نمودارهای نیرو- جابه‌جایی حاصل از آزمایش‌های تجربی
۱۷۰.....	۶-۹- نتایج حاصل از مدل تحلیلی
۱۷۲.....	۶-۱۰- نتیجه کلی
۱۷۴.....	منابع و مراجع
۱۸۰.....	پیوست ۱
۱۸۴.....	واژه‌نامه