



دانشگاه صنعتی
خواجه نصیرالدین طوسی

مکانیک انفجار، امواج و برخی کاربردها

مؤلفان :

دکتر جمال زمانی

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

سید مسعود باقری

دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

سال ۱۳۹۲

سرشناسه	: زمانی اشنی، جمال، ۱۳۳۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: مکانیک انفجار، امواج و برخی کاربردها/ مولفان جمال زمانی، سیدمسعود باقری.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۴۷۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۱۸۵۰۰۰ ریال 4-48-6383-600-978 :
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۴۷۵ - ۴۷۶.
موضوع	: انفجار
موضوع	: مکانیک
موضوع	: اثر انفجار
شناسه افزوده	: باقری، سیدمسعود، ۱۳۵۸ -
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ۷۲م/ز/TP۲۷۰
رده بندی دیویی	: ۶۶۲/۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۳۴۱۵۸۵

نام کتاب: مکانیک انفجار، امواج و برخی کاربردها

نویسنده: دکتر جمال زمانی اشنی، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی، سید مسعود باقری

ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: آذر ۱۳۹۲

تیراژ: ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۱۸۵۰۰ تومان

کد کتاب: ۳۳۴

ISBN :978-600-6383-48-4

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۸۳-۴۸-۴

لیتوگرافی: هوررنگ

صحافی: گرنامی

آدرس و تلفن مرکز پخش و فروش: خیابان ولیعصر(عج)، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد،

روبروی ساختمان اسکان (۰۲۱-۸۸۷۷۲۲۷۷)

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

پیشگفتار

سپاس پروردگار بلند مرتبه‌ای را که بدون مشاهده، دل‌ها به او معترف‌اند. خداوندی که پیوسته به ذات خود قائم است و همگان بدو برقرار، غنابخش هر نیازمند و نیروده هر ناتوان و هر که زنده است روزیش از او و هر که بمیرد بازگشتش بسوی اوست.

و درود و تحیات وافر به نحمدتین پدیده او و پسین فرستاده‌اش، حبیب و محبوبش محمد مصطفی، صلوات الله علیه و علی آله الاصفیاء، و درود بر زینت‌افزای تاجِ هل آتی و شهنسوار کشور لافتی علی مرتضی و درود خداوند سبحانه و تعالی بر خاندان مطهرش.

امید است این سطور ناقابل که با تلاش و همت بسیاری از دوستان به رشته تحریر در آمده، منور از تلالو توجهات حضرت سبحان واقع آید.

و اما بعد...

ابتداً تقدیر و سپاسگزاری بسیار از جناب آقای مهندس سیدمسعود باقری که عمده زحمات تالیف این کتاب بر دوش ایشان بوده است.

از اساتید گرانقدر که مرا در تمامی مراحل زندگی علمی راهنمایی نموده‌اند تشکر نموده؛ علی‌الخصوص آقایان پروفسور درویزه و پروفسور لیاقت.

همچنین از اساتید معظم آقایان دکتر ظهور، دکتر صدیقی و دکتر موسوی
مشهدی سپاسگزاری می‌نماید.

از دیگر عزیزانی که در دیگر امور تألیف این کتاب ما را یاری نموده‌اند آقایان
مهندس اصلانی، مهندس گودرزی، مهندس آهنگری، مهندس حسین‌زاده، مهندس
یاوری، مهندس موسوی و خانم‌ها مهندس نشمین پاکدامن و مهندس سولماز اسدوندی
تقدیر می‌نماید.

همچنین از مسئولین انتشارات دانشگاه، بویژه آقای حسن صالحی کمال تشکر
و قدردانی را دارد.

در پایان این نوشتار را تقدیم می‌دارد به روح پر فتوح شهدای دفاع مقدس که
تضمین‌کننده امنیت و آرامش و استقلال کشور عزیزمان بوده‌اند؛ امیداست مقبول واقع
گردد.

والسلام علیکم

دکتر جمال زمانی

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پائیز ۱۳۹۲

فهرست مطالب

فهرست مطالب	۱
۱ - انواع انفجار	۸
۱-۱ انفجارهای ناشی از بمب‌ها، خمپاره‌ها و مواد منفجره	۹
۱-۲ انفجارهای ناشی از نشت گازها	۱۱
۱-۲-۲ تغییرات فشار گاز و موج انفجار با زمان	۱۳
۱-۳ انفجارهای هسته‌ای	۱۶
۱-۴ بارگذاری ناشی از یک انفجار سطحی	۱۶
۱-۵ انفجارهای ناشی از گرد و غبار	۱۹
۱-۶ شکل‌گیری امواج انفجاری	۲۰
۱-۷ مشخصه‌های امواج انفجار	۲۳
۱-۸ انواع فشار	۲۴
۱-۸-۱ بیش‌فشار	۲۴
۱-۸-۲ فشار دینامیک	۲۶
۱-۸-۳ فشار بازتابیده	۳۱
۱-۹ ایمپالس	۳۴
۱-۹-۲ ایمپالس برخورد	۳۵
۱-۹-۳ ایمپالس بازتابیده	۳۶
۱-۱۰ حداکثر افزایش یا پرش فشاری	۳۷
۱-۱۱ مدت زمان	۴۰
۱-۱۲ ضربه موج انفجار بر واحد سطح	۴۳
۱-۱۳ پارامترهای شکل‌گیری موج	۴۵
۱-۱۴ ایمنی در انفجار	۴۶
۱-۱۴-۱ اثرات خطرناک انفجار	۴۶
۱-۱۴-۲ بلاست	۴۶

- ۱۴-۳-۱ ترکش ۵۰
- ۱۴-۴-۱ خطرهای گرمایی ۵۳
- ۱۵-۱ شرایط امن برای آسیب‌های ذکر شده ۵۳
- ۲- امواج الاستیک ۵۴
- ۱-۲ مقدمه ۵۴
- ۲-۲ امواج الاستیک در میله‌های سیلندری شکل ۵۶
- ۳-۲ انواع امواج الاستیک ۵۷
- ۴-۲ انتشار امواج الاستیک در یک جسم ۵۹
- ۵-۲ محاسبه سرعت موج پیچشی ۶۸
- ۶-۲ امواج الاستیک: علائم اندیسی ۷۰
- ۷-۲ انعکاس، تداخل و تراکنش امواج ۷۳
- ۸-۲ راه حل عمومی معادله موج ۷۹
- ۸-۱-۲ جدایش متغیرها ۸۰
- ۸-۲-۲ حل معادله موج با استفاده از روش مشخصه ها ۸۸
- ۳- امواج پلاستیک ۹۲
- ۱-۳ مقدمه ۹۲
- ۲-۳ امواج پلاستیک در مواد تحت تنش محوری ۹۶
- ۳-۳ امواج پلاستیک در کرنش محوری ۱۰۳
- ۴-۳ ملاحظات بیشتر در خصوص امواج پلاستیک ۱۰۵
- ۵-۳ اثر ضربه به میله‌های با طول محدود ۱۰۶
- ۴- امواج شوک ۱۱۷
- ۱-۴ مقدمه ۱۱۷
- ۲-۴ تنش - کرنش ۱۲۱
- ۳-۴ سرعت‌های صوت، ذره، شوک ۱۲۳
- ۴-۴ تضعیف شدن پشت موج شوک ۱۲۸
- ۵-۴ مدل دانه‌ای ۱۳۰
- ۱-۵-۴ سرعت ذره و موج ۱۳۰
- ۲-۵-۴ تجزیه کردن انرژی ۱۳۳
- ۳-۵-۴ تغییرات چگالی ۱۳۴

۱۳۵	۶-۴- رفتار هیدرودینامیکی.....
۱۳۵	۴-۶-۱- فرضیات اولیه.....
۱۳۶	۴-۶-۲- قوانین بقای جرم.....
۱۳۷	۴-۶-۳- قانون بقای تکانه.....
۱۳۷	۴-۶-۴- بقای انرژی.....
۱۴۳	۴-۷- تئوری ساده انفجار ایده آل یکنواخت.....
۱۴۹	۴-۸- برآورد پارامترهای انفجاری.....
۱۵۷	۴-۸-۲- روابط چگالی اولیه با چگالی CJ
۱۵۹	۴-۸-۳- تخمین فشار CJ از D, ρ_0
۱۵۹	۴-۸-۴- برآورد هوگونیوت $P-u$ از تولیدات انفجار.....
۱۶۰	۴-۹- هوگونیوت.....
۱۶۵	۴-۹-۲- نمودارهای $P-u, P-v, U-u$ هوگونیوت.....
۱۷۶	۴-۹-۳- نمودار $P-u$
۱۷۹	۴-۹-۴- ارتباط بین سایر پارامترهای شوک.....
۱۸۱	۴-۱۰- پروفیل واقعی موج شوک.....
۱۸۵	۴-۱۱- معادلات حالت.....
۱۸۸	۵- تضعیف، اندرکنش و بازتابش امواج شوک.....
۱۸۸	۵-۱- مقدمه.....
۱۹۴	۵-۱-۲- تضعیف موج شوک.....
۲۰۰	۵-۲- برهم‌کنش‌ها در امواج شوک.....
۲۰۰	۵-۲-۱- مقدمه.....
۲۰۲	۵-۲-۲- برخورد دو قطعه.....
۲۰۶	۵-۲-۳- شوک در سطح مشترک حالت الف، $Z_B > Z_A$
۲۱۳	۵-۲-۴- شوک در سطح مشترک ماده حالت ب، $Z_B < Z_A$
۲۱۴	۵-۲-۵- تقابل دو موج شوک.....
۲۲۰	۵-۲-۶- برخوردها در موج‌های کم‌تراکمی.....
۲۲۷	۵-۲-۷- برخوردهای موج کم‌تراکمی.....
۲۲۸	۵-۲-۸- برخورد یک شوک با سطح آزاد.....
۲۳۱	۵-۲-۹- تقابل سربه‌سر دو موج کم‌تراکمی.....
۲۳۵	۵-۲-۱۰- برخورد یک موج شوک نامربعی با یک سطح آزاد.....

- ۶ - مباحث پایه در فرآیندهای تجاری ۲۵۲
- ۱-۶ - روکش کاری انفجاری ۲۵۲
- ۱-۱-۶ - مقدمه ۲۵۲
- ۲-۱-۶ - مکان‌های روکش کاری و تجهیزات مورد استفاده ۲۵۶
- ۳-۱-۶ - گستره محصولات ۲۶۰
- ۴-۱-۶ - پارامترهای اتصال ۲۶۱
- ۲-۶ - طراحی مونتاژ روکش کاری ۲۶۳
- ۱-۲-۶ - حالت کلی ۲۶۳
- ۲-۲-۶ - صفحات پوسته‌ای ۲۶۵
- ۳-۲-۶ - صفحات نیوبی ۲۶۶
- ۴-۲-۶ - فلزات مورد استفاده ۲۶۷
- ۵-۲-۶ - دمای فلزات ۲۶۹
- ۳-۶ - مونتاژ تجهیزات و قطعات روکش کاری ۲۶۹
- ۱-۳-۶ - آماده‌سازی فلز ۲۶۹
- ۲-۳-۶ - مونتاژ ۲۷۰
- ۳-۳-۶ - حفاظت از سطوح روکش شده ۲۷۳
- ۴-۶ - تحقیقات انجام شده در خصوص فرایند روکش کاری انفجاری در آزمایشگاه مکانیک انفجار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ۲۷۴
- ۵-۶ - مواد منفجره ۲۷۶
- ۱-۵-۶ - خرج اصلی ۲۷۶
- ۲-۵-۶ - فعال‌سازی خرج ۲۷۷
- ۶-۶ - روکش‌های دو طرفه ۲۷۸
- ۷-۶ - روکش‌های چندگانه ۲۷۹
- ۸-۶ - عملیات پس از روکش دهی فلز ۲۸۰
- ۱-۸-۶ - آزمایش‌های مقدماتی ۲۸۰
- ۲-۸-۶ - آزادسازی تنش ۲۸۰
- ۳-۸-۶ - مسطح یا تراز کردن ۲۸۱
- ۴-۸-۶ - برش و برداشت زائده‌ها ۲۸۲
- ۵-۸-۶ - آزمون فراصوتی ۲۸۳
- ۹-۶ - آزمون‌های مخرب ۲۸۴

۲۸۸	۱۰-۶- اجزای لوله‌های.....
۲۸۸	۱۰-۶-۱- نازل‌ها.....
۲۹۱	۱۱-۶- سخت کاری انفجاری.....
۲۹۴	۷- مکانیک جوش کاری انفجاری.....
۲۹۴	۷-۱- مقدمه.....
۲۹۵	۷-۲- مکانیک جوش کاری انفجاری.....
۳۰۲	۷-۳- پارامترهای فرآیند جوش کاری انفجاری.....
۳۰۴	۷-۳-۲- پارامترهای برخورد V_p , V_c و β
۳۰۷	۷-۳-۳- شرایط محدودکننده جوشکاری.....
۳۱۶	۷-۴- امواج فصل مشترکی.....
۳۱۶	۷-۴-۱- مقدمه.....
۳۱۷	۷-۴-۲- مکانیزم شکل‌گیری موج.....
۳۱۸	۷-۴-۳- سازوکارهای نفوذ جت.....
۳۱۸	۷-۴-۴- مکانیزم ناپایداری سیال.....
۳۲۲	۷-۵- آنالیز سیال در منطقه برخورد.....
۳۲۲	۷-۵-۱- مقدمه.....
۳۲۴	۷-۵-۲- پروفیل فشار بین لایه‌ای.....
۳۲۷	۷-۵-۳- الگوی سیال در منطقه برخورد.....
۳۳۰	۸- جوش کاری انفجاری در هندسه صفحه‌ای.....
۳۳۰	۸-۱- معرفی.....
۳۳۱	۸-۲- ترکیب مواد و ضخامت ورق پران.....
۳۳۸	۸-۳- هندسه اصلی جوش کاری.....
۳۳۸	۸-۳-۱- هندسه موازی.....
۳۴۲	۸-۳-۲- هندسه مورب.....
۳۴۷	۸-۳-۳- هندسه موازی/مورب.....
۳۴۸	۸-۳-۴- هندسه مورب دوتایی.....
۳۵۰	۸-۳-۵- هندسه شرایط جوش کاری گذرا (ناپایدار).....
۳۵۲	۸-۴- انتخاب پارامترهای اتصال.....
۳۵۲	۸-۴-۱- ملاحظات عمومی.....
۳۵۶	۸-۴-۲- سرعت ضربه.....

- ۳۶۱ ۸-۴-۳- بارگذاری انفجاری
- ۳۶۳ ۸-۴-۴- زاویه برخورد/سرعت نقطه برخورد
- ۳۶۹ ۸-۴-۵- فاصله هوایی
- ۳۷۱ ۸-۴-۶- سندان
- ۳۷۴ ۸-۴-۷- صافی سطح
- ۳۷۷ ۸-۵-۵- اندازه گیری مستقیم پارامترهای اتصال
- ۳۷۷ ۸-۵-۱- معرفی
- ۳۷۷ ۸-۵-۲- روش دات ریچ
- ۳۷۹ ۸-۵-۳- روش های کنتاکتور سیم و پین
- ۳۷۹ ۸-۵-۴- عکس برداری سرعت بالا
- ۳۸۰ ۸-۵-۵- پرتونگاری فلش
- ۳۸۱ ۸-۵-۶- سرعت پروب
- ۳۸۲ ۸-۵-۷- روش سیم مایل
- ۳۸۵ ۸-۶-۶- هندسه های گوناگون جوش کاری برای ورق ها و صفحات
- ۳۸۶ ۸-۶-۱- جوش کاری ورق های باریک بر روی یکدیگر
- ۳۸۷ ۸-۶-۲- جوش کاری پیوسته خطی در ورق
- ۳۹۰ ۸-۶-۳- جوش کاری اسکارف
- ۳۹۱ ۸-۶-۴- جوش کاری درزی
- ۳۹۳ ۸-۶-۵- جوش کاری نقطه ای
- ۳۹۴ ۸-۶-۶- روش جوش کاری بخیه ای
- ۷-۸- دستاوردهای حاصل از تحقیقات صورت گرفته در خصوص جوشکاری اسکارف در
- ۳۹۴ آزمایشگاه مکانیک انفجار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۴۰۰ ۸-۸-۸- کاربردها
- ۴۰۰ ۸-۸-۱- مقدمه
- ۴۰۱ ۸-۸-۲- صفحات روکش کاری شده
- ۴۰۴ ۸-۸-۳- اتصالات فلزات غیر مشابه
- ۴۰۴ ۸-۸-۴- اتصالات واسط
- ۴۰۶ ۸-۸-۵- ورق های لانه زنبوری
- ۴۰۷ ۸-۹- نتیجه گیری
- ۴۰۹ ۹- شکل دهی انفجاری
- ۴۱۰ ۹-۱- مقدمه

۴۱۱	۲-۹- شکل پذیری آلیاژهای مهندسی
۴۱۲	۳-۹- خواص مکانیکی اجزاء شکل دهی شده انفجاری
۴۱۴	۴-۹- شکل دهی هوایی و درون آب
۴۱۷	۵-۹- شکل دهی با استفاده از قالب و بدون استفاده از آن
۴۲۲	۶-۹- آنالیز شکل نهایی در شکل دهی آزاد
۴۲۳	۷-۹- پارامترها و آنالیز طراحی قالب
۴۲۸	۸-۹- فرم دهی کنگی ها و المان های تجهیزات کروی
۴۳۲	۹-۹- شکل دهی و سوراخ کاری اجزای لوله ای شکل
۴۳۵	۱۰-۹- سایر فرآیندهای شکل دهی
۴۳۷	۱۰- تراکم سازی انفجاری
۴۳۷	۱-۱۰- مقدمه
۴۴۰	۲-۱۰- قابلیت دینامیکی متراکم شدن پودرها
۴۴۴	۳-۱۰- انواع موج شوک و توزیع چگالی
۴۵۱	۴-۱۰- دما و اثرات نرخ کرنش
۴۵۴	۵-۱۰- انتقال فاز در اثر بارگذاری موج شوک در ترکیبات
۴۵۵	۶-۱۰- خواص کلی مکانیکی پودرهای متراکم یافته
۴۵۸	۷-۱۰- متراکم سازی در حالت استاتیک و دینامیکی مقایسه ای از خواص مواد
۴۶۱	۱۱- جداول مهم انفجاری
۴۷۵	مراجع

۱ - انواع انفجار

در این بخش هدف ارائه اطلاعات شیمیایی به صورت طبقه‌بندی شده، جهت استفاده‌ی محققان و مهندسانی است که قصد انجام تحقیقات بر روی موضوعات وابسته و مربوط به انفجار را دارند.

انفجار پدیده‌ای است که نتیجه آزاد شدن ناگهانی انرژی است. پدیده‌ی آزاد شدن انرژی بایستی به یکباره و بسیار سریع باشد و باعث انباشتگی انرژی در محل وقوع انفجار گردد. سپس این انرژی انباشته‌شده نیز به صورت ناگهانی و به طرق مختلف مانند امواج انفجار، رانش انواع پرتابه‌ها مانند موشک یا حتی تشعشع گرمایی یا یونیزه‌گر منتشر می‌گردد.

پدیده‌ی انفجار شامل انفجار بمب‌ها، خمپاره‌ها، نارنجک‌ها و مواد منفجره‌ی مختلف و حتی انفجار ناشی از نشت گازها، انفجارهای هسته‌ای و انفجار سوخت‌ها است. همچنین انفجار ممکن است در هوا، روی سطح زمین، زیر زمین و زیر آب اتفاق بیفتد. بنابراین انفجارها را به صورت زیر دسته‌بندی می‌کنند:

- انفجارهای ناشی از بمب‌ها، خمپاره‌ها و مواد منفجره
- انفجارهای ناشی از نشت گازها
- انفجارهای هسته‌ای
- انفجارهای ناشی از گرد و غبار^۱

^۱ Dust Explosion