٣١

بسم الله الرحمن الرحيم

١١٣٩٥٧

دانشکدهٔ فنی
گروه مهندسی مکانیک
(گرایش طراحی کاربردی)

بررسی مکانیزم تشکیل حالت موجی در فصل مشترک سطوح در جوش انفجاری به شیوه ی SPH

از
آرش کرمعلی

استادان راهنما
دکتر ابوالفضل درویزه
دکتر نیما امانی فرد

۱۳۸۸/۳/۳
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک
۱۱۳۶۵۷

تیر ماه ۱۳۸۷

با تقدیم برترین ها برای آن پادشاهان ملک مهر و ستایش، نیکی های آن خوشه چینان خرمن عشق که خاک درگاه غنایمشان سرمه ی چشمم و باران آسمان دلشان شوق پویائیم است.

با تمام وجود تقدیم می دارم به :

همسر مهربان و فداکارم که در لحظه لحظه ی انجام این پروژه مرا یاری داد.

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس پروردگاری را سزاست که منشأ دانایی مطلق است و هر وجودی را به نسبت درک از هستی ارج و منزلت داد و از این منظر است که انسان اشرف مخلوقات است و به عنوان برترین موجود بر تارک عالم می درخشد. انسان ستایش شده در برابر دیگر موجودات تنها وجه تمایزش داشتن عقل و ادراک است و هر آن کس که این خصیصه در وجودش پربارتر باشد ارجمندتر است. بر همین اساس قدردانی و تشکر از اساتید معظم را وظیفه خود دانسته و از آن جهت که چراغ علم را هر چه پر فروغتر می نمایند به همان پایه سزاوار ستایش اند. ضمن آرزوی سلامتی پیوسته و توفیقات مستمر حضراتعالی آقایان دکتر ابوالفضل درویزه و دکتر نیما امانی فرد از بارگاه دانای بی همتا، همواره و در همه حال خود را قدردان زحمت بی دریغ شما دانسته و پایداری و عزت روز افزون و زندگانی توأم با سعادت و دانایی را برای شما آرزوی همیشگی خود می دانم. امید است سپاسم را که قلباً نثارتان می نمایم بپذیرید.

فهرست مطالب

فصل اول : آشنایی با روش SPH و معادلات حاکم بر آن

۱-۱) پیشگفتار ۲

۱-۲) مدل ریاضی ۳

۱-۳) اصول روش SPH ۴

۱-۴) تابع کرنل ۵

۱-۵) معادله پیوستگی ۶

۱-۶) فرمولاسیون گرادیان و دیورژانس ۷

۱-۷) فرمولاسیون لاپلاسین ۷

۱-۸) ویسکوزیته ۷

۱-۹) مدلسازی مرزهای جامد ۸

۱-۱۰) تحلیل همگرایی ۹

۱-۱۱) تغییر h در زمان و مکان ۹

فصل دوم : اهمیت کرنل و معیارهای انتخاب یک کرنل مناسب

۲-۲) معیارهایی برای معادله میانیاب تابع ۱۴

۲-۳) معیارهای معادله میانیاب مشتق تابع ۱۵

۲-۴) بحث درباره انتخاب نوع کرنل ۱۶

فصل سوم : جستجوی هندسی

۳-۱) مقدمه ۲۵

۳-۲) ساختار درختهای دوتائی ۲۵

۳-۲-۱) پیمودن درخت ۲۶

۳-۲-۲) اضافه و حذف گره ها ۲۸

۳-۳) سیستم درختهای دوتایی ۳۰

۳-۴) جستجوی هندسی ۳۵

فصل چهارم : جوشکاری انفجاری و معادلات حاکم بر آن

۴-۱) مقدمه ۴۰

۴-۲) هندسه های مختلف فرآیند جوشکاری انفجاری سطوح تخت ۴۱

۴-۳) اهمیت موضوع و کاربردها ۴۲

۴-۴) اهمیت جوشکاری انفجاری سطوح تخت و کاربرد آنها ۴۲

۴-۴-۱) جلوگیری از خوردگی ۴۳

۴-۴-۲) بهبود کیفیت انتقال حرارت ۴۳

۴-۴-۳) بهبود خواص الکتریکی ۴۳

۴-۴-۴) پوشش کاری ورق های جواهرات ۴۴

۴-۵)تاریخچه تحقیقات و پیدایش جوش انفجاری ۴۴

۴-۵-۱) تاریخچه کارهای تجربی در زمینه جوشکاری انفجاری ۴۴

۴-۵-۲) تاریخچهٔ کارهای تحلیلی در زمینهٔ جوشکاری انفجاری ۴۸

۴-۵-۳) تاریخچه جوشکاری انفجاری در ایران ۵۱

۴-۶) پارامترهای مؤثر و شرایط حدی آنها برای تحقق جوش ۵۱

۴-۶-۱) حد مرزی زاویه دینامیکی ۵۱

۴-۶-۲) حد سرعت برخورد سطح پرنده و سرعت پیشروی نقطه برخورد ۵۲

۴-۶-۳) حد فشار ۵۲

۴-۶-۴) نوع مواد منفجره ۵۲

۴-۶-۵) فاصله توقف ۵۳

۴-۶-۶) صافی سطح ۵۴

۴-۷) مدل سینماتیکی فرآیند جوشکاری انفجاری سطوح صاف ۵۴

۴-۸) ترسیم منحنی های محدوده تشکیل اتصال ۵۶

۴-۱۲) پیش بینی اندازه موج ۵۹

الف – مکانیزم مبتنی بر پدیده تشکیل جت ۶۰

ب- مکانیزم جریان گردابی ۶۰

ج- مکانیزم امواج تنشی ۶۰

د- مکانیزم انتقال انرژی در فصل مشترک ۶۰

۴-۱۲-۱) مکانیزم مبتنی بر پدیده تشکیل جت ۶۰

۴-۱۲-۲) مکانیزم جریان گردابی ۶۱

۴-۱۲-۳) مکانیزم امواج تنشی ۶۴

۴-۱۲-۴) مکانیزم انتقال انرژی در فصل مشترک ۶۵

فصل پنجم : مدلسازی برخورد گلوله با صفحه به روش SPH

۵-۱) مقدمه ۶۸

۵-۲) مقایسه مدلها ۶۹

۵-۳) معادلات حاکم و شرط تسلیم ۷۲

فصل ششم : مدلسازی جوشکاری انفجاری صفحات به روش SPH

۶-۱) مقدمه ۷۵

۶-۲) جوش ضربه ای با استفاده از تفنگ پنوماتیکی ۷۵

۶-۳) معادلات سازگاری جانسون-کوک ۷۶

۶-۴) نتایج آزمایشگاهی سطوح جوش ۷۷

۶-۵) مدل سازی جوش انفجاری توسط SPH ۷۹

۶-۶) تشکیل جت ۸۳

۶-۷) مقایسه روش SPH با مدل ارائه شده توسط موسوی و الحسنی در نرم افزار آتوداین ۹۴
۶-۸) تشکیل موج در چیدمان متقارن ۹۷
۶-۹) بحث ۱۰۲
۶-۹-۱) تشکیل برآمدگی ۱۰۲
۶-۹-۲) تشکیل جت ۱۰۲
۶-۹-۳) توزیع سرعت ۱۰۳
۶-۹-۴) توزیع فشار ۱۰۴
۶-۹-۵) تبدیل سطح جوش مستقیم به موجی شکل ۱۰۵
۶-۹-۶) طول موج و دامنه موج ۱۰۵
۶-۱۰) محاسبه ی سرعت صفحه ی پرنده و سرعت پیش روی جوش ۱۰۷
۶-۱۱) سینماتیک پروسه ی برخورد ۱۰۸
۶-۱۲) پیش بینی اندازه ی موج ۱۱۰
۶-۱۳) جوشکاری صفحات چند لایه ۱۱۲
۶-۱۴) پیشنهادهایی برای ادامه ی کار ۱۲۰
منابع و مراجع ۱۲۱

فهرست جداول

جدول (۲-۱) ارائه ده کرنل متفاوت و اعمال معیارهای ذکر شده بر روی آنها ۱۸

جدول (۵-۱) : نتایج برخورد آلومینیوم به آلومینیوم با سرعت 3.1kms ۷۳

جدول (۶-۱) : خواص مکانیکی مواد و ضرایب مربوط به معادله جانسون-کوک آنها ۷۷

جدول (۶-۲) : ضخامت صفحه پرنده و طول موج مربوطه ۹۵

فهرست شکلها

شکل ۱-۱: نمایش نحوه عملکرد کرنل در تکیه گاه فشرده خود ۶

شکل ۲-۱: موقعیت نسبی ذره مفروض و چیدمان اولیه ذرات ۱۴

شکل۲-۲: تاثیر پارامتر موقعیت ذره مفروض بر مقدار M ۱۹

شکل۲-۳: تاثیر پارامتر موقعیت ذره مفروض بر مقدارN ۲۰

شکل۲-۴: تاثیر پارامتر طول هموار سازی بر مقدارM ۲۱

شکل۲-۵: تاثیر پارامتر طول هموار سازی بر مقدارN ۲۲

شکل۲-۶: نمودار ستونی برآورد نتایج ۲۳

شکل ۳-۱(الف) : یک درخت دوتایی ساده و نحوه ذخیره سازی آن در حافظه کامپیوتر ۲۹

شکل ۳-۱ (ب) : شماتیک بالاترین گره یک درخت دوتایی ساده که ریشه نامیده می شود ۲۹

شکل ۳-۲: پروسه ی پاک کردن یک گره ۳۰

شکل ۳-۳: شماتیک درخت پس از قرار دادن و پاک کردن گره ۳۲

شکل ۳-۴: ارتباط بین درخت دوتایی و پروسه نصف کردن متوالی ۳۳

شکل ۳-۵ : شماتیک ایجاد یک ساختار ADT ۳۴

شکل ۳-۶ : شماتیک یک درخت نامتعادل ۳۵

شکل ۳-۷ : شماتیک یک درخت متعادل ۳۵

شکل ۳-۸ : شماتیک مراحل جستجو در یک مسئله دو بعدی ۳۸

شکل (۴-۱) : تنظیم موازی صفحات ۴۱

شکل (۴-۲) : تنظیم مورب صفحات ۴۲

شکل (۴-۳) : تنظیم متداول برای جوشکاری انفجاری سطوح صاف ۵۵

شکل (۴-۴) : لحظه ای کوتاه پس از انفجار ۵۵

شکل (۴-۵) : نمودار سرعت ۵۵

شکل (۴-۶) : نمودار محدوده تشکیل اتصال ۵۷

شکل (۴-۷) : شکل شماتیک موج در فصل مشترک..... ۶۰

شکل (۴-۸) : حالت موجی حاصل از تشکیل جت..... ۶۲

شکل (۴-۹) : جریان سیال گونه فصل مشترک صفحات..... ۶۲

شکل (۵-۱) : چیدمان اولیه ذرات در برخورد آلومینیوم با آلومینیوم برای روشهای SAV، BAL، MON و CON..... ۶۸

شکل (۵-۲) : چیدمان اولیه ذرات در برخورد آلومینیوم با آلومینیوم برای روش SPH بکار رفته در این رساله ۶۹

شکل (۵-۳) : برخورد در مراحل اول مدلسازی و ناکافی بودن تعداد ذرات..... ۷۰

شکل (۵-۴) : نیمه ی بالایی شکل برخورد بوجود آمده با سرعت ۳/۱km/s در زمان ۸ میکروثانیه پس از برخورد برای روشهای SAV، BAL، MON و CON 71..... ۷۱

شکل (۵-۵) : نیمه ی بالایی شکل برخورد بوجود آمده با سرعت ۳/۱km/s در زمان ۸ میکروثانیه پس از برخورد برای روش SPH بکار رفته در این رساله ۷۱

شکل (۶-۱) الف : شبیه سازی جوش انفجاری توسط تفنگ پنوماتیک..... ۷۶

ب : دیاگرام سرعت بیرهوف ۷۶

شکل (۶-۲) : شکل سطح جوش در برخورد فولاد ضد زنگ با ضخامت ۳mm به عنوان صفحه ی پرنده و ماده مشابه به عنوان صفحه ی ساکن با ضخامت ۳۰mm ،سرعت برخورد ۴۷۰m/s ، زاویه ی برخورد ۱۵ درجه ۷۸

شکل (۶-۳) الف : شکل سطح جوش در برخورد تیتانیوم با ضخامت ۳mm به عنوان صفحه ی پرنده و ماده مشابه به عنوان صفحه ی ساکن با ضخامت ۳۰mm ،سرعت برخورد ۴۸۶m/s ، زاویه ی برخورد ۱۱ درجه ۷۸

ب : شکل سطح جوش در برخورد تیتانیوم با ضخامت ۳mm به عنوان صفحه ی پرنده و ماده مشابه به عنوان صفحه ی ساکن با ضخامت ۳۰mm ،سرعت برخورد ۶۰۶m/s ، زاویه ی برخورد ۱۱ درجه ۷۸

شکل (۶-۴) : شکل سطح جوش در برخورد زیرکنیوم با ضخامت ۳mm به عنوان صفحه ی پرنده و ماده مشابه به عنوان صفحه ی ساکن با ضخامت ۳۰mm ،سرعت برخورد ۵۵۰m/s ، زاویه ی برخورد ۱۱ درجه ۷۸

شکل (۶-۵) : شکل سطح جوش در برخورد فولاد ضد زنگ با ضخامت ۳mm به عنوان صفحه ی پرنده و ماده مشابه به عنوان صفحه ی ساکن با ضخامت ۳۰mm ،سرعت برخورد ۵۸۴m/s ، زاویه ی برخورد ۱۵ درجه ۷۸

شکل (۶-۶) : پروسه ی جوش انفجاری ۸۱

شکل (۶-۷) : چیدمان اولیه ذرات در برخورد دو صفحه از جنس تیتانیوم با زاویه اولیه ی ۵ درجه ۸۲

شکل (۶-۸) : چیدمان اولیه ذرات در برخورد دو صفحه از جنس تیتانیوم با زاویه اولیه ی ۱۰ درجه ۸۲

شکل (۶-۹) : توسعه ی جوش و موجی شدن سطوح ۸۴

شکل (۶-۱۰) : توسعه ی جوش و موجی شدن سطوح و تشکیل جت و جدا شدن ذرات از فصل مشترک ۸۵

شکل (۶-۱۱) : تغییرات فشار P، ۲ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۶

شکل (۶-۱۲) : تغییرات مکان در جهت Y، ۲ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه..... ۸۶

شکل (۶-۱۳) : تغییرات سرعت در جهت X، ۲ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه..... ۸۶

شکل (۶-۱۴) : تغییرات سرعت در جهت Y، ۲ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۶

شکل (۶-۱۵) : تغییرات فشار P، ۳ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۷

شکل (۶-۱۶) : تغییرات مکان در جهت ۳،Y میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۷

شکل (۶-۱۷) : تغییرات سرعت در جهت X، ۳ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۷

شکل (۶-۱۸) : تغییرات سرعت در جهت Y، ۳ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه..... ۸۷

شکل (۶-۱۹) : تغییرات فشار P، ۴ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۸

شکل (۶-۲۰) : تغییرات مکان در جهت Y، ۴ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه..... ۸۸

شکل (۶-۲۱) : تغییرات سرعت در جهت ۴،X میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۸

شکل (۶-۲۲) : تغییرات سرعت در جهت Y، ۴ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۸

شکل (۶-۲۳) : تغییرات فشار P، ۵ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۹

شکل (۶-۲۴) : تغییرات مکان در جهت Y، ۵ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۹

شکل (۶-۲۵) : تغییرات سرعت در جهت X، ۵ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۹

شکل (۶-۲۶) : تغییرات سرعت در جهت Y، ۵ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۵ درجه ۸۹

شکل (۶-۲۷) : تغییرات فشار P، ۲ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۰

شکل (۶-۲۸) : تغییرات مکان در جهت Y، ۲ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه..... ۹۰
شکل (۶-۲۹) : تغییرات سرعت در جهت X، ۲ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه..... ۹۰
شکل (۶-۳۰) : تغییرات سرعت در جهت Y، ۲ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۰
شکل (۶-۳۱) : تغییرات فشار P، ۳ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۱
شکل (۶-۳۲) : تغییرات مکان در جهت Y،۳ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۱
شکل (۶-۳۳) : تغییرات سرعت در جهت X، ۳ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۱
شکل (۶-۳۴) : تغییرات سرعت در جهت Y، ۳ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۱
شکل (۶-۳۵) : تغییرات فشار P،۴ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۲
شکل (۶-۳۶) : تغییرات مکان در جهت Y،۴ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۲
شکل (۶-۳۷) : تغییرات سرعت در جهت X، ۴ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۲
شکل (۶-۳۸) : تغییرات سرعت در جهت Y، ۴ میکروثانیه پس از برخورد با زاویه ی ۱۰ درجه ۹۲
شکل (۶-۳۹) الف و ب : برخورد دو صفحه فولادی با سرعت اولیه ۶۵۰ m/s..... ۹۳
شکل (۶-۴۰) : توزیع سرعت به روش SPH در برخورد دو صفحه فولادی با سرعت اولیه ۶۵۰ m/s..... ۹۴
شکل (۶-۴۱) : توزیع سرعت در مدل الحسنی و موسوی در برخورد دو صفحه فولادی با سرعت اولیه ۶۵۰ m/s..... ۹۵
شکل (۶-۴۲) : موجی بودن سطح جوش ۹۷
شکل (۶-۴۳) : صاف بودن سطح جوش در روش SPH و در مدل الحسنی و موسوی ۹۸
شکل (۶-۴۴) : کانتور کرنش پلاستیک برای روش SPH..... ۹۹
شکل (۶-۴۵) : کانتور کرنش پلاستیک برای مدل الحسنی و موسوی ۹۹
شکل (۶-۴۶) : کانتور تنش برشی برای روش SPH..... ۱۰۰
شکل (۶-۴۷) : کانتور تنش برشی برای مدل الحسنی و موسوی ۱۰۰
شکل (۶-۴۸) : توزیع فشار در روش SPH..... ۱۰۳
شکل (۶-۴۹) : توزیع فشار در مدل الحسنی و موسوی ۱۰۴

شکل (۶-۵۰) : توزیع نامتقارن فشار در روش SPH ۱۰۵

شکل (۶-۵۱) : توزیع نامتقارن فشار در مدل الحسنی و موسوی ۱۰۵

شکل (۶-۵۲) : چیدمان بکار رفته برای اندازه گیری سرعت نقطه ی برخورد و سرعت صفحات در جوشکاری چند لایه ۱۰۶

شکل (۶-۵۳) : دیاگرام مربوط به جوشکاری دو صفحه در پرواز آزاد ۱۰۷

شکل (۶-۵۴) : دیاگرام هندسی برخورد دو صفحه در پرواز آزاد در هنگام جوشکاری ۱۰۸

شکل (۶-۵۵) : دوحالت حدی برای جوش در پرواز آزاد ۱۰۹

شکل (۶-۵۶) : شکل ایده ال سازی شده ی امواج ۱۰۹

شکل (۶-۵۷) : شماتیک هندسه ی برخورد بین مجموعه ی جوش و n امین لایه از مجموعه ی صفحات ۱۱۱

شکل (۶-۵۸) : دیاگرام پروسه ی جوشکاری چند لایه ۱۱۲

شکل (۶-۵۹) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۱ mm و سرعت ۴۰۰ m/s ۱۱۳

شکل (۶-۶۰) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۱ mm و سرعت ۶۵۰ m/s ۱۱۳

شکل (۶-۶۱) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۳ mm و سرعت ۴۰۰ m/s ۱۱۴

شکل (۶-۶۲) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۳ mm و سرعت ۶۵۰m/s ۱۱۴

شکل (۶-۶۳) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۳ mm و سرعت ۹۰۰ m/s ۱۱۵

شکل (۶-۶۴) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۳ mm و سرعت ۱۱۰۰ m/s ۱۱۵

شکل (۶-۶۵) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۵ mm و سرعت ۴۰۰ m/s ۱۱۶

شکل (۶-۶۶) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۵ mm و سرعت ۶۵۰ m/s ۱۱۶

شکل (۶-۶۷) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۵ mm و سرعت ۹۰۰ m/s ۱۱۷

شکل (۶-۶۸) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۶ mm و سرعت ۴۰۰ m/s ۱۱۷

شکل (۶-۶۹) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۶ mm و سرعت ۶۵۰ m/s ۱۱۸

شکل (۶-۷۰) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۶ mm و سرعت ۶۵۰ m/s ۱۱۸

شکل (۶-۷۱) : برخورد دو صفحه با ضخامت ۶ mm و سرعت ۹۰۰ m/s ۱۱۹

فهرست علائم اختصاری

β : زاویه ی دینامیکی برخورد

V_p : سرعت صفحه ی پرنده

V_c : سرعت پیشروی نقطه ی جوش

S : فاصله ی توقف

t_f : ضخامت صفحه ی پرنده

M : جرم صفحه ی پرنده

C : جرم ماده ی منفجره

V_D : سرعت انفجار

IE : انرژی برخورد

R : نسبت جرم ماده ی منفجره به جرم صفحه ی پرنده

α : زاویه قرارگیری صفحات در تنظیمات اولیه

R_e : عدد رینولدز

ρ : چگالی ذرات سیال

P : فشار

$\vec{u}$: سرعت ذرات

$\vec{g}$: شتاب جاذبه

$\bar{\bar{\tau}}$: تانسور تنش برشی

W : تابع کرنل

h : نصف شعاع هموارسازی

H_V : سختی ویکرز

σ_S : تنش تسلیم برشی

σ_T : تنش تسلیم کششی

V_T : سرعت انتقال

H_F : سختی صفحه ی پرنده

H_P : سختی صفحه ی ساکن

ρ_F : جرم مخصوص صفحه ی پرنده

ρ_P : جرم مخصوص صفحه ی ساکن

V_{Pmin} : حداقل سرعت صفحه ی پرنده

U : سرعت صوت

σ_{UTS} : استحکام نهایی

β_L : زاویه ی برخورد دینامیکی مینیمم

β_O : زاویه ی برخورد دینامیکی بهینه

β_H : زاویه ی برخورد دینامیکی ماکزیمم

P_S : فشار ویژه

Y : تنش تسلیم

K : ضریب هدایت گرمایی

T_m : دمای نقطه ی ذوب

V_e : حجم ماده ی منفجره

L : طول صفحه ی پرنده

t : ضخامت صفحه ی پرنده

λ : طول موج در سطح جوش

t_j : ضخامت جت برجسته

V_{flo} : سرعت جریان سیال گونه دور از اغتشاش

چکیده

بررسی مکانیزم تشکیل حالت موجی در فصل مشترک سطوح در جوش انفجاری به شیوه ی SPH
آرش کرمعلی

در طول این قرن روشهای مختلف جوشکاری فاز جامد مانند جوشکاری اصطکاکی، جوشکاری آلتراسونیک و جدیدترین آنها جوشکاری انفجاری ابداع شده است.

جوشکاری انفجاری از این حیث که توانایی اتصال فلزات از جنسهای متفاوت را داراست بسیار منحصر به فرد می باشد . جوشکاری انفجاری برای صفحات بسیار بزرگ و بسیار کوچک کاربرد دارد. اتصال صفحات بسیار بزرگ جهت ایجاد صفحات کامپوزیت برای استفاده در مخازن فشار، ساخت سیلندرهای تو در تو، اتصال لوله به مخازن و اتصال لوله های دو جداره از کاربردهای دیگر جوشکاری انفجاری می باشند.

هدف این کار تحقیقاتی یافتن پارامترهای مهم، مانند سرعت صفحات، زاویه ی دینامیکی، فشار انفجار و میزان فشار و تنش و کرنش در طول پروسه ی تغییییر شکل می باشد.

SPH یک روش کاملاً لاگرانژی بدون شبکه بوده که در ابتدا در ستاره شناسی و سپس برای مدلسازی جریان سیالات کاربرد پیدا کرد. به عبارتی SPH روشی است که با تقریب سازی عددی معادلات مربوط به پدیده ی مورد بررسی و بکارگیری یک مجموعه از ذرات به مدلسازی می پردازد. اخیراً کاربرد SPH بسیار توسعه یافته به نحوی که در مدلسازی مسائل مربوط به سیالات تراکم ناپذیر، برخورد با سرعت بالا، شکست، ترک و غیره بکار می رود. در روش SPH نیروی بین ذرات مساله ی مورد نظر با استفاده از معادلات دینامیک سیالات، معادلات الاستیسیته و پلاستیسیته، اثرات جاذبه، اینرسی، ویسکوزیته و فشار محاسبه می شود.

در این رساله سعی شده تا با بکارگیری روش SPH به مدلسازی پروسه ی جوشکاری انفجاری صفحات پرداخته شود. ضمناً ماده ی منفجره نیز مدل شده است.

کلید واژه

جوشکاری اصطکاکی، جوشکاری آلتراسونیک، جوشکاری انفجاری، شبیه سازی، الاستیسیتته، پلاستیسیته، دینامیک سیالات

Abstract

investigation of mechanism of the formation of wavy interface in explosive welding with SPH method
Arash Karamali

During this century other solid phase welding processes have been discovered such as friction welding, ultrasonic welding and so forth but the most recent process discovered has been that of explosive welding.

The application of explosive welding has unique advantages in joining different metals. Large plate cladding to form composite plates for use in pressure vessel construction, manufacture of cylindrical configurations such as in tube to tube plate welding and in plugging of tubes in faulty heat exchanger, transition and double walled tube to tube joining, are some other applications of explosive welding.

The aim of present research work is to find the important parameters, such as impact velocity of plate to plate, the dynamic angle, the pressure of the explosion at the point of contact between explosive material and plate, the amount of pressure, stress and strain in the plate during the deformation.

Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method is a fully Lagrangian, particle-based technique that is typically used to simulate the motion of compressible fluids. In another word, Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) is a method to obtain approximate numerical solutions of the equations of fluid dynamics by defining the fluid using a set of particles. More recently, it has been extended and used to simulate the motion of incompressible fluids, high velocity impact, fracture, crack etc.

In this research work we tried to simulate the explosive welding process of the plates by use of SPH method. Also the high explosive has been simulated.

Key Words

Friction welding, ultrasonic welding, explosive welding, simulation, SPH, elastic, plastic, fluid dynamics

فصل اول :

آشنایی با روش SPH و معادلات حاکم بر آن

۱-۱) پیشگفتار

به منظور شبیه سازی جریان سیال و حل معادلات حاکم بر سیال دو دیدگاه معتبر به نام های دیدگاه اولری و لاگرانژی وجود دارد، که هریک با توجه به فرضیات و روشهای به کار رفته معادلات اساسی حاکم بر سیال را به گونه ای خاص ساده سازی کرده و بکار می برند.

در دیدگاه اولری سیستم دستگاه مختصات بر روی یک حجم کنترل از سیال گذاشته شده و تغییرات ایجاد شده در جریان سیال به هنگام عبور از این حجم کنترل مورد بررسی قرار می گیرد، اما در دیدگاه لاگرانژی سیستم دستگاه مختصات و در واقع ناظر بر روی ذرات قرار گرفته و به همراه ذرات حرکت می کند و تغییرات جریان را در مسیر حرکت ذرات مورد بررسی قرار می دهد.

در سالهای اخیر روشهای بدون شبکه نظیر Smoothed Particle Hydrodynamics، The Diffuse Element Method ، The Element-Free Galerkin Method، h-p Clouds، Partition of Unity و The Reproducing Kernel Particle Method به عنوان مهمترین روشهایی که توانایی فراوانی در مدلسازی مرزهای متحرک را دارا می باشند مطرح شده اند.

روش استفاده شده در این پروژه SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) نام دارد که یک روش کاملاً لاگرانژی است. این روش بدون نیاز به شبکه و با استفاده از یک مکانیزم درون یابی نقطه ای خواص جریان سیال را محاسبه می کند، در این روش به هر ذره جرمی نسبت داده می شود که متناسب با فاصله ذرات و خواص سیال است، بنابراین می توان این ذرات را به ذرات فیزیکی و مادی تعبیر کرد که خواص میدان سیال نظیر دما، سرعت، فشار و ... به همراه خود جابجا می کنند و مقدار این خواص در هر ذره متحرک تابعی از متوسط این خواص در ذرات مجاور است و تابعی وزنی به نام تابع کرنل این متوسط گیری را با احتساب برخی پارامترهای لازم انجام می دهد. در روش SPH اعمال شرایط مرزی به آسانی انجام می گیرد چرا که تمام میدان با ذرات متحرک تخمین زده می شود و برای ذرات مرزی نیز می توان با اعمال چند شرط خاص دیواره ها را شبیه سازی کرد.

از دیگر مزایای SPH عدم نیاز به شبکه است چرا که تابع وزنی کرنل محاسبه مشتقات فضایی را به عهده می گیرند. برخلاف FDM که برای محاسبه مشتقات فضایی میدان می بایست میدان را شبکه بندی کرد و این در حالیست که دقت این محاسبات کاملا وابسته به سایز شبکه یا به عبارت دیگر فاصله بین نقاط دیفرانسیل گیری دارد، لذا برای رسیدن به دقت بالاتر نیاز به شبکه هایی ریزتر وجود دارد .