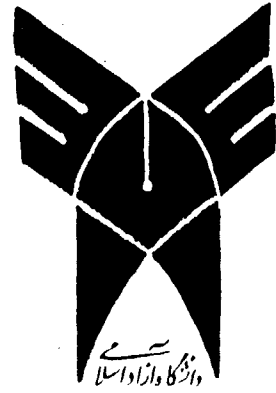


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## دانشگاه آزاد اسلامی

واحد کرمان

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته: عمران

گرایش: سازه

8600 -

موضوع:

تحلیل روشهای اندازه گیری تنشهای پسماند در جوشکاری

و پیشنهاد روشهای کاهش تنشهای پسماند

استاد راهنما:

دکتر عبدالحمید موسوی راد

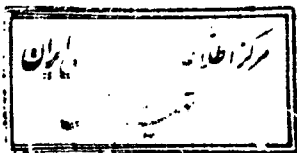
۱۶ / ۹ / ۱۳۷۹

نگارش:

سیدرضا سراجزاده

سال تحصیلی: ۷۸

(( ب ))



۳۱۰۶۹

موضوع:

تحلیل روشهای اندازه گیری تنشهای پسماند در جوشکاری و پیشنهاد روشهای  
کاهش تنشهای پسماند

توسط:

سیدرضا سراجزاده

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد  
رشته وگرایش: مهندسی عمران - سازه

از این پایان نامه در تاریخ ۷۸/۹/۱۱ در مقابل هیئت داوران دفاع به عمل آمده و مورد تصویب  
قرار گرفت.

اعضاء هیئت داوران:

استاد راهنما: دکتر عبدالحمید موسوی راد

داور: دکتر محمدباقر رهنما

داور: دکتر علی سینایی

داور: دکتر سیدحسین منصوری

مدیر گروه آموزشی کارشناسی ارشد:

دکتر محمدباقر رهنما

سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی:

دکتر محمدحسین متقی

معاون آموزشی دانشگاه:

مجید غلامحسین پور

سرپرست دانشگاه:

دکتر محمدحسین متقی

## سپاسگذاری

در اینجا لازم و بر خودم فرض می‌دانم که از زحمات بیدریغ جناب آقای دکتر عبدالحسین موسوی راد تشکر و قدردانی کنم که در تهیه این پایان نامه بعنوان استاد راهنما همواره افتخار بهره‌مندی از رهنمودهایشان را داشته‌ام. همچنین از جناب آقای دکتر محمدباقر رهنما مدیر گروه آموزشی کارشناسی ارشد و همه اساتید و عزیزان گرانقدری که در طول دوره تحصیلات تکمیلی افتخار شاگردیشان را داشته‌ام و حاصل زحماتشان منتهی به تهیه و تدوین این پایان نامه گردیده است کمال تشکر و سپاسگذاری را دارم.

### تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که وجودشان  
تسلی بخش و گفتارشان راهنما  
برای من است.

تقدیم به همسرم، چشمه گوارای  
محبت، چمنزار لطیف نوازش و  
کوه بلند استقامت

تقدیم به فرزندانم، غنچه‌های  
زیبای بوستان زندگی‌ام

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده .....	۱
مقدمه .....	۲
فصل اول: مقدمه و تاریخچه .....	۴
فصل دوم: چگونگی ایجاد تنش های پسماند و عوامل مؤثر در آن .....	۸
۱-۲- مقدمه .....	۸
۲-۲- چگونگی ایجاد تنش پس ماند ناشی از اعمال حرارت شدید در جوشکاری .....	۹
۲-۳- عوامل مؤثر متالورژیکی بر تنش های پسماند .....	۱۴
۲-۴- عوامل فیزیکی مؤثر بر تنش های پسماند .....	۱۷
۲-۵- نحوه توزیع تنشهای پسماند در جوشهای گوناگون .....	۱۹
۲-۶- نتیجه گیری .....	۲۲
فصل سوم: اثر تنشهای پسماند بر روی خواص مکانیکی قطعات جوش شده .....	۲۳
۳-۱- مقدمه .....	۲۴
۳-۲- پیچیدگی در جوش .....	۲۴
۳-۳- ترک .....	۲۷
۳-۴- مقاومت کمانش .....	۴۳
۳-۵- نتیجه گیری .....	۴۴
فصل چهارم: بررسی روشهای اندازه گیری تنشهای پس ماند .....	۴۵
۴-۱- مقدمه .....	۴۶
۴-۲- روش رهایی تنش .....	۴۷
۴-۲-۱- روش سوراخکاری مادار-سوت .....	۴۷
۴-۲-۲- روش رهایی موضعی .....	۵۵
۴-۲-۳- روش تکه کردن رزنتال - نورتون .....	۵۷
۴-۳- روش اندازه گیری تنش های پسماند با استفاده از اشعه ایکس .....	۵۷

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۶۳	۴-۴-۴- روش های اندازه گیری تنش بدون توسل به اندازه گیری کرنش
۶۳	۴-۴-۴-۱- مقدمه
۶۳	۴-۴-۴-۲- روش اکوستوالاستیک
۶۴	۴-۴-۴-۳- روش کرنش مغناطیسی
۶۵	۴-۴-۴-۴- روش Barkhusen noise (BHN)
۶۶	۴-۴-۵- تنشهای پسماند اتصالات جوش داده شده
۶۸	۴-۴-۶- مقایسه روشهای موجود
۷۰	فصل پنجم: روشهای کاهش یا حذف تنش پسماند در قطعات جوشکاری شده
۷۱	۴-۴-۵-۱- مقدمه
۷۲	۴-۴-۵-۲- پیش گرمی
۸۶	۴-۴-۵-۳- پس گرمی
۸۸	۴-۴-۵-۴- عملیات چکش کاری نرم
۸۹	۴-۴-۵-۵- نتیجه گیری
۹۰	فصل ششم: جمع بندی نتایج
۹۱	۴-۴-۶-۱- مقدمه
۹۱	۴-۴-۶-۲- آنالیز دو ورق جوش شده به یکدیگر بوسیله نرم افزار SAP90
۱۰۰	۴-۴-۶-۳- جمع بندی نتایج فصل های گذشته
۱۰۱	پیشنهادها
۱۰۲	فهرست منابع
۱۰۴	ضمیمه

## فهرست شکلها

عنوان	صفحه
۱-۲: سه میله فولادی مهار شده توسط دو بلوک فولادی	۱۰
۲-۲: نمودار تنش - درجه حرارت برای میله مهار شده وسطی	۱۱
۳-۲: شمای میله فولادی و گیره	۱۱
۴-۲: میله گرم شده تا دمای ۹۰۰°C	۱۲
۵-۲: الف) میله گرم شده از ۲۵°C به ۱۴۵°C، ب) میله سرد شده از ۱۴۵°C به ۲۵°C در حالت مهار شده و بدون مهار	۱۳
۶-۲: میله سرد شده از ۹۰۰°C به ۲۵°C در حالت مهار شده و بدون مهار	۱۳
۷-۲: ورق جوشکاری شده از پایین به بالا و نمودارهای مربوط به توزیع دما و تنش $\sigma_x$	۱۴
۸-۲: نمودار تعادلی آهن - کربن	۱۶
۹-۲: مراحل تبدیل آستنیت به مارتنزیت	۱۷
۱۰-۲: نمونه‌ای از جوشکاری ترتیبی	۱۸
۱۱-۲: نحوه توزیع تنش پسماند در جوش لب به لب	۱۹
۱۲-۲: توزیع تنش در جوش ماهیچه	۲۰
۱۳-۲: شمای جوش دگمه‌ای	۲۱
۱۴-۲: نحوه توزیع تنش پسماند در جوش دگمه‌ای	۲۱
۱-۳: انقباضهای جوش لب به لب	۲۵
۲-۳: نمای شماتیک از مقطع جوش لب به لب	۲۵
۳-۳: شمایی از جوش ماهیچه‌ای	۲۶
۴-۳: ترک در منطقه جوش و اطراف آن	۲۹
۵-۳: خواص مکانیکی فلز با تغییرات درجه حرارت	۳۱
۶-۳: مقایسه خواص مکانیکی دو آلیاژ حساس و مقاوم در برابر ترک برداشتن گرم	۳۱
۷-۳: ترک گرم در جوش	۳۲
۸-۳: ترک یا دریدن طولی در نزدیکی موضع اتصال در اثر ناخالصی‌های زیاد در فولاد	۳۳
۹-۳: نمونه‌ای از ترکیدگی یا ترک برداشتن سرد در مجاورت خط جوش	۳۶



## فهرست شکلها

عنوان	صفحه
۱۰-۳: تنش‌های چندمحوری در اتصال .....	۳۶
۱۱-۳: تمرکز تنش در شکاف ریشه جوش در طرح اتصال (a)، طرح صحیح بدون موضع تمرکز تنش (b).....	۳۷
۱۲-۳: تمرکز تنش در گوشه‌های جوش در اثر زاویه کوچک گرده جوش یا سوختگی کناره جوش.....	۳۷
۱۳-۳: دو نمونه از ترک سرد ناشی از هیدروژن .....	۴۱
۱۴-۳: چشمهای ماهی در سطح شکست جوش.....	۴۱
۱۵-۳: مقاومت کمانشی برای تیرهای جوش شده تحت بار فشاری.....	۴۳
۱-۴: مثالی از تکنیک سوراخکاری.....	۴۷
۲-۴: قطعه تحت تنشهای پسماند .....	۴۸
۳-۴: کرنشهای رها شده تحت دو زاویه ۰ و ۹۰ درجه .....	۵۰
۴-۴: منحنی عمق سوراخ و درصد کرنش رها شده .....	۵۲
۵-۴: نحوه قرار گرفتن رزت.....	۵۳
۶-۴: نمودار تنش - کرنش مربوط به فولاد ضد زنگ ۳۰۴.....	۵۴
۷-۴: انواع رزت.....	۵۴
۸-۴: تغییرات کرنش ناشی از رهایی تنش .....	۵۶
۹-۴: نحوه تفرق اشعه X روی کریستال و منحنی توزیع شدت تفرق.....	۵۸
۱۰-۴: تفرق روی مواد Polycrystalline و حلقه Debye-scherrer.....	۵۹
۱۱-۴: حلقه تشکیل شده Debye-scherrer بر روی یک فیلم.....	۶۰
۱۲-۴: منحنی $2\theta_{\phi\psi} - \sin^2\psi$ .....	۶۱
۱۳-۴: دستگاه goniometer.....	۶۲
۱۴-۴: تفرق دوبل صوتی مربوط به میدان تنش صفحه‌ای.....	۶۴
۱۵-۴: شمای کلی از یک سنسور غیرایزوتروپ مغناطیسی.....	۶۵
۱۶-۴: شمای ساختمان سنسور BHN.....	۶۶
۱۷-۴: توزیع تنش بر روی اتصال جوش داده شده از فولاد TMCP با استفاده از اشعه X.....	۶۷

## فهرست شکلها

عنوان	صفحه
۱۸-۴: توزیع تنش‌های پسماند در فلز جوش یک فولاد نرم با دمای ورودی بالا	۶۷
۱۹-۴: مقایسه تنش‌های پسماند محاسبه شده بوسیله روشهای اکوستو الاستیک و رهایی تنش	۶۸
۲۰-۴: مقایسه تنش‌های پسماند محاسبه شده بوسیله روشهای کرنش مغناطیسی و رهایی تنش	۶۹
۱-۵: نمونه‌ای از کمرندهای حرارتی	۷۲
۲-۵: شمایی از منبع تغذیه کمرند حرارتی	۷۳
۳-۵: شمایی از منبع تغذیه و ترموکوپل‌های مربوط به کمرند حرارتی	۷۴
۴-۵-الف: منحنی تنش - دما برای میله کاملاً مهار شده ضمن گرم شدن در حالت بدون پیش‌گرمی	۷۶
۴-۵-ب: منحنی تنش - دما برای میله کاملاً مهار شده ضمن سرد شدن در حالت بدون پیش‌گرمی	۷۷
۵-۵: تغییرات خواص مکانیکی فولاد با دما	۷۸
۶-۵-الف: منحنی تنش - دما برای میله کاملاً مهار شده ضمن گرم شدن در حالت $200^{\circ}\text{F}$ ( $90^{\circ}\text{C}$ ) پیش‌گرمی	۷۹
۶-۵-ب: منحنی تنش - دما برای میله کاملاً مهار شده ضمن سرد شدن در حالت $200^{\circ}\text{F}$ ( $90^{\circ}\text{C}$ ) پیش‌گرمی	۸۰
۷-۵-الف: منحنی تنش - دما برای میله کاملاً مهار شده ضمن گرم شدن در حالت $600^{\circ}\text{F}$ ( $310^{\circ}\text{C}$ ) پیش‌گرمی	۸۱
۷-۵-ب: منحنی تنش - دما برای میله کاملاً مهار شده ضمن سرد شدن در حالت $600^{\circ}\text{F}$ ( $310^{\circ}\text{C}$ ) پیش‌گرمی	۸۲
۸-۵-الف: منحنی تنش - دما برای میله کاملاً مهار شده ضمن گرم شدن در حالت $1200^{\circ}\text{F}$ ( $650^{\circ}\text{C}$ ) پیش‌گرمی	۸۳
۸-۵-ب: منحنی تنش - دما برای میله کاملاً مهار شده ضمن سرد شدن در حالت $1200^{\circ}\text{F}$ ( $650^{\circ}\text{C}$ ) پیش‌گرمی	۸۴
۹-۵: اثر زمان و درجه حرارت بر روی میزان تنش رهایی	۸۷
۱-۶: نحوه توزیع دما در دو ورق جوش داده شده بصورت لب به لب	۹۲
۲-۶: نحوه المان بندی دو ورق جوشکاری شده	۹۳
۳-۶: توزیع تنش در جهت Z روی دو ورق جوشکاری شده به ضخامت ۱ میلی‌متر	۹۴
۴-۶: توزیع تنش در جهت Z روی دو ورق جوشکاری شده به ضخامت ۳ میلی‌متر	۹۵
۵-۶: توزیع تنش در جهت Z روی دو ورق جوشکاری شده به ضخامت ۷ میلی‌متر	۹۶
۶-۶: توزیع تنش در جهت Z روی دو ورق جوشکاری شده به ضخامت ۱۰ میلی‌متر	۹۷
۷-۶: نمودار مقایسه توزیع تنش در جهت Z مربوط به ورق‌های جوشکاری شده با ضخامت‌های گوناگون	۹۸

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۸	۱-۳: ارتباط پاس جوش و پیچیدگی زاویه‌ای در جوش لب به لب با پخ جناغی یکطرفه
۲۸	۲-۳: تاثیر فاکتورهای مختلف جوشکاری بر روی انقباض عرضی
۸۶	۱-۵: دمای پیشگرمی پیشنهادی برای درصدهای مختلف کربن
۸۷	۲-۵: درجه حرارت تنش زدایی برای انواع فولادها

عنوان پایان نامه: تحلیل روشهای اندازه گیری تنشهای پسماند در جوشکاری و پیشنهاد

روشهای کاهش تنشهای پسماند

نام و نام خانوادگی: سیدرضا سراجزاده

رشته تحصیلی: عمران - سازه

تاریخ دفاع: ۷۸/۹/۱۱

استاد راهنما: دکتر عبدالحمید موسوی راد

### چکیده

یکی از پدیده‌هایی که در اثر عملیات جوشکاری گاهی بروز کرده و باعث اثرات نامطلوب بر روی خواص مکانیکی قطعات می‌گردد، تنشهای پسماند می‌باشد. آشنایی با نحوه ایجاد این تنشها و چگونگی عملکردشان در تأثیرگذاری روی خواص مکانیکی قطعه بستر مناسبی را برای مقابله با آنها ایجاد می‌نماید. به همین جهت در این پایان نامه ابتدا عوامل ایجاد تنش پسماند در قطعه جوشکاری شده مورد بررسی قرار گرفته که این عوامل شامل عوامل فیزیکی و متالورژیکی می‌باشند. سپس به تأثیر این تنشها بر روی خواص مکانیکی قطعات اشاره شده است.

در ادامه تکنیکهای گوناگون اندازه گیری تنشهای پسماند ضمن بررسی با یکدیگر مقایسه گردیده است. همچنین نحوه توزیع تنش در دو ورق که بصورت لب به لب به یکدیگر جوش داده شده برای ضخامت‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است. و در نهایت روشها و پیشنهادهایی جهت کاهش و یا حذف تنش پسماند در قطعات جوشکاری شده ارائه گردیده است.

## مقدمه

امروزه کشورهای قدرتمند صنعتی راز پیشرفت‌های تکنولوژیک خود را در امر تحقیقات جستجو می‌کنند. شکی نیست که گسترش فن تحقیقات در تمام زمینه‌های علمی و صنعتی، یکی از ارکان اصلی و شاید مهمترین رکن در دستاوردهای بزرگ صنعتی بشمار می‌آید.

علم جوشکاری نیز به عنوان شاخه‌ای از علوم مهندسی از این حیث مستثنی نبوده و پیشرفتهای شایانی که در این زمینه، بخصوص در سه دهه اخیر حاصل شده مدیون زحمات و کار طاقت فرسای بسیاری از محققین در اقصی نقاط جهان بوده است. یکی از موضوعات مهمی که در صنایع، بخصوص صنایعی مانند بویلر سازی، کشتی سازی، صنایع اتومبیل، هواپیماسازی، موشک سازی و غیره مد نظر قرار گرفته، مسئله وجود تنشهای پسماند در سازه‌های جوشی می‌باشد به همین سبب طی ۱۵ سال اخیر این مسئله مورد توجه محققین قرار گرفته است.

متأسفانه در کشور ما در زمینه جوشکاری و خصوصاً تنشهای پسماند، مطالعات و تحقیقات کمی صورت گرفته است و به همین خاطر منابع فارسی موجود در این زمینه بسیار اندک می‌باشد. همین امر باعث شده تا در کارخانجات کشور کارگران، تکنسینها و حتی مهندسين اطلاعات کمی در رابطه با این فن داشته باشند.

دلایل اهمیت موضوع فوق را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

۱- خطرات و صدمات ایجاد شده بخاطر کم توجهی به این تنشها در هنگام طراحی

۲- کاهش هزینه‌های ناشی از تغییرات

۳- بالا بردن کیفیت محصول نهایی

۴- پیدا کردن تکنیکها و روشهایی برای کاهش این تنشها

بدلیل اهمیت موضوع و به خاطر موجود نبودن مرجعی کامل در این رابطه مقوله فوق بعنوان پروژه انتخاب گردید.

محورهای پیش‌بینی شده برای این پروژه شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- بررسی دلایل ایجاد تنشهای پس ماند در سازه‌های جوشی

۲- بررسی اثرات این نوع تنشها بر روی سازه

۳- روشهای اندازه‌گیری و محاسبه آنها

۴- پیدا کردن روشهای مناسب جهت حذف و یا کاهش این تنشها

هر یک از این موارد بطور کامل مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته که حاصل آن در این پژوهش آمده است. این

پژوهش شامل شش فصل می‌باشد. در فصل اول تحت عنوان «تاریخچه» مختصری به سابقه فعالیت‌های انجام شده در زمینه تنش‌های پس‌ماند پرداخته شده است و در فصل دوم با عنوان «چگونگی ایجاد تنش‌های پس‌ماند و عوامل مؤثر بر آن» ابتدا نحوه ایجاد این تنشها در قطعات جوشی مورد بررسی قرار گرفته، سپس عوامل مؤثر متالورژیکی بر ایجاد تنشهای پس‌ماند ارائه گردیده و بدنبال آن عوامل فیزیکی مؤثر در بروز این تنشها و در نهایت به نحوه توزیع تنش‌های پس‌ماند در جوشهای گوناگون اشاره گردیده است.

در فصل سوم تحت عنوان «اثر تنش‌های پس‌ماند بر روی خواص مکانیکی قطعات جوش شده» مسائلی از قبیل پیچیدگی در جوش، ترک که خود شامل مباحثی از قبیل عوامل ایجاد ترک و نحوه گسترش آن می‌باشد و مقاومت کماتش مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است.

بررسی روشهای اندازه‌گیری تنش‌های پس‌ماند، مقوله دیگری است که بطور کامل و جامع در فصل چهارم تحت همین عنوان مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل پنجم تحت عنوان «روشهای حذف یا کاهش تنش پس‌ماند در قطعات جوشکاری شده» به ارائه پیشنهادهایی برای کم کردن و یا حذف اثرات این تنشها پرداخته شده است و در نهایت در فصل ششم ابتدا دو ورق که بصورت لب به لب به یکدیگر جوش داده شده‌اند بوسیله نرم‌افزار SAP90 آنالیز گردیده و سپس یک جمع‌بندی از نتایج فصل‌های گذشته ارائه گردیده است.

به امید آنکه این کوشش با تمامی نواقص و کاستی‌هایش بتواند مورد استفاده علاقمندان و دانش‌پژوهان قرار گیرد.

انشا...

# فصل اول

## مقدمه و تاریخچه

۱-۱- مقدمه و تاریخچه