



دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه (اصفهان)

نورد سرد

تألیف: محمد مهدی وینی

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه رشته مهندسی مکانیک

۱۳۹۴

سرشناسه	: حیدری وینی، محمد، ۱۳۶۳ -
عنوان و نام پدیدآور	: نورد سرد/ تالیف محمد حیدری وینی؛ [برای] دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه (اصفهان).
مشخصات نشر	: اصفهان: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان 1394
مشخصات ظاهری	: ۴۳۲ ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
شابک	: 978-964-10-2923-6
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: فولاد نوردشده -- سردکاری
موضوع	: فولاد -- سردکاری
موضوع	: نورد (فلزکاری)
شناسه افزوده	: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مبارکه
شناسه افزوده	: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان
رده بندی کنگره	: TS249/ج۹ ۱۰۴
رده بندی دیویی	: ۶۷۱/۸۳۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۶۴۱۱۷



ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان)

نشانی: اصفهان، خیابان جی، صندوق پستی: ۸۱۸۹۵-۱۸

تلفن: ۹-۰۳۱-۳۵۳۵۴۰۰۱، فاکس: ۰۳۱-۳۵۳۵۴۰۶۰، Email: info@khuis.ir

نورد سرد

محمد حیدری وینی

- طراحی جلد:
- مدیر تولید: فاطمه دادرس
- شمارگان: ۱۰۰ جلد
- نوبت چاپ: اول ۱۳۹۴
- تعداد صفحات: ۴۳۲ صفحه
- چاپ

قیمت: ۱۸۷۵۰ تومان

© حق چاپ محفوظ است.

ISBN: 978-964-10-2923-6

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۲۹۲۳-۶

پیشگفتار

صنعت نورد یکی از متداول‌ترین روش‌های شکل‌دهی فلزات است. اغلب تا ۸۰٪ فرآورده‌های فلزی به روش نورد تولید می‌شوند. صناعی مانند خودروسازی، لوازم خانگی، مواد غذایی، صنایع هوایی و فضایی و ... همگی به نحوی نیازمند صنعت نورد می‌باشند. از آنجایی که صنعت نورد به کشور ما وارداتی بوده است، همیشه باعث گردیده تا نگاهی که به این صنعت می‌شود، نگاه وارداتی باشد. از این رو اغلب کسانی که در کشور در گروه متخصصان این صنعت، در حال فعالیت می‌باشند، اغلب هیچ نگاه علمی‌ای به این فناوری نداشته و از ریزه‌کاری‌های آن معالجه‌نستند. بدون داشتن دانش دقیق در زمینه نورد، بهبود سیستم‌های نورد کاری بس معالجه‌است. در زمینه نورد، اغلب در بخش دانشگاهی نیز تالیفات چندانی منتشر نشده است و اگر هم بوده، بر سه فرایند نورد گرم، سرد و نورد مقاطع را به طور یکجا مورد بررسی قرار داده و به طور تخصصی، هر یک از سه مورد فوق پرداخته است. کتاب کنونی دستاورد ده سال تدریس و پژوهش است. جانب در زمینه نورد و به خصوص نورد سرد می‌باشد. در این کتاب سعی بر آن بوده که تا حد امکان تمامی جزئیات فرایند نورد سرد آورده شود. کتاب به طور کلی از دو بخش تشکیل شده است. در بخش اول به جنبه عملی فرایند نورد سرد پرداخته شده و مسائل از قبیل سنگزنی و ربربری دهی غلتک‌های نورد، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. قسمت دوم اغلب بخش تئوری کتاب بوده و شامل مدل‌های ریاضی‌ای است که برای فرایند نورد سرد ارائه شده‌اند. به هر حال تمامی سعی نویسنده بر آن بوده تا فرایند نورد سرد به طور کامل و دقیق مورد بررسی قرار گیرد و امیدوار است که این

کتاب گامی هر چند کوچک در زمینه پیشرفت علم نورد در کشور عزیزمان ایران باشد و
زمینه را برای انتشار کتاب‌های تخصصی‌تر در این زمینه فراهم کند. به لطف و توفیق الهی، ان
شاء الله...

www.ketab.ir

فهرست مطالب

۱۳	مقدمه
۱۵	فصل اول: مقدمه بر صنعت فولاد
۱۶	۱-۱- ورود به مورد
۲۶	۲-۱- ورق‌های رنگی گالوانیزه
۲۷	۱-۲-۱- مزایای ورق رنگی
۲۸	۲-۲-۱- تفاوت ورق گالوانیزه با مستطیل سرد آتیل شده در رنگ‌پذیری
۲۸	۳-۲-۱- معرفی فرایند تولید ورق رنگی به روش غلتکی
۳۰	۴-۲-۱- مواد و روش انجام آزمایشات
۳۴	۳-۱- سنگ‌زنی
۳۷	۱-۳-۱- قرار دادن غلتک بر روی دستگاه
۳۸	۲-۳-۱- انجام عملیات سنگ‌زنی
۴۰	۳-۳-۱- عیوب ایجاد شده حین عملیات سنگ‌زنی
۴۲	۴-۳-۱- عیوب ایجاد شده پس از عملیات سنگ‌زنی
۴۲	۵-۳-۱- نکات لازم در عملیات سنگ‌زنی
۴۸	۴-۱- معرفی قفسه‌های نورد

۵۳	فصل دوم: تنش و کرنش
۵۴	۱-۲-۱- تعریف تنش
۵۵	۱-۲-۱-۱- مولفه‌های تنش در محورهای مختصات
۵۵	۱-۲-۱-۱- الف) مختصات کارتزین (عمودی)
۵۹	۱-۲-۱-۱- ب) تغییرات تنش در یک جسم، تساوی تنش برشی، معادله دیفرانسیلی تعادل
۶۳	۱-۲-۱-۱- ج) معادله دیفرانسیلی تعادل در مختصات استوانه‌ای
۶۵	۱-۲-۲- معادله تعادل برای حالت با تقارن محوری دو بعدی (تنش صفحه‌ای)
۶۶	۱-۲-۱-۱- دلالت دیفرانسیلی تعادل در مختصات کروی (R, θ, φ)
۶۷	۱-۲-۴- تنش در یک نقطه بعدی
۷۲	۱-۲-۵- حالت سه بعدی
۷۳	۱-۲-۶- تنش انحرافی
۷۵	۲-۲- تحلیل تغییر شکل
۸۲	۲-۳- معادلات سازگاری
۸۳	۲-۴- مولفه‌های کرنش در مختصات قطبی
۸۵	۲-۵- معادلات تبدیل در کرنش دو بعدی
۹۲	۲-۶- تبدیلات کرنش در حالت سه بعدی
۹۸	۲-۷- روابط تنش-کرنش
۹۸	۲-۷-۱- قانون عمومی هوک
۱۰۱	۲-۷-۲- روابط تنش - کرنش در مواد همسانگرد
۱۰۲	۲-۸- مدول سختی
۱۰۳	۲-۹- مدول حجمی
۱۰۴	۲-۱۰- مدول یانگ و ضریب بواسان
۱۰۵	۲-۱۱- رابطه بین ثابت‌های ارتجاعی

- ۱۰۶..... ۱۲-۲- معادلات حرارتی - کشسانی (ترموالاستیک)
- ۱۰۷..... ۱۳-۲- تنش ها بر حسب کرنش ها
- ۱۰۸..... ۱۴-۲- معادلات تعادل بر حسب مولفه های تغییر مکان
- ۱۱۰..... ۱۵-۲- انرژی کرنشی

فصل سوم: زبری سطحی غلتک و اهمیت آن در نورد سرد..... ۱۱۳

- ۱۱۴..... ۱-۳- زبری دهی سطح غلتک های نورد
- ۱۱۵..... ۱-۱-۳- ایجاد زبری بر سطح غلتک های نورد با ماشین LT
- ۱۱۶..... ۱-۱-۳- الف) گاز کمکی
- ۱۱۸..... ۱-۱-۳- ب) دما و حرارت
- ۱۱۹..... ۱-۱-۳- ج) دما و حرارت - سطح زیر شده به وسیله لیزر
- ۱۲۱..... ۱-۱-۳- د) میکرو ساختار سطح زیر شده بر روش LT
- ۱۲۲..... ۲-۱-۳- ایجاد زبری بر سطح غلتک های نورد به روش EBT
- ۱۲۴..... ۲-۱-۳- الف) مکانیزم براده برداری در EBT
- ۱۲۶..... ۲-۱-۳- ج) میکرو ساختار سطوح زیر شده با ماشین EBT
- ۱۲۸..... ۳-۱-۳- ایجاد زبری بر سطح غلتک های نورد به روش Shot Blast
- ۱۳۰..... ۴-۱-۳- معرفی ماشین EDT (Electro Discharge Texturing)
- ۱۳۳..... ۲-۳- پارامترهای زبری سطح
- ۱۳۸..... ۳-۳- اهمیت اصطکاک در نورد
- ۱۴۲..... ۱-۳-۳- تاثیر اصطکاک اضافی در نورد
- ۱۴۴..... ۲-۳-۲- خصوصیات یک روانکار ایده آل
- ۱۴۴..... ۳-۳-۳- آب به عنوان یک روانکار نورد
- ۱۴۵..... ۴-۳-۳- وابستگی ضریب اصطکاک به پارامترهای مختلف نورد

۱۵۵	 روانکار	۳-۳-۵- خصوصیات اصطکاک کی یک
۱۶۲	 نورد	۳-۳-۶- روش های به کارگیری روانکارهای
۱۶۸	 نورد	۳-۴- تاثیر خصوصیات سطحی غلتک بر پارامترهای
۱۷۶	 غلتک	۳-۵- تاثیر زبری سطح
۱۷۷	 ورق	۳-۵-۱- زبری سطح غلتک و
۱۸۱	 نورد	فصل چهارم: مدل های ریاضی برای فرایند
۱۸۲	 صاف	۴-۱- یک فرایند نورد
۱۸۵	 کار	۴-۱-۱- زاویه گریز
۱۸۷		۴-۱-۲- طول تماس لنگ و قطعه
۱۹۰	 سرد	۴-۲- انواع اصطکاک در نورد
۱۹۷		۴-۲-۲- مدل ریاضی تغییر شکل
۲۰۰	 فورد	۴-۳- تحلیل فشار غلتک در نورد سرد
۲۰۰	 کششی	۴-۳-۱- تحلیل فشار غلتک در نورد سرد بدون
۲۱۳	 مثال	۴-۳-۲- ارائه یک
۲۴۵	 فورد	۴-۴- روش اصلاح شده بلاند و
۲۵۴	 فورج	۴-۵- روش
۲۵۶	 نورد	۴-۶- تحلیل اجزاء محدود فرایند
۲۵۸		۴-۷- روش لارک ی
۲۵۹		۴-۷-۱- محاسبه گشتاور باروش لارک ی
۲۶۰	 ی	۴-۸- تحلیل تنش- کرنش الاستو- پلاستیک افزایش
۲۶۳	 سرد	۴-۹- نرخ کرنش در نورد
۲۶۵	 نورد	۴-۱۰- خصوصیات ورق در طول

۲۶۵.....	۱۱-۴- تخت شدگی غلتک های کاری
۲۶۸.....	۱۲-۴- رابطه هیچکاک برای طول قوس تماس غلتک تخت شده
۲۸۳.....	۱۳-۴- فرضیات به کار رفته در ادامه ارائه مدل های نورد
۲۸۴.....	۱۴-۴- توزیع فشار در طول قوس تماس (مدل وان کارمن)
۲۸۸.....	۱۵-۴- حل اسمیت و سلیکو (smit and Tselikov) برای معادله وان کارمن
۳۰۰.....	۱۶-۴- حل Nadai برای معادله وان کارمن
۳۰۶.....	۱۷-۴- تئوری orowan (اروان)
۳۱۴.....	۱۸-۴- تئوری تقریبی Ford و Bland
۳۲۱.....	۱۹-۴- تحلیل Jortner
۳۲۷.....	۲۰-۴- مدل پیچیده تر بر اساس آنالیز جورتنز
۳۳۶.....	۲۱-۴- چندین روش محاسبه نیروی نورد ویژه
۳۴۴.....	۲۲-۴- یک مدل ساده با فرض فشار یکنواخت در امتداد قوس تماس
۳۵۱.....	۲۳-۴- مدل نورد سرد در حالت روانکاری پلاستو هیدرو دینامیک
۳۶۳.....	۲۴-۴- ورق به صورت جرم ویسکوز در حالت حرکت در نظر گرفته شود
۳۷۶.....	۲۵-۴- محاسبه توان نورد به روش بازوی امرم
۳۸۱.....	۲۶-۴- محاسبه گشتاور با استفاده از تنش های اصطکک در مارال قوس تماس
۳۸۳.....	۲۷-۴- حل بلاند و فورد
۳۸۹.....	۲۸-۴- حل هیل
۳۹۳.....	۲۹-۴- روش حل ترسیمی سیمز
۳۹۵.....	۳۰-۴- تعیین گشتاور با حل مجدد نیروها بر روی ورق
۳۹۸.....	۳۱-۴- محاسبه گشتاور بر روش توازن انرژی فرایند نورد
۴۰۱.....	۳۲-۴- محاسبه گشتاور با استفاده از تئوری صفحه برشی
۴۰۳.....	۳۳-۴- گشتاور برای قطعه کار ویسکوز

- ۴۰۵..... گشتاور نورد تمپر ۳۴-۴
- ۴۱۳..... راندها مان فرایند نورد ۳۵-۴
- ۴۱۶..... لغزش جلویی ورق ۳۶-۴
- ۴۲۲..... محاسبه توان مورد نیاز قفسه‌های نورد ۳۷-۴
- ۴۲۴..... انتخاب موتور برای قفسه نورد ۱-۳۷-۴

www.ketab.ir

مقدمه

صنعت فولاد یک صنعت زیربنایی است که بدون فولاد چرخ هیچ صنعتی به گردش در نخواهد آمد. امروزه از فولاد ضخیم‌ترین قطعه‌ها مثل پل‌ها، ماشین‌های کارخانجات، لوازم خانگی و حتی ظریف‌ترین قطعات مثل عقربه‌های ساعت همگی از فولاد ساخته می‌شوند. پس از اینکه سنگ‌مان آهن از معادن آهن به کارخانجات فولاد حمل شد و با آهن قراضه و مواد افزودنی دیگر توسط نیروی برق فشار قوی و گاز در کوره‌ها ذوب شده و پس از آن به قسمت ریخته‌گری حمل شده و بر قالب‌های ریخته‌گری شده و در ضخامت و عرض‌های مختلف به صورت تختال در می‌آید. این تختال‌ها به انبار شمش فرستاده شده و پس از اصلاح و جهت عملیات بعدی به نورد گرم فرستاده می‌شود.

پس از این مرحله، تختال در ادامه عملیات به نورد سرد و پس از تبدیل آن به ورق با ضخامت‌های مختلف به واحد نورد گرم فرستاده می‌شود و پس از ورود به نورد گرم ابتدا در کوره‌های پیش گرم تختال را در حدود ۷۵۰ الی ۸۰۰ درجه حرارت رانده و سپس به وسیله غلتک‌های رفت و برگشتی توسط فشار زیاد نورد شده و این عملیات ادامه پیدا می‌کند تا ورق به ضخامت مطلوب برسد. ورق پس از اینکه از زیر غلتک‌های مختلف عبور پیدا کرد و کاهش ضخامت دید، در نهایت به صورت کلاف پیچ در آمده و به قسمت نورد سرد فرستاده می‌شود.