بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی مکانیک

مطالعهٔ تجربی و عددی پارامترهای نورد

دانشجو:

محمد هنرپیشه

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید

استاد راهنما:

دکتر محمد صدیقی

آبان ۱۳۸۵

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

چکیده

بررسی تجربی و عددی پارامترهای مختلف نورد هدف تعریف این پروژه می‌باشد. نتایج تجربی با استفاده از نتایج تجربی برگرفته از مقالات معتبر و یا آزمایشات انجام گرفته بر روی دستگاه نورد ساخته شده در دانشگاه علم و صنعت استخراج شده است. نتایج عددی جهت اعتبار بخشی نتایج تجربی نیز با شبیه‌سازی فرآیند نورد در نرم‌افزار *ABAQUS* بدست آمده است.

در بخش اول کار اثر کاهش ضخامتهای کم بر نیروی نورد مورد بررسی قرار گرفته است (کاهش ضخامتهای کم و اثرات آن بر نیروی نورد از روابط تئوری پیروی نمی‌کند). در بخش دیگری از پروژه نیز اثر ضخامت اولیهٔ ورق و سرعت نورد بر نیروی نورد بررسی شده است. در قسمتی از پروژه اثر صافی سطح بر پارامتر لغزش روبه‌جلو، ضریب اصطکاک و نهایتاً نیروی نورد بصورت تجربی و عددی بررسی شده است. در خلال این مرحله از پروژه روشی بمنظور بدست آوردن مقدار ثابتی از ضریب اصطکاک بمنظور اعمال به نرم‌افزار ارائه شده است. در این روش با ایجاد یک سیکل بسته و با داشتن پارامتر لغزش روبه‌جلو مقدار نهایی ضریب اصطکاک بدست می‌آید.

در بخش پایانی پروژه نیز پدیدهٔ شمشیری شدن ورق مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع این پدیده در زمرهٔ عیوب نورد قرار می‌گیرد. یکی از دلایل پیدایش این عیب ناهمسانی فاصلهٔ دو غلتک در دوانتهای آن می‌باشد. در این پروژه اثر ناهمسانی فاصله دو غلتک بصورت تجربی به انجام رسیده و سعی شده است تا با مدل کردن شرایط این عیب بصورت عددی نیز مشاهده گردد. همچنین روشی بمنظور یافتن انحناء نهایی ورق ارایه گردیده است.

بعد از این قسمت و اعتبار بخشی نتایج توسط نرم‌افزار، اثر پارامترهای زاویهٔ انحراف غلتک فوقانی، کاهش ضخامت و شعاع غلتک بر انحناء ورق بصورت عدی بدست آمده است. در پایان نیز با تعریف پارامتری از ترکیب پارامترهای سه‌گانهٔ فوق، اثر این پارامتر بر انحناء ورق ارزیابی شده است.

فهرست مطالب

فصل۱ مقدمه ۱

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۱. پارامترهای مورد بحث در این پروژه ۳

۲-۲-۱. درصد کاهش ضخامتهای کم و اثرات آن بر نیروی نورد ۴

۲-۲-۱. اثرات صافی سطح غلتک ۴

۲-۲-۱. بررسی پدیدهٔ شمشیری شدن ۵

فصل۲ اصول کلی نورد و پارامترهای تاثیرگذار بر آن ۶

۲-۱. مقدمه ۷

۲-۲. تقسیم‌بندی فرآیند نورد از نظر نوع ماده ۸

۲-۲-۱. نورد گرم ۸

۲-۲-۲. نورد سرد ۸

۲-۳. تقسیم‌بندی نورد از نظر سینماتیکی ۹

۲-۴. تعاریف و فرضیات ۹

۲-۵. تعیین نیروی لازم برای نورد ۱۱

۲-۵-۱. مقدمه ۱۱

۲-۵-۲. فشار عمودی غلتک ۱۴

۲-۵-۳. نیروی نورد ۱۷

۲-۵-۴. تعیین نیرو به روش اکلاند برای نورد سرد ۱۸

۲-۵-۵. روش سیمز ۱۸

۲-۵-۶. گشتاور غلتک ۱۹

۲-۶. تعیین ضریب اصطکاک ۲۰

۲-۷. صفحهٔ خنثی، شرط نورد پیوسته ۲۱

۱-۸. تخت شدن غلتک ۲۲

۲-۹. بررسی دیگر پارامترهای نورد ۲۳

۲-۹-۱. شرط کشیده شدن قطعه به دهانهٔ بین دو غلتک ۲۳
۲-۹-۲. حداکثر کاهش ضخامت ممکن در هر دفعه عبور..... ۲۴
۲-۹-۳. اثر قطر غلتک..... ۲۶
۲-۹-۴. افزایش پهنای ورق ۲۶
۲-۹-۵. تغییر فرم الاستیک غلتکهای نورد ۲۶
۲-۹-۶. روانکاری در عملیات نورد ۲۷
۲-۱۰. عیوب نورد..... ۲۹

فصل۳ بررسی مقالات انجام شده در زمینهٔ پارامترهای نورد ۳۳
۳-۱. اثر روانکار بر پارامترهای نورد ۳۴
۳-۲. مقولهٔ اصطکاک در زمینهٔ ۳۸
۳-۲-۱. مقدمه ۳۸
۳-۲-۲. روشهای تجربی اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ۳۸
۳-۳. اثر صافی سطح بر پارامترهای نورد ۴۴
۳-۴. شمشیری شدن ورق..... ۵۲

فصل۴ پروسهٔ شبیه‌سازی فرآیند نورد ۵۴
۴-۱. مقدمه ۵۵
۴-۲. انواع نرم‌افزار شبیه‌سازی موجود..... ۵۶
۴-۲-۱. بررسی نرم‌افزار *superforge*..... ۵۷
۴-۲-۲. نحوهٔ مدل کردن فرآیند نورد در محیط آباکوس ۵۹

فصل۵ مشخصات کلی دستگاه نورد، مادهٔ مورد نظر و آزمایشات ۶۲
۵-۱. مقدمه ۶۳
۵-۲. مشخصات دستگاه نورد مورد استفاده ۶۳
۵-۳. انتخاب مادهٔ مورد آزمایش..... ۶۵
۵-۴. روشهای بدست آوردن ضریب اصطکاک بمنظور اعمال به نرم‌افزار ۶۷
۵-۵. تشریح کلی آزمایشهای مورد نظر..... ۷۱

فصل۶ بحث پیرامون نتایج تجربی و عددی پارامترهای نورد ۷۳
۶-۱. مقدمه ۷۴
۶-۲. بررسی اثرات درصد کاهش ضخامتهای کم بر نیروی نورد..... ۷۵

۶-۲-۱. نحوهٔ انجام آزمایشات ۷۵
۶-۲-۲. پروسهٔ شبیه‌سازی فرآیند ۷۶
۶-۲-۳. محاسبهٔ مقدار ضریب اصطکاک بمنظور اعمال به نرم‌افزار ۷۶
۶-۲-۴. نتایج شبیه‌سازی ۷۷
۶-۳. بررسی اثرات ضخامت اولیهٔ ورق بر نیروی نورد ۷۹
۶-۴. بررسی اثرات صافی سطح بر نیروی نورد ۸۰
۶-۴-۱. مشخصات ماده و دستگاه نورد ۸۱
۶-۴-۲. پروسهٔ شبیه‌سازی فرآیند ۸۲
۶-۴-۳. نحوهٔ اعمال ضریب اصطکاک به نرم‌افزار ۸۲
۶-۴-۴. نتایج شبیه‌سازی ۸۳
۶-۵. مطالعهٔ اثرات سرعت نورد بر نیروی نورد ۸۶
۶-۵-۱. مشخصات و نحوهٔ انجام آزمایشات ۸۷
۶-۵-۲. شبیه‌سازی فرآیند و نتایج ۸۷
۶-۶. بررسی اثر ترکیبی پارامتر کاهش ضخامت و سرعت دورانی غلتک ۸۸
۶-۷. بررسی پدیدهٔ شمشیری شدن ۹۰
۶-۷-۱. اثر ناهمسانی فاصلهٔ دو غلتک بر پدیدهٔ شمشیری شدن ۹۱
۶-۷-۲. تشریح آزمایشهای مورد نظر ۹۱
۶-۷-۳. بدست آوردن تغییرات ضریب اصطکاک در راستای پهنای ورق ۹۲
۶-۷-۴. پروسهٔ شبیه‌سازی فرآیند ۹۴
۶-۷-۵. نحوهٔ یافتن انحناء خروجی ورق ۹۵
۶-۷-۶. نتایج ۹۸
۶-۷-۷. بررسی اثرات پارامترهای مختلف بر انحناء خروجی ورق ۱۰۰
۶-۷-۷-۱. اثر زاویهٔ انحراف غلتک بر انحناء خروجی ورق ۱۰۱
۶-۷-۷-۲. اثر شعاع غلتک بر انحناء خروجی ورق ۱۰۲
۶-۷-۷-۳. اثر کاهش ضخامت بر انحناء خروجی ورق ۱۰۳
۶-۷-۸. اثر ترکیبی پارامترهای زاویهٔ انحراف، شعاع غلتک و کاهش ضخامت بر انحناء ورق.... ۱۰۴

فصل۷ جمع‌بندی و پیشنهادات **۱۰۷**

۷-۱. جمع‌بندی ۱۰۸
۷-۱. پیشنهادات ۱۱۰

فهرست اشکال

فصل۱ مقدمه ۱

فصل۲ اصول کلی نورد و پارامترهای تاثیرگذار بر آن ۶

شکل۲-۱. تنشهای اعمالی تغییر شکل همگن در کمان تماس(نورد ورق) ۱۲
شکل۲-۲. مدل تغییر شکل همگن بلاند و فورد ۱۵
شکل۲-۳. نمودار توزیع فشار برای چند ضریب اصطکاک متفاوت ۱۷
شکل۲-۴. ضرایب لارک و زیمر ۱۹
شکل۲-۵. نیروهای وارد بر قطعه هنگام تماس قطعه با غلتکها هنگام ورود به دهانهٔ بین دو غلتک ۲٤
شکل۲-۶. پیامدهای ممکن در نورد ورق با غلتکهای با انحناء کمتر از مقدار لازم ۳۱
شکل۲-۷. پیامدهای ممکن در نورد ورق با غلتکهای با انحناء بیشتر از مقدار لازم ۳۲

فصل۳ بررسی مقالات انجام شده در زمینهٔ پارامترهای نورد ۳۳

شکل۳-۱. تغییرات نیرو بر حسب کاهش ضخامت برای روانکارهای مختلف ۳۵
شکل۳-۲. تغییرات گشتاور بر حسب کاهش ضخامت برای روانکارهای مختلف ۳۵
شکل۳-۳. تاثیرات مواد و ترکیبات وزنی مختلف بر نیروی نورد ۳٦
شکل۳-۴. تاثیرات مواد و ترکیبات وزنی مختلف بر گشتاور نورد ۳۷
شکل۳-۵. تاثیرات مواد و ترکیبات وزنی مختلف بر ضریب اصطکاک ۳۷
شکل۳-۶. شماتیکی از غلتک مورد استفاده برای تعیین ضریب اصطکاک ۳۹
شکل۳-۷. تغییرات ضریب اصطکاک در طول تماس غلتک و ورق ٤۰
شکل۳-۸. تغییرات ضریب اصطکاک در طول تماس در حالت استفاده از روانکار ٤۰
شکل۳-۹. تغییرات ضریب اصطکاک در طول تماس در حالت بدون روانکار ٤۱
شکل۳-۱۰. تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب درصد کاهش ضخامت ٤۲
شکل۳-۱۱. تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب درصد کاهش ضخامت ٤۳
شکل۳-۱۲. اثر سرعت نورد بر ضریب اصطکاک ٤۳
شکل۳-۱۳. اثر سرعت نورد بر ضریب اصطکاک ٤٤
شکل۳-۱۴. تاثیر صافی سطح غلتک بر نیروی نورد ٤۵
شکل۳-۱۵. تاثیر صافی سطح غلتک بر گشتاور نورد ٤۵
شکل۳-۱۶. تاثیر صافی سطح غلتک بر نیروی نورد ٤٦
شکل۳-۱۷. اثرات سرعت نورد بر نیروی نورد در صافیهای سطح مختلف ٤٦
شکل۳-۱۸. اثرات سرعت نورد بر گشتاور نورد در صافیهای سطح مختلف ٤۷

شکل۳-۱۹. اثرات ویسکوزیته بر نیروی نورد در سرعت و صافی سطح مختلف ٤٨
شکل۳-۲۰. اثر صافی سطح بر نیروی نورد در هنگام استفاده از مواد مختلف ٤٨
شکل۳-۲۱. اثر صافی سطح غلتک بر صافی سطح ورق ٤٩
شکل۳-۲۲. تاثیر صافی سطح بر ضریب اصطکاک ٤٩
شکل۳-۲۳. تاثیر صافی سطح بر ضریب اصطکاک ٥٠
شکل۳-۲۴. تغییرات صافی سطح ورق در امتداد نورد هم راستا ٥١
شکل۳-۲۵. تغییرات صافی سطح ورق در روش نورد معکوس ٥١
شکل۳-۲۶. اثر صافی سطح روی مقدار لغزش روبه‌جلو ٥٢

فصل۴ پروسهٔ شبیه‌سازی فرآیند نورد **۵۴**

شکل۴-۱. نمونه‌ای از تحلیل نورد در محیط *LS-DYNA* ٥٦
شکل۴-۲. نمایی از شبیه‌سازی نورد در محیط *superforge* ٥٨
شکل۴-۳. پارامترهای مورد نظر بمنظور مدل کردن مونتاژ قطعه در نرم‌افزار *ABAQUS* ٦٠

فصل۵ مشخصات کلی دستگاه نورد، مادهٔ مورد آزمایش و آزمایشات **۶۲**

شکل۵-۱. نمایی از دستگاه نورد ساخته شده در دانشگاه علم‌وصنعت ٦٤
شکل۵-۲. نمودار تنش-کرنش حقیقی نمونهٔ تحت کشش تک محوره ٦٧
شکل۵-۳. نحوهٔ اعمال ضریب اصطکاک به نرم‌افزار ٧٠

فصل۶ بحث پیرامون نتایج تجربی و عددی پارامترهای نورد **۷۳**

شکل۶-۱. مقادیر ضریب اصطکاک وابسته به لغزش روبه‌جلو ٧٧
شکل۶-۲.اثرات درصد کاهش ضخامت بر نیروی نورد آلومینیوم ۱۰۵۰ ..... ٧٨
شکل۶-۳. مقدار تنش فون میزز قطعه در درصد کاهش ضخامت *7.2%* ٧٩
شکل۶-۴. اثرات ضخامت اولیهٔ ورق بر نیروی نورد آلومینیوم کار سخت شده در باردهی *0.18mm* ٨٠
شکل۶-۵. نمودار بدست آمده از لغزش روبه‌جلو بر حسب صافی سطح در سرعت ثابت *0.32m/s* ٨٣
شکل۶-۶. تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب صافی سطح برای مقادیر اولیهٔ ضریب اصطکاک در سرعت *0.32m/s* ... ٨٤
شکل۶-۷. مقدار نهایی ضریب اصطکاک بدست آمده از شبیه‌سازی بر حسب صافی سطح در سرعت *0.32m/s* ٨٤
شکل۶-۸. تغییرات نیروی نورد بر حسب صافی سطح برای مقادیر تجربی و عددی در سرعت *0.32m/s* ٨٥
شکل۶-۹.شبیه‌سازی نورد در صافی سطح $1.31\mu m$ و سرعت *0.32m/s* ٨٦
شکل۶-۱۰. مقایسهٔ نتایج تجربی و عددی اثرات سرعت بر نیروی نورد ٨٨
شکل۶-۱۱. اثر پارامتر ترکیبی $\Delta h^3/\sqrt[4]{n}$ بر نیروی نورد ٨٩
شکل۶-۱۲. قطعهٔ مورد آزمایش بعد از نورد ٩٢
شکل۶-۱۳. پروفیل تغییرات لغزش روبه‌جلو در راستای پهنای ورق ٩٣
شکل۶-۱۴. پروفیل تغییرات ضریب اصطکاک در راستای پهنای ورق ٩٤

شکل۶-۱۵. دیاگرام تنشهای اصطکاکی حداکثر و حداقل در سطح قطعه ۹٤
شکل۶-۱۶. پارامترهای مورد نیاز جهت بدست آوردن انحناء خروجی ورق ۹۵
شکل۶-۱۷. پارامترهای مورد نیاز جهت یافتن رابطهٔ مناسب برای یافتن شعاع انحناء ۹٦
شکل۶-۱۸. خطای عدم تشخیص مقدار مناسب L ۹۷
شکل۶-۱۹. نمایی از تغییرات کرنش در نقاط مختلف قطعه در راستای پهنای ورق ۹۹
شکل۶-۲۰. نمودار لگاریتمی پارامترهای متغیر در سطح ورق در راستای پهنای ورق ۱۰۰
شکل۶-۲۱. اثرات زاویهٔ انحراف غلتک فوقانی بر انحناء ورق ۱۰۲
شکل۶-۲۲. اثرات شعاع غلتک بر انحناء ورق در زاویهٔ انحراف ثابت 0.2^0 و کاهش ضخامت $0.6mm$ ۱۰۳
شکل۶-۲۳. اثر کاهش ضخامت ورق بر انحناء ورق در زاویهٔ انحراف 0.2^0 و کاهش ضخامت $0.6mm$ ۱۰٤
شکل۶-۲۴. اثرات ترکیبی زاویهٔ انحراف، کاهش ضخامت و شعاع غلتک بر انحناء ورق ۱۰۵

فصل۷ جمع‌بندی و پیشنهادات **۱۰۷**

فهرست جداول

فصل۱ مقدمه ۱

فصل۲ اصول کلی نورد و پارامترهای تاثیرگذار بر آن ۶

فصل۳ بررسی مقالات انجام شده در زمینهٔ پارامترهای نورد ۳۳

فصل۴ پروسهٔ شبیه‌سازی فرآیند نورد ۵۴

فصل۵ مشخصات کلی دستگاه نورد، مادهٔ مورد آزمایش و آزمایشات ۶۲

جدول۵-۱. عناصر موجود در آلیاژ ۱۰۵۰ ..... ۶۵

جدول۵-۲. خواص مکانیکی در آلیاژ ۱۰۵۰ ..... ۶۶

فصل۶ بحث پیرامون نتایج تجربی و عددی پارامترهای نورد ۷۳

جدول۶-۱. نیروی بدست آمده در هر درصد کاهش ضخامت ۷۶

جدول۶-۲. اثرات ضخامت اولیهٔ ورق بر نیروی نورد ۷۹

جدول۶-۳. درصد وزنی عناصر فولاد مورد آزمایش ۸۱

فصل۷ جمع‌بندی و پیشنهادات ۱۰۷

فصل۱

مقدمه

۱-۱. مقدمه

بررسی پارامترهای نورد موضوعی است که در سالیان اخیر به آن پرداخته شده است. هدف از این اقدامات یافتن اثرات متقابل پارامترهای مختلف می‌باشد. پارامترهای نورد را می‌توان بصورت پارامترهای مستقل و وابسته تقسیم‌بندی نمود. پارامترهایی از قبیل شعاع غلتک، درصد کاهش ضخامت، سرعت دورانی غلتک، صافی سطح غلتک، ابعاد اولیهٔ ورق و توان دستگاه نورد در زمرهٔ پارامترهای مستقل تقسیم‌بندی می‌شوند. همچنین پارامترهای نیروی نورد، گشتاور نورد، ضریب اصطکاک و درصد لغزش روبه‌جلو از جمله پارامترهای وابسته می‌باشند. در اکثر تحقیقات علاوه بر بررسی پارامترهای نورد، سعی شده است تا این پارامترها بگونه‌ای به نیروی نورد ارتباط پیدا کند. در اصل می‌توان از پارامتر نیروی نورد یا نیروی جدایش غلتکها به عنوان اصلی‌ترین پارامتر نورد یاد کرد.

همچنین با توجه به توسعهٔ نرم‌افزارهای مختلف در زمینهٔ شبیه‌سازی، استفاده از این امکان می‌تواند در تسریع عملیات کمک کند. علاوه بر تسریع عملیات، عمده‌ترین وظیفهٔ نرم‌افزار بوجود آوردن شرایطی است که در واقعیت و در آزمایشات امکان دستیابی به آن به دلایل متعدد موجود نباشد. روند کار با نرم‌افزار و چگونگی بکارگیری آن موضوعی است که توسط فرد استفاده کننده تبیین می‌گردد. بدین معنی که چگونه و در کدام بخش از پروژه، نرم‌افزار می‌تواند تواناییهای خود را بیش از پیش نمایان سازد. بنابراین استفاده از این ابزار که در سالیان اخیر استفاده از آن افزایش چشمگیری داشته است، می‌تواند در شبیه‌سازی پارامترهای نورد کمک‌رسان باشد.

همچنین شناسایی و مشاهدهٔ عیوب نورد می‌تواند در رفع آن نیز کمک کند. در واقع جهت رفع یک عیب ابتدا باید دلیل پیدایش آن سپس پارامترهای تاثیرگذار بر آن بررسی گردد. یکی از این عیوب که کمتر به آن پرداخته شده است، پدیدهٔ شمشیری شدن ورق می‌باشد. در این پدیده ورق به سمت چپ، راست و یا هر دو طرف منحرف می‌شود.

با این مقدمه که در مورد پارامترهای نورد، شبیه‌سازی و چگونگی کاربرد آن و پدیدهٔ شمشیری شدن ورق بیان شد، پارامترهای مورد بحث در این پروژه به اختصار توضیح داده می‌شود.

۱-۲. پارامترهای مورد بحث در این پروژه

در این پروژه مقایسهٔ بین نتایج تجربی و عددی پارامترهای نورد در دسنور کار قرار گرفته است. قبل از هرچیز بهتر تا پارامترهای مورد بحث در این پروژه ذکر شود. پارامترهایی که در این پروژه به آن اشاره شده است عبارتند از:

درصد کاهش ضخامتهای کم و تاثیرات آن بر نیروی نورد، صافی سطح غلتک و رابطهٔ آن با نیروی نورد، اثرات سرعت دورانی غلتک بر ضریب اصطکاک و نیروی نورد، بررسی اثر ضخامت اولیهٔ ورق بر نیروی نورد و در پایان مطالعهٔ پدیده‌ای به نام شمشیری شدن ورق. ضمن آنکه در این پروژه روشی بمنظور بدست آوردن مقدار ثابتی ضریب اصطکاک برای اعمال به نرم‌افزار ارائه شده است. در این روش با مقدار اولیهٔ لغزش روبه‌جلو و دیگر شرایط اولیهٔ مساله مقدار ضریب اصطکاک بدست آمده و با قرار دادن آن در یک سیکل بسته، مقدار نهایی ضریب اصطکاک بدست می‌آید. در این فصل در مورد بعضی از موارد مطروحه در بالا توضیح مختصری داده می‌شود تا کلیاتی از این پروژه در اختیار مخاطبین قرار گیرد.

۱-۲-۱. درصد کاهش ضخامتهای کم و اثرات آن بر نیروی نورد

بر اساس نظریهٔ بلند و فورد و بمنظور بدست آوردن روابط تئوری برای یافتن نیروی نورد فرضیاتی بمنظور ساده‌سازی مساله مطرح شده است. یکی از این ساده‌سازیها صرفنظر کردن از سهم کمان الاستیک در برابر تغییر شکل پلاستیک قطعه می‌باشد. بر اساس این نظریه تغییر شکل بصورت تمام پلاستیک انجام می‌شود. این فرضیه با خطایی حداکثر برابر ۳٪ نتایج مناسبی را ارائه می‌دهد. اما هنگامی که نورد و شکل دادن قطعات سخت و یا نورد با درصد کاهش ضخامت کم مورد نظر باشد، این نظریه دچار خطای زیادی می‌شود. در واقع نمی‌توان از تغییر شکل الاستیک قطعه در برابر تغییر شکل پلاستیک صرفنظر نمود.

در این بخش اثرات درصد کاهش ضخامتهای کم و اثرات آن بر نیروی نورد با ترتیب دادن آزمایشهای مورد نظر بررسی شده است.

۱-۲-۲. اثرات صافی سطح غلتک

یکی از پارامترهای اثرگذار بر نیروی نورد، صافی سطح غلتک می‌باشد. این پارامتر در ابتدا اثر خود را بر ضریب اصطکاک نشان می‌دهد. در این پروژه اثرات صافی سطح بر لغزش روبه‌جلو، ضریب اصطکاک و نیروی نورد بررسی شده است. ضمن اینکه نحوهٔ اعمال ضریب اصطکاک به نرم-افزار با استفاده از یک سیکل بسته به انجام رسیده است. در این روش با داشتن مقدار لغزش روبه‌جلو که از آزمایشات بدست می‌آید، مقدار اولیهٔ ضریب اصطکاک حدس زده می‌شود. با این مقدار شبیه-سازی آغاز می‌شود و بوسیلهٔ آن نیروی نورد از نرم‌افزار خوانده می‌شود. با داشتن نیروی نورد، شعاع تغییر یافتهٔ غلتک محاسبه می‌شود. مجدداً ضریب اصطکاک محاسبه و سیکل فوق طی می‌شود. این

عملیات تا زمانیکه مقادیر نهایی ضریب اصطکاک برابر شدند ادامه می‌یابد.

هدف از ارائهٔ این قسمت علاوه بر بررسی اثرات صافی سطح، بکار بردن روشی برای یافتن یک مقدار ثابت ضریب اصطکاک برای اعمال آن به نرم‌افزار می‌باشد. در واقع یکی از پارامترهای دردسرساز در مقولهٔ نورد، ضریب اصطکاک می‌باشد که در صورت عدم توجه به آن سبب پیدایش خطاهای زیادی در نتایج می‌شود.

۱-۲-۳. بررسی پدیدهٔ شمشیری شدن ورق

این قسمت اصلی‌ترین بخش این پروژه می‌باشد که در آن به یکی از مشکلات و عیوب نورد پرداخته شده است. مشاهدهٔ عیوب نورد و مطالعهٔ پارامترهای موثر در آن در این قسمت انجام شده است. این عیب که سبب انحراف قطعه به کناره‌ها می‌شود، شمشیری شدن ورق نامگذاری شده است. این پدیده با ترتیب دادن آزمایشات مناسب به انجام رسیده است. سپس سعی شده است تا با بوجود آوردن شرایط این عیب در نرم‌افزار نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. سپس با ارائهٔ روشی مقدار انحناء خروجی ورق اندازه‌گیری می‌گردد. با مقایسهٔ این مقادیر اعتبار نتایج حاصله از نرم‌افزار تایید می‌شود. در ادامهٔ کار نیز پارامترهای زاویهٔ انحراف غلتک، شعاع غلتک و کاهش ضخامت و اثرات آن بر انحناء ورق ارزیابی می‌شود. در پایان نیز با تعریف پارامتری ترکیبی از پارامترهای فوق‌الذکر، اثر این پارامتر بر انحناء ورق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل۲

اصول کلی نورد و پارامترهای تاثیرگذار بر آن

۲-۱. مقدمه

بر اساس استاندارد *DIN 8583* و تقسیم‌بندی بر اساس سینماتیک، هندسهٔ ابزار و هندسهٔ قطعه فرآیند نورد در بخش شکل‌دهی فشاری قرار می‌گیرد. فرآیند نورد می‌تواند به صورت پیوسته و منقطع و توسط یک یا چند غلتک نورد انجام پذیرد. البته علاوه بر غلتکهای نورد وسائل کمکی دیگری مانند بلوکهای راهنما، میله های راهنما[1]و.... انجام شود. نیروی انتقالی مورد نیاز برای انجام فرآیند می‌تواند توسط چرخش غلتکها و یا جابجایی قطعه تامین گردد. نورد یکی از فرآیندهای شکل‌دهی است که عموماً برای کاهش سطح مقطع شمش اولیه و کسب مقاطعی با شکل مورد نظر بکار می‌رود. با نزدیک شدن شمش به غلتکها دو غلتک در جهت مخالف به حرکت چرخشی در آورده می شوند. در همین حال فاصلهٔ دو غلتک، متناسب با ضخامت شمش آن را چنگ زده و از بین دهانهٔ دو غلتک به طور مستقیم عبور دهند. فاصلهٔ این دو غلتک در حین یک مرحلهٔ عبور برای یک تغییر شکل معین ثابت نگه داشته می‌شود. در حین نورد در هر واحد زمان، حجم یا بخش کوچکی از شمش با فشار وارد از طرف غلتکها بر آن تغییر شکل می یابد. هر حجم کوچکی از شمش با فشار وارد از طرف غلتکها بر آن تغییر شکل می یابد.

1.mandrel

۲-۲. تقسیم‌بندی فرآیند نورد از نظر نوع ماده

غالبا بر طبق یک تقسیم بندی کلی و بر اساس درجهٔ حرارت کاری ماده فرآیند نورد به دو صورت گرم و سرد قابل تقسیم می باشد.[۱].

۲-۲-۱. نورد گرم

نورد گرم یکی از روشهای عمدهٔ نورد با قابلیت زیاد کاهش سطح مقطع است که کاربرد وسیعی برای تولیدات نیمه تمام و تمام (مانند شمشهای اولیه، شمشالها، میله‌ها و مفتولها) دارد. در این روش ساختار حاصل از ریخته‌گری که معمولا ساختار ناهمگنی دارد، درهم ریخته و از بین می‌رود و ساختار همگن‌تر با اندازهٔ دانه‌های ریزتری به دست می‌آید که منجر به بهبود خواص فلز ریخته‌گری شده از جمله استحکام و تافنس آن خواهد بود.

در نورد گرم فعل و انفعالات متالورژیکی که در منطقهٔ تغییر شکل رخ می‌دهد به دما، کرنش و آهنگ کرنش بستگی دارد و تاثیر عمده‌ای بر خواص مکانیکی محصول نهایی دارد. در نورد گرم به دلیل بالا بودن دما و در نتیجه پایین بودن تنش سیلان می‌توان شمشها یا تختالهای سنگین را با عبورهای پیوسته و متوالی از داخل دهانهٔ بین غلتکهای نورد با استفاده از دستگاههای نورد با ظرفیت متوسط، تغییر شکل زیادی داد.

۲-۲-۲. نورد سرد

تولید کنندگان اتومبیل، تجهیزات خانگی از قبیل یخچال، اجاق گاز و ماشین ظرفشویی و دستگاههای الکتریکی از قبیل ترانسفورماتورها، مخازن، تجهیزات ساختمانی و صنایع بسته‌بندی از مصرف کنندگان عمدهٔ ورقهای نازک، از حدود کمتر از ۰/۱ تا حدود mm ۵ ضخامت هستند. این متقاضیان ورق، توقعات ویژه‌ای در رابطه با دقت ابعادی، صافی سطح و خواص مکانیکی معین

متناسب با کاربرد محصول دارند. برآوردن هریک از این خواسته‌ها و یا تمامی آنها توام باهم از طریق تولید ورق گرم امکان‌پذیر نیست. بنابراین به دلایل اقتصادی با صرفه‌تر است که ورقها تا حداقل ضخامت ممکن (حدود ۱/۵ میلیمتر) از طریق نورد گرم تولید شوند. سپس برای تولید ورقها یا نوار و تسمه‌های با ضخامت کمتر، بعد از عملیات اسید شویی، تغییر شکل و کاهش ضخامت از فرآیند نورد سرد استفاده می شود. در موارد کاربردی خاص پس از نورد عملیات حرارتی لازم و در صورت نیاز نورد سطحی برای دستیابی به خواص مورد نظر بر روی ورق انجام می‌گیرد و سپس برای تغییر شکلهای بعدی به متقاضیان عرضه می‌شود.

۲-۳. تقسیم‌بندی نورد از نظر سینماتیکی

بر اساس سینماتیک انجام فرآیند، نورد به سه نوع نورد طولی، عرضی و مایل[1] تقسیم بندی می‌شود.[۲].

در نورد طولی قطعهٔ کار بدون آنکه حول محور خود دوران داشته باشد، عمود بر محور غلتکها از بین فضای دو غلتک عبور می‌کند. در نورد عرضی قطعهٔ کار تنها حرکت چرخشی حول محور خود و بدون حرکت انتقالی انجام می‌دهد. و نورد مایل بدین صورت است که ترکیب هر دو نوع حالت طولی و عرضی را دارا می‌باشد.

۲-۴. تعاریف و فرضیات

در حین پروسهٔ نورد، غلتکها به بعضی از قسمتهای قطعه تنشی از نوع فشاری اعمال می‌کند که در نتیجه باعث جریان پلاستیک در قطعه می‌شود. در ازاء حرکت قطعه از فضای دو غلتک کاهش

1. Skewed Rolling