مروری بر تأثیر خواص مکانیکی غلات و غلتک‌ها بر یکدیگر

به قلم مهندس رسول ساداتی
مدیرعامل شرکت
صنایع غلتک شرق(اریکو)

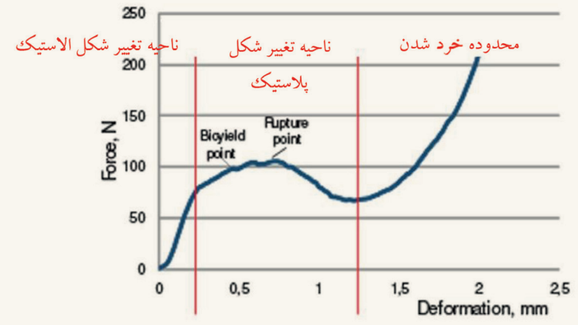
وقتی در اوایل دهه ۱۸۶۰ میلادی آسیاب های غلتکی به جای آسیاب های سنگی در اروپا معرفی شدند، مزایای آنها در خصوص استحصال آرد گندم و یا سایر غلات بیشتر مورد توجه قرار گرفته بود. تا اینکه در اوایل قرن بیستم محققین پی به اهمیت خصوصیات مکانیکی غلتک‌ها و تاثیر آنها بر فرآیند آسیابانی بردند و از آن زمان تا کنون تحقیقات بسیاری در زمینه بهبود و ارتقای فرآیند ساخت غلتک‌های آسیاب صورت گرفته است.

درواقع آسیاب غلتکی یک عملیات مکانیکی است که با اعمال نیروهای فشاری، برشی، اصطکاکی غلتشی و ضربه ای به دانه غله انجام می‌پذیرد. اعمال مناسب هر یک از این نیروها به صورت انفرادی یا ترکیبی، بستگی به طراحی دستگاه آسیاب (غلتکی، چکشی، سنگی، ساچمه کروی) دارد.

اعمال این نیروها در زمانی که مقاومت مکانیکی دانه غله به حداکثر می رسد، خرد شدن و از هم گسیختن را در پی خواهد داشت که این گسیختگی باعث شکسته شدن دانه به ابعاد کوچکتر در اندازه‌های مختلف با اشکال گوناگون می‌شود که هر یک از این ذرات دارای وزن و حجم متفاوتی هستند.

فرآیند آسیاب گندم و تبدیل آن به آرد در مقیاس صنعتی مراحل مختلفی دارد که با خرد کردن دانه گندم و پوسته توسط غلتک‌های شیاردار شروع می‌شود و با مراحل نرم کردن مغز دانه توسط غلتک‌های صاف ادامه می یابد. این مراحل شامل تفکیک و دانه‌بندی ذرات است که موضوع این مقاله نیست. در خصوص نم زنی و خواب گندم در سیلوها، به فعال شدن آندوسپرم که منجر به افزایش میزان رطوبت دانه، کاهش سختی و تکمیل اثر برشی غلتک می‌شود نیز می‌توان اشاره نمود که عامل مهمی در کاهش نیروها و انرژی مصرفی حین فرآیند آسیاب است.

به منظور بررسی خصوصیات مکانیکی ابزار آسیابانی (غلتک) ابتدا خصوصیات مکانیکی دانه غله باید مورد بررسی قرار گیرد. خصوصیاتی مانند شکل، ابعاد، حجم، چگالی، سختی گندم، مقاومت به تغییر شکل یا بعبارتی منحنی نیرو به تغییر شکل (D-F) و مدول الاستیسیته که اهم آنها در این مقاله سختی، مقاومت به تغییر شکل و مدول الاستیک هستند که غیر از آزمون سختی سنجی الباقی اطلاعات از منحنی شکل (۱) قابل استخراج است.



شکل ۱. منحنی نیرو - تغیرشکل گندم فلامورا

تنش اصلی که به هر ذره‌ی دانه گندم در حال عبور از بین یک جفت رول اعمال می‌شود، بستگی به شرایط سطح غلتک دارد. بعنوان مثال در رول‌های شیاردار تنش برشی و فشاری به ذرات اعمال می‌گردد ولی در رول‌های صاف عمدتاً تنش فشاری بهمراه نیروی اصطکاک لغزشی (مالشی) که حاصل اختلاف سرعت دورانی رول‌ها است به ذره اعمال می‌شود. برای بررسی و پیش بینی رفتار

دانه بین رول‌ها می بایست گونه‌های مختلف غله را تحت آزمون‌های عملی قرار داد. در این آزمون‌ها غله (که در این مقاله تمرکز بر گندم است) تحت تنش فشاری قرار گرفته تا با گردآوری اطلاعات حاصل از آزمون فشار خصوصیات مکانیکی آن برآورد گردد.

اعمال فشار بر دانه گندم اطلاعاتی تولید خواهد کرد که ترسیم منحنی نیرو به تغییر شکل ممکن می‌شود. از این منحنی می‌توان سه نوع رفتار متفاوت را استخراج، اندازه گیری و تحلیل نمود:

۱- رفتار الاستیک (کشسان) که در این ناحیه تغییر شکل‌ها عمدتاً قابل برگشت هستند.

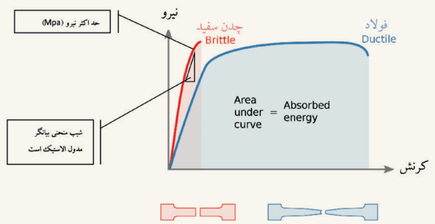
۲- رفتار یا تغییر شکل پلاستیک (مومسان) که در این محدوده تغییر شکل غیر قابل برگشت است.

۳- ناحیه ترک و شکست که محدوده اعمال حداکثر نیرو برای گسستگی است.

در شکل (۱) منحنی تغییر شکل در ازای نیرو مربوط به گندم فلامورا (Flamura) نمایش داده شده است. با بررسی رفتارهای ذره یا در واقع همان محصول مورد نظر برای آسیاب کردن، خصوصیات مکانیکی غلتک ساده‌تر و دقیق‌تر بررسی خواهد شد. نیروهای اعمالی از سوی رول به ذرات با واکنش‌های برگشتی روبه رو خواهند شد که عملکرد غلتک را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از این رو، نیروهای اعمالی به غلتک دو دسته هستند: یک دسته نیروهایی هستند که از سوی عناصر خارج از سیستم به آنها وارد می شوند مانند گشتاور اعمالی از سوی الکتروموتور یا پولی‌ها و یا اصطکاک غلتشی از ناحیه تکیه‌گاه (یاتاقان بلبرینگی یا بوشی). دسته دوم، نیروهایی هستند که توسط خود غلتک تولید می شوند که همان بازخورد تنش‌های اعمالی به محصول حین فرآیند آسیاب است.

بنابراین برای طراحی و تولید یک رول مناسب نه تنها باید به تنش‌های خارجی توجه کرد، بلکه تنش‌های اعمالی از سوی دانه گندم نیز حائز اهمیت هستند. انتخاب جنس و طراحی رول نیز باید متناسب با نیروهایی مانند تنش‌های فشاری، برشی، اصطکاکی و خمشی در جهات مختلف باشد. بنابراین همان گونه که رفتار دانه گندم بررسی می شود، خصوصیات مکانیکی متریال مصرفی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل (۲) منحنی تنش – کرنش حقیقی یک نمونه از آلیاژهای خانواده چدن سفید است که با خط قرمز رنگ مشخص شده است. خط آبی مربوط به یک فلز با قابلیت تغییر شکل مومسانی است که صرفاً برای مقایسه ترسیم شده است. منحنی چدن سفید (خط قرمز) شامل محدوده الاستیک و تغییر شکل پلاستیک بسیار جزئی قبل از شکست می باشد؛ در حالی که در منحنی آبی ناحیه طولانی تحت عنوان کرنش سختی وجود دارد که تفاوت در تغییر شکل پذیری فلز از خانواده فولاد و چدن را نمایش داده است.



شکل ۲. منحنی تنش-کرنش حقیقی چدن سفید در مقایسه با سایر فولادهای کربنی

برای پیدا کردن این خصوصیات یک نمونه دمبلی شکل (Dog-bone) از جنس ماده مورد نظر تهیه شده و طبق استاندارد ASTM-E08 تحت کشش قرار می‌گیرد. اطلاعات خروجی دستگاه تست کشش منحنی مورد نظر را ترسیم می نماید. در تحلیل منحنی مذکور، مدول الاستیسیته که بیان گر نیرو (تنش) مورد نیاز جهت عبور از ناحیه الاستیک یا حداکثر نیرو برای تخریب قطعه لازم است مشخص می گردد. جهت روشن تر شدن مطلب بهتر است به این نکته اشاره شود که هر چه مدول الاستیسیته (مدول یانگ) بیشتر باشد ماده تحت تنش بیشتری خاصیت کشسانی (تغییر شکل برگشت‌پذیر) خود را از دست می دهد و هر چه استحکام ماده در حفظ این شرایط بیشتر باشد مطلوبتر خواهد بود.

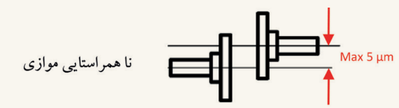
ضمن بررسی رفتار و خصوصیات مکانیکی جنس بدنه رول، پارامترهای دیگری مانند میزان سختی، استحکام، قابلیت ماشین کاری، مقاومت به سایش و خوردگی، ضریب هدایت گرمایی و موارد دیگر بسیار اهمیت دارند. تغییرات در مقدار آلیاژهای مصرفی می توانند هر یک از این قابلیت‌ها را کاهش یا افزایش دهد. به عنوان مثال نیکل و کروم از جمله عناصر مهم هستند که علاوه بر افزایش مقاومت به سایش رول قابلیت ماشین کاری آن را افزایش می‌دهند.

پس از بررسی اجمالی متالورژیکی بخش اصلی رول که همان بدنه یا سیلندراست، شکل هندسی و استقرار اجزاء حائز اهمیت خواهند بود. انتخاب متریال شفتها مجدداً نیاز به آزمون‌های عملی مشابه داشته تا رفتار و خصوصیات مکانیکی آن مورد بررسی قرار گرفته تا نهایتاً مناسب ترین جنس انتخاب گردد. نحوه اتصال شفت‌ها به بدنه اصلی بسته به عملکرد و تنش‌های اعمالی انتخاب می‌شود.

انواع اتصال شفت به بدنه در شکل (۳) نشان داده شده است:

شکل ۳

با توجه به نوع غله و دستگاه آسیاب مورد نیاز عموماً یکی از تیپ‌های فوق جهت طراحی و ساخت غلتک انتخاب شده و توسط نرم افزارهای المان محدود (انسیس یا آباکوس) مورد تحلیل قرار می گیرد. پس از آن در مرحله اجرایی ساخت و ماشین کاری سیلندر و شفتها از جمله نکات مهم جهت دستیابی به تلرانسها و دقت‌های مورد نیاز و هم راستا بودن محور شفتها و بدنه رول است. مطابق تحلیل ها و محاسبات مهندسی انجام شده، اختلاف بین محور حداکثر ۵ میکرون (5 µm) گزارش شده است.

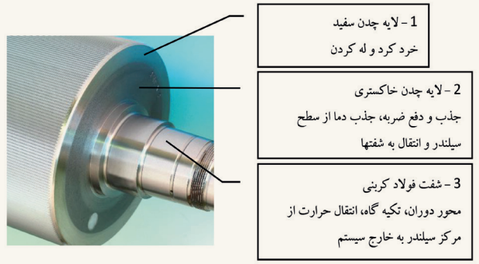


شکل ۴. انواع ناهمراستایی محور شفتهای غلتک

شکل (۴) انواع ناهمراستایی را نشان می دهد. دوران شفتها و سیلندر غلتک که به یکدیگر ثابت شده اند، اگر خارج از این محدوده به یکدیگر متصل شده باشند، باعث افزایش تنش‌های برشی و خمشی خارج از حد مجاز در محل تکیه گاه روی شفتها و داخل سیلندر در محل اتصال شفت به سیلندر می گردد. عدم رعایت این پارامترها در ساخت یا تعمیر غلتک مشکلاتی از قبیل بریدن شفت، خوردگی محل بلبرینگ، ترک خوردن سیلندر و نهایتاً جابجایی شفت به داخل سیلندر یا بیرون زدن از سیلندر را به همراه خواهد داشت.

با این اوصاف، مشخص است در کنار خصوصیات شیمیایی و مکانیکی مصالح مورد نیاز برای تولید یک رول آسیاب مطلوب موقعیت اجزاء (Geometry) نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است.

برای شناخت بیشتر اجزاء رول و ویژگی های آنها می توان به برخی از عملکردهای آنها یا به عبارتی انتظاراتی که از این اجزاء وجود دارد، اشاره نمود.



بنابراین، طبق انتظاراتی که از هر یک از اجزاء می رود هر یک باید دارای خصوصیات زیر باشند:

۱- لایه چدن سفید باید دارای استحکام بالا بوده ولی ترد و شکننده نباشد، مقاومت در برابر سایش و خوردگی آن مطلوب باشد، قابلیت شکل پذیری کم و قابلیت ماشین کاری بالایی داشته باشد.

۲- لایه مرکزی علاوه بر اقتصادی بودن، باید قابلیت جذب و دفع تنش ها را داشته باشد. بعلاوه ضریب هدایت گرمایی بالاتری نسبت به لایه آلیاژی بیرونی (چدن سفید) داشته تا قادر باشد دمای تولید شده در سطح غلتک را به سمت خود جاری نماید. مناسب ترین ماده برای این خصوصیات چدن خاکستری است.

۳- با اعمال گشتاور به شفت ها و دوران حول محور خود و یاتاقان هایشان باعث دوران در سطح غلتک شده و به دلیل تحمل انواع تنش های فشاری، برشی و خمشی در جهات مختلف می‌بایست دارای استحکام کششی نسبتا بالایی باشند. در واقع باید طول منحنی تنش – کرنش آنها در محدوده کرنش سختی بیشتر از حالت عادی باشد تا قادر به تحمل شرایط تا حد مشخص شده باشد. علاوه بر اینها، شفت ها نقش فین‌های حرارتی را بازی کرده که مسئولیت انتقال حرارت از لایه مرکزی (چدن خاکستری) به محیط خارج آسیاب را برعهده دارند.

در مقایسه غلتک‌های آسیاب گندم با انواع دیگر غلتک‌ها که در صنایع دیگر استفاده می‌شوند، بیشترین میزان حساسیت در غلتک های آسیاب غلات مشاهده شده است. رول های مورد مصرف در صنایعی از جمله کاغذسازی، لاستیک و پلاستیک و فولاد عموماً از جنس فولادهای آلیاژی چکش کاری شده ساخته می‌شوند. در برخی موارد از چدن سفید ریختگری شده استفاده می شود که به روش استاتیکی و تک لایه ریختگری می‌شوند و بسته به نوع

کارکرد آنها، یک یا چند مرحله عملیات حرارتی بر روی آنها اعمال می گردد. در حالی که در ساخت غلتک های آسیاب گندم علاوه بر رعایت تمامی اصول مهندسی، تراکم ریزدانه ها (چگالی ماده) و پراکندگی سختی در سطح غلتک باید یکنواخت باشد. این تلرانس‌های بسته به دلیل عملیات ماشینکاری بر سطح غلتک تعریف شده اند، چرا که در صورت عدم یکنواختی در سطح غلتک شیارها در نقاط مختلف سطح رول دارای سفتی و سختی متفاوتی خواهند بود. فقدان یکنواختی در سطح رول پارامترهای برشی و فشاری مختلفی را در نقاط مختلف پدید می‌آورد که نه تنها عمر غلتک کاهش می یابد بلکه عمر اجزا دوران کننده همچون الکتروموتور، بلبرینگ ها را کاهش می دهد. از سوی دیگر گرادیان حرارتی در سطح غلتک یکنواخت نخواهد بود.

این مشکلات از جمله مشکلات نامشهود هستند که در بلندمدت آثار خود را نمایان می کنند در حالی که از جمله آثار مشهود آنها غیریکنواختی در خصوصیات محصول است. انتظار می‌رود تمام محصول خروجی از یک مرحله آسیاب غلتکی دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی یکنواختی باشند؛ در حالی که دانه گندم یا ذرات مغز شده در نقاط مختلف از سطح غلتک تحت تاثیر نیروهای فشاری و برشی متفاوت، دماهای ناموزون قرار گرفته اند.

در واقع نیاز به نیروی برشی است که نیاز به این تلرانس های نسبتاً بسته را افزایش داده است در حالی که در صنایع دیگر عمده تنش‌های اعمالی از سوی رول تنش های فشاری و خمشی هستند که از حساسیت ماشین کاری و کاردهی آنها کاسته است.

توسعه تکنولوژی آسیابانی از تاثیر پارامترهای گوناگون این فرآیند بر یکدیگر شروع می شود. بنابراین، پس از بررسی خصوصیات مکانیکی دانه می توان پی به خصوصیات مکانیکی غلتک برد و با در نظر گرفتن این پارامترها و انتظاراتی که از غلتک با کیفیت می‌رود، طراحی مناسب و تولید بهینه آن صورت پذیرد. غلتک‌های آسیاب از جمله غلتک‌های ارزان قیمت هستند، ولی به دلایل زیاد که به برخی از آنها در این مقاله اشاره شد، از اهمیت و حساسیت ویژه‌ای برخوردارند که نحوه استفاده صحیح، نگهداری و تعمیرات به موقع، حمل و نقل و انبار کردن صحیح آنها را حائز اهمیت می نماید.

از جمله پژوهش های اخیر در زمینه افزایش بهره وری غلتک در آسیاب های غلتکی، مجهز شدن آن به تکنولوژی فراصوتی (Ultrasonic) است. از آنجایی که هنوز اطلاعات دقیقی از این پژوهش منتشر نشده است، ولی می توان پیش‌بینی نمود ارتعاشات فراصوتی باعث افزایش راندمان آسیاب می‌شود. چراکه ارتعاشات فراصوتی باعث می‌شوند غلتک ضربات بسیار کوچک با دامنه بسیار بالا به دانه‌ها یا ذرات اعمال کند که نه تنها باعث کاهش اصطکاک سطح غلتک می‌شود، بلکه عمر غلتک را افزایش و میزان انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر کاهش اصطکاک معنی کاهش دما دارد و کاهش دما بهبود کیفیت محصول تولیدی را به ارمغان خواهد آورد.

مراجـع:

- Training center of east roll industries company
- Grinding characteristics of wheat in industrieal mills (June 2018)
- Elena madalina Stefan, Gheorghe Voicu, Gabriel-Alexandru Consantin And muneteanu Mariana Gabriela
- University of bucharest, department of biotechnical system
- effects of wheat seeds characteristics on roller milling process (Jan 2013)
- Gheorghe Voicu, Sorin-Stefan Biris
- Elena-Madalina Stefan
- Gabriel-Alexandru Consantin And
- Nicoleta Ungureanu
- University of bucharest, department of biotechnical system
- Effect of surface wetting on grinding characteristics of wheat (March 2018)
- Paresh davara, junagadh Agricultural University
- Mechanical metallurgy (DIEter 1988)