فرآیند فشرد ه سازی هادی

فرآیند فشرد ه سازی برای هاد ی های گرد فرآیند فشرده سازی هاد ی های تابیدۀ مس و آلومینیوم عملی نسبتاً آسان در فرآیند تولید است، ولی دستیابی به هاد ی های فشرده با کیفیت بالا و همچنین کیفیت کابلهای برق از اهمیت بالایی برخوردار است .تابیدن هادی، معمولاً در دستگاهی با حرکت سیار ه ای و یا بدون حرکت سیار ه ای موسوم به ماشین تابندۀ(Rigid)انجام می شود .ماشین های تابندۀ پرسرعت دیگری نیز با سیستم تابندۀ مرکزی به نام (ماشین تابندۀ مرکزی) وجود دارند.

همۀ انواع این ماشینها دارای وسایل خاصی هستند که بر روی آن بلو کهای تابندۀ اصلی به همراه کلگیهای فشرده سازی قالبها یا غلتکهای مربوط به فرآیند فشرده سازی کامل قرار می گیرند.

با بکارگیری ماشینهای نسل جدید، بلو کهای تابنده امکان استقرار قالب تابندۀ اصلی و همچنین بخشهای دوار جفت غلتک با قابلیت چرخش را دارند که به این ترتیب دستیابی به هادی پیش مارپیچ شده را فراهم می سازند .تعداد بخشهای دوار برای نگهداری جفت غلت کها میتواند شامل دو، سه یا چهار جفت در یک بلوک تابنده پس از هر مجموعۀ چرخنده باشد.

شکل ۱

قالب اصلی اغلب به صورت گرد است و تنها امکان هدایت سیمهای تابیده را در لایۀ مورد نظر فراهم میکند .این قالب میتواند کاملا ثابت باشد که غالباً نیز چنین است، اما میتوان آن را به صورت چرخش آزاد یا چرخش توسط موتور نیز در نظر گرفت .دورتر از محل تابیدن، یا مستقیماً در فاصلۀ مشخصی از آن، مجموعه ای از ابزارهای فرآیند فشرده سازی قرار می گیرد که این عمل را می توان به دو صورت انجام داد:

•قالبهای سخت
•جفت غلتکهای شکلدار
آیا معضلی برای چگونگی بکارگیری فرآیند فشرده سازی هاد ی های مس و آلومینیوم در موارد زیر وجود دارد؟
الف)در خصوص قالبهای سخت الماسی، یا
ب)مخصوصاً در مورد غلتکهای شکلدار
هر دو سیستم به وفور مورد استفاده قرار میگیرند، برای بسیاری از مهندسین، این پرسش وجود دارد که کدام فرآیند فشرد ه سازی سیستم بهتری است به این معنا که ساد ه تر، کارآتر و دارای بهر ه وری بالاتری است.
در این مقاله می خواهیم مقایسه ای بین دو سیستم فشرد ه سازی انجام دهیم و همچنین اثرات عملی در تولید را بر مبنای تجارب کاری مربوط به این دو سیستم فشرده سازی تشریح کنیم:

الف)فرآیند فشرده سازی با استفاده از قالبهای سخت

۱– مزایا
•محاسبهٔ قطر عملی و طراحی قالب شکل دهنده بسیار ساده است
•بکارگیری آن در تولید نیز آسان است
•گردی هادی فشرده تقریباً همیشه مطلوب است

۲– معایب
•ساخت قالبهای سخت، بسیار پیچیده و پرهزینه است
•قیمت قالبهای سخت گران است .برای سطوح مقاطع بالاتر از ۱۸۵ میلی متر مربع قیمت سری قالبهای الماس مصنوعی سخت به طور قابل توجهی نسبت به مجموعه غلتکهای مربوط به هادی یکسان، بالاتر است.
•طول عمر کاری قالبهای سخت به خاطر تنش زیاد سطوح کاری، گرما و سایش ایجاد شده در حین تولید و زمان کاری معمول، محدود است .طول عمر کاری این قالب ها نسبتاً کوتاه است و از 800 کیلومتر هادی فشرده تجاوز نمی کند.
•گرمایش هادی در حین تولید بسیار بالاست و پس از عبور هادی از قالب، خنک کاری آن ضرورت پیدا میکند .مطابق معمول رو شهای گوناگونی برای خنک کاری وجود دارد که می توان به استفاده از هوای خنک، الکل، حلا لهای آلی و غیره اشاره کرد.

•فرآیند فشرد ه سازی در حالت بکارگیری قالب های سخت نیاز به توان کششی بسیار بیشتری دارد که در این صورت باعث افزایش بار موتور و در نتیجه گرم شدن بیش از حد آن می شود.
به طوری که اغلب موتور، نیاز به خنک کاری اضافی پیدا می کند.
•افزایش توان کششی، باعث نسبت تنش شدید در موتور کشنده و افزایش مصرف برق و در نتیجه افزایش هزینهٔ تولید می شود.
•در بسیاری از مواقع لازم است سرعت تولید را بیش از حدود ۳۰ درصد کاهش دهیم و بنابراین از بهره وری خط ماشین تابنده کاسته خواهد شد.
•در فرآیند فشرده سازی با استفاده از قالبهای الماسهٔ سخت کل ضریب پرکنندگی به سختی به ۹۰ درصد می رسد.
•کاهش نسبت قطر نمی تواند به بیش از ۵ درصد برسد و کاهش در هر یک از لایه های بعدی کمتر است و کمترین مقدار مربوط به لایهٔ آخر است.
•نسبت کاهش کم در لایهٔ آخر مستلزم افزایش ضخامت لایهٔ نیمه هادی در تولید کابلهای بیش از ۲۰ کیلو ولت است.
•افزایش ضخامت لایهٔ نیمه هادی باعث افزایش مصرف مواد عایق و همهٔ مواد دیگر تولید نهایی کابل می شود.

ب)فرآیند فشرده سازی با استفاده از غلتک های شکلدار

۱–مزایا
•بکارگیری غلتکها در فرآیند تولید کاری پیچیده نیست.
•محدودیتی در سرعت تولید ایجاد نمی کند .ماشین تابنده میتواند با حداکثر سرعت طراحی شده کار کند، زیرا در حین فرآیند فشرد ه سازی با غلتکها اثری بر کاهش سرعت تولید به وجود نمی آید.
•گرمایش هادی در جریان فرآیند فشرده سازی ناچیز است و به خنک کاری نیازی نیست.
•سایش غلتکها به پا ییترین حد است و عمر کاری غلتکها در مقایسه با عمر کاری قالب سخت، بسیار بیشتر و تا حدود یک میلیون کیلومتر بدون نیاز به تعمیر غلتکها است.
•میزان کاهش قطر برای هر لایهٔ تابیده می تواند به بیش از ۱۰ درصد برسد و ضریب پرکنندگی نیز تا ۹۴ درصد باشد.
•میزان کاهش لایهٔ آخر نیز به حدود ۱۰درصد می رسد و همچنین امکان دستیابی به شکل گرد مناسب و صافی سطح مطلوب فراهم می گردد که در نتیجه کاهش ضخامت لایهٔ نیمه هادی و افزایش کیفیت کابل را در پی دارد.

•کاهش قطر و ضخامت لایهٔ نیمه هادی موجب صرفه جویی قابل توجهی در مواد عایقی و سایر لایه ها تا ساخت آخرین لایهٔ روکش نهایی در حدود ۷ درصد مطابق با طراحی کابل برق خواهد شد.

۲– معایب

•طراحی پروفیل کاری غلتکها بسیار پیچیده است و نیازمند تجربه و بررسی قابل ملاحظه است .این موضوع دلیل اصلی تعداد کم کاربران عرصهٔ تولید کابل از فرآیند فشردگی با غلتکهای شکل دار خاص است.

•بلو کهای تابنده و نگهدارند ه های غلتکها باید دارای کیفیت مناسب باشند و در بسیاری از ماشین های تابندهٔ قدیمی پیش از راه اندازی فرآیند فشرد ه سازی با غلتکها لازم است قسمت های ذکر شده را با نوع جدیدتر تعویض نمود.

•تعداد و نحوهٔ قرارگیری سیمها در هادی تابیده در مقایسه با نحوهٔ قرارگیری سیم ها در هادی بدون فشردگی متفاوت است.

محاسبهٔ قطر سیمها آسان نیست.

•تعداد کمتر قرقره های حامل سیم باعث گردش نامتعادل بخشهای دوار حامل قرقره می شود که در نتیجهٔ باعث بار اضافی به اجزای دوار، نیروی مضاعفی به یاتاقا نها و بلبرینگ های خاص ماشین می شود.

•میزان گردی هادی به کیفیت بسیار بالای ابزار بکار رفته وابسته است .کیفیت بالای ابزارها نیازمند کارگران آموزش دیده و تنظیم بسیار دقیق همهٔ جفت غلتکها خصوصاً آخرین دو جفت غلتک است.

•تولید هاد ی های فشردهٔ گرد دارای کیفیت بالا با استفاده از طراحی غلتکهای خاص از نوع باز یا از نوع نفوذی اهمیت زیادی دارد .غلتکهای باز را هنگامی می توان به کار برد که محورهای چرخندهٔ غلتکهای دارای کیفیت بالا بوده و امکان تنظیم دقیق مرکز غلتکها فراهم شود.

•در صورتی که امکان تنظیم دقیق مرکزیت غلتکها نسبت به هم میسر نباشد باید از غلتکهای نفوذی استفاده نمود که در آنها مرکزیت در حین طراحی و ساخت هر جفت از غلتکها قابل دستیابی است.

مواد اولیهٔ ساخت غلتکها از فولاد ابزاری کیفیت بالا با درجهٔ

___سختی ۶۰ HRC پس از عملیات سخت کاری در نظر گرفته می شود.

نقاط درگیر تحت کار غلتکها باید سمباده کاری و پس از عملیات سخت کاری به خوبی صیقلی گردد.

حدود رواداری نقاط تحت کار غلتکها باید کمتر از ۰/۲ میلی متر باشد.

میزان گردی هادی فشرده بر اساس استانداردهای IEC و VDE درنظر گرفته می شود.

طراحی غلتکهای فشرد ه سازی به شکل گرد در هاد ی های تابیده باید ثبت شود و دارای تضمین های کافی باشد.

الزامات اصلی برای تولید هادی های فشرده عبارتند از طراحی مناسب و ساخت غلتکهای با کیفیت، برای فرآیند فشرد ه سازی است.

جدول ۱. نحوهٔ قرارگیری غلتک‌ها برای هادی‌های فشردهٔ گرد در هر بخش دوار حامل قرقره

+۳۰	-۲۴	-۱۸	-۱۲	-۶
چهار جفت	چهار جفت	سه یا چهار جفت*	دو جفت	دو جفت
بیضوی	بیضوی	بیضوی	بیضوی	بیضوی
گرد ۱	گرد ۱	گرد ۱	گرد ۱	گرد ۱
گرد ۲	گرد ۲	گرد ۲	www.sbargh.ir	
گرد ۳	گرد ۳	(گرد ۳)		

*در صورتی که آخرین لایه باشد

شکل۲. این هادی با استفاده از غلتک‌ها فشرده شده است

شکل ۳. این هادی با استفاده از قالب‌های سخت فشرده شده است

شکل٤. دو هادی با سطح مقطع یکسان ولی با تعداد و ترتیب قرارگیری و قطر سیم متفاوت

شکل٥. تصویر دیگری از هادی فشرده شده با غلتک‌ها

شکل٦. یکی از پرکاربردترین غلتک‌ها

هاد ی های سکتور

هاد ی های سکتور اغلب در کابلهای فشار ضعیف چند رشته و همچنین کابل های قدرت HV و EHV موسوم به کابلهای میلیکن ۵ کاربرد دارند.

در این حالات در فرآیند فشرده سازی صرفاً از غلتکهای شکل دار استفاده میشود .هرچند در سا لهای اخیر قالبهای سکتور شکل دهند ۀ هادی از جنس الماس مصنوعی نیز وارد بازار شده است .بیشتر کارخانه های کابل سازی تنها از یک جفت غلتک پس از هر بخش دوار حامل قرقر ه ها استفاده می کنند .در چنین فرآیندی ضریب پرکنندگی کمتر است و فشردگی و یکنواختی کابل نهایی مناسب نمی باشد.

طی سا لهای اخیر، استفاده از دست کم دو جفت غلتک در فرآیند فشرد ه سازی بیشتر متداول شده و هر لایۀ تابیده پس از اولین لایه، یا دومین لایه توسط دو جفت غلتک و حتی لایۀ آخر با سه جفت غلتک فشرده سازی میشود تا محصول نهایی با کیفیت مطلوب تولید شود .با این روش دستیابی به بالاترین کیفیت برای هادی فشرده امکانپذیر خواهد بود.

ساخت هادی های سکتور با دو و سه جفت غلتک، سا لها قبل گستر ش یافته و در تولید، ضریب پرکنندگی این هاد یها به حدود ۹۲ تا ۹۴ درصد می رسد .شکل هادی، یکنواخت و صاف و عاری از بیرو ن زدگی شدید رشته هاست.

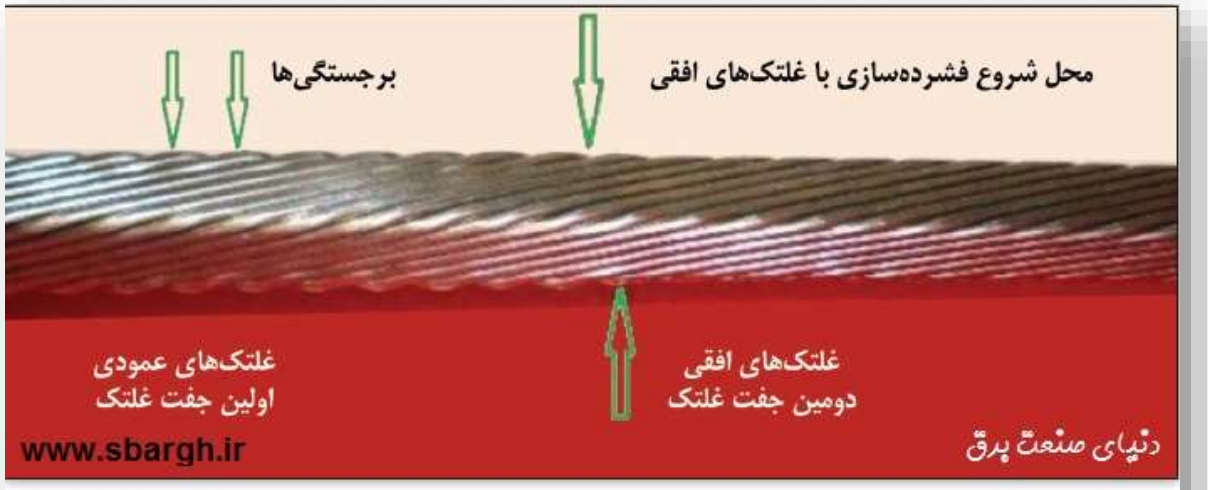
در تصویر ۷، دیدگاه کاملا روشنی در مورد نقطهٔ شروع فرآیند فشرده سازی با جفت غلتکهای افقی وجود دارد.

نخستین جفت از غلتکها به غلتکهای» عمودی « موسومند و دومین جفت از غلتکها را غلتکهای» افقی «می نامند.

www.sbargh.ir دنیای صنعت برق

جدول۲. ترتیب غلتک‌ها برای هادی‌های سکتور در هر بخش دوار حامل قرقره

۱-٦		-۱۸		-۲٤			-۳۰		
عمودی	عمودی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	عمودی	افقی	عمودی
▼	▼	▼	◀▶	▼	◀▶	▼	▼	◀▶	▼
▲	▲	▲		▲		▲	▲		▲



شکل۷. این تصویر موقعیت شروع فشرده‌سازی با غلتک‌های افقی را نشان می‌دهد

شکل۸. فشردگی و گردی کابل بسیار خوب است

شکل۹. کابل ولتاژ ضعیف

شکل ۱۰. هادی میلیکن دارای چند قطاع که با بکارگیری غلتک‌های افقی تولید شده است

شکل ۱۱. هادی میلیکن دارای چند قطاع که بدون بکارگیری غلتک‌های افقی تولید شده است

تجربهٔ طولانی حاکی از آن است که ماشینهای تابنده همگی توانایی تولید هادی فشردهٔ با کیفیت را دارند .در صورتی که به خوبی طراحی شده باشند و شکل پروفیل غلتکها برای فشرده سازی مناسب باشد و همچنین نگهدارندهٔ غلتکها یا کلگی فشرده سازی از استحکام کافی برخوردار باشد.

مزیت این مدلها، طراحی بسیار خوب آنها است .برای فرآیند تولید این موضوع اهمیت زیادی دارد که جفت غلتکها در حداقل فاصلهٔ ممکن نسبت به هم قرار گیرند .همراستاسازی غلتکها به آسانی و با دقت نیز بسیار مهم است.

شکل ۱۲. این ماشین تابنده بسیار قدیمی است

نتیجه گیری تجاری

با تجزیه و تحلیل دقیق همهٔ عوامل مورد بحث، بدون شک می توان به نتایج زیر دست یافت:

•فرآیند فشرد ه سازی با غلتکها کیفیت محصول را بالاتر می برد .ضریب پرکنندگی بسیار بالاست و مقدار آن به طور قابل توجهی از ضریب پرکنندگی حاصل از قالبهای سخت است.

•هاد یهای فشرده با غلتکها بهتر تهیه می شوند و پس از تکمیل شدن کابل نهایی برای بار الکتریکی بیشتر مناسبترند.

•قطر کابل کمتر است و بنابراین بسته به طراحی کابل دستیابی به صرفه جویی در مصرف عایق و دیگر مواد تا حد ۷ درصد دوراز ذهن نیست.

•سرعت خطی ماشین کاهش نمی یابد و حداکثر بهر ه وری ممکن خط تولید امکان تحقق پیدا می کند.

•عمر کاری غلتکها چندین برابر بیش از عمر کاری قالبهای سخت است.

تنها همین چند عامل برای انتخاب سرمایه گذاری در فرآیند فشرد ه سازی با غلتکها کافی می باشد، زیرا سرمایه گذاری در این نوع ابزار در صورتی که تولید با ظرفیت بهینه انجام شود منجر به بازگشت سرمایه در مدت زمان کوتاه خواهد شد.

همهٔ این دلایل همچنین برای تولیدکنندگان ماشین آلات تابنده کفایت می کند .فروش ماشینها با مجموعه ای از غلتکها برای فرآیند فشرده سازی هادیهای گرد یا سکتور، فروشی واقع بینانه از ماشینهای تابنده با فنآوری فشرد ه سازی به حساب می آید و این حالت مزیتی خاص برای سازنده در بر خواهد داشت و از طرفی این موضوع به طور ویژه موجب ارتقاء امتیاز سازند ۀ ماشین شده و ماشین تابنده به قیمت بالاتری به فروش خواهد رسید.

تصاویر ۱۲ و ۱۳ مثالی را در مورد بازسازی یک ماشین بسیار قدیمی تابنده نشان میدهد که اکنون هاد ی های فشردۀ گرد و سکتور با کیفیت بالا تولید می کند.

شکل ۱۳. در این ماشین، تنها غلتک‌ها و محورهای چرخان آن جدید است.

نتیجه گیری تئوریک و عملی

۱– برای تولید قطر سیمهای بالاتر به تعداد کمتری قالب کشش در ماشین کشش راد نیاز خواهد بود که به این ترتیب ظرفیت تولیدی آن افزایش خواهد یافت.

۲– ماشینهای تابنده نیز با ظرفیت بالاتری کار می کنند .سرعت بارگیری و تخلیه در آن بالاتر است، زیرا در صورتی که مثلا طراحی تاب و ترتیب آن به گونه ای انجام شود که به جای استفاده از ۹۱ رشته سیم ۶۱ رشته سیم در ماشین تابنده به کار رود، در بارگیری و تخلیۀ ۳۰ قرقره صرفه جویی می شود.

۳– صرفه جویی قابل توجهی در مصرف برق در فرآیند کشش مفتول و در پی آن فرآیند تابیدن رشته ها حاصل می شود.
۴– تعداد کمتر سیمها باعث کاهش مقدار فضای خالی بین آنها در هادی فشرده می شود و امکان انتقال جریان بار بالاتر فراهم می شود.

۵– تعداد بیشتر سیم ها منجر به افزایش فضاهای خالی بین آنها در هادی فشرده می شود و امکان انتقال جریان بار بیشتر جلوگیری می کند.
۶– میزان فشرده سازی بیشتر در سیمهای با قطر بالا یکنواختی بیشتری را در هادی ایجاد می کند و بنابراین هدایت الکتریکی بالاتر و مقاومت الکتریکی پا ییتر حاصل میشود .این نکته را می توان در تصاویر ۲ و ۸ و ۱۰ مشاهده نمود.
۷– قطا ع هایی که تابیده شده و به خوبی فشرده شوند گردی مناسبتری را در هادی تابیده بوجود می آورد که این امر نیز موجب تأثیر در افزایش جریان بار کابل میشود.
۸– میزان بالای فشرده سازی هادی تابیده باعث کاهش سایز هادی مرکزی و در نتیجه افزایش یکنواختی هادی تابیدهٔ نهایی میشود(شکل۱۰)
۹– برای دستیابی به کیفیت مطلوب فشرده سازی، در طراحی هادی ۹۱ رشته ای به تعداد جفت غلتکهای بیشتری در فشرده سازی نیاز است.
۱۰– امکان ساخت غلتکها برای هر گونه طراحی هادی، سایز و تعداد و آرایش رشته ها وجود دارد ولی همواره توصیه بر آن است که در صورت امکان از تعداد رشتهٔ کمتر در هادی استفاده شود.
۱۱– تمامی موارد پیشنهادی در این مقاله بر اساس تجربهٔ طولانی در زمینهٔ تولید هاد ی های فشردهٔ با کیفیت بالا صورت گرفته است.
۱۲– امکان طراحی و تولید انواع غلتکهای مربوط به کابلهای ولتاژ ضعیف در ساختار رشته نیز وجود دارد، به طوری که سکتورهای مربوط به هاد ی های فاز زاویه ای برابر با ۱۰۱ درجه سانتی گراد، و زاویهٔ مربوط به هادی نول ۵۷ درجه باشد، به این ترتیب دستیابی به کمترین قطر کابل به همراه کیفیت عالی و صرفه جویی در مصرف مواد میسر خواهد شد.

پی نوشت:

1. Rigid Strander
2. Prespiralled Conductor
3. Compaq
4. Profiled

منبع:

Microcable engineering d.o.o

ترجمه :مهندس محمدباقر پورعبداله(کارشناس صنایع)

نشریه داخلی صنعت سیم و کابل

انجمن صنفی کارفرمایی تولیدکنندگان سیم و کابل ایران

شماره شصت و نهم

دنیای صنعت برق

www.sbargh.ir