

توسعه آمیزه EPDM ویژه تولید واکس ماشین لباسشویی؛ گامی راهبردی در مسیر خودکفایی و کاهش وابستگی به واردات

طاهره طهرانی^{۱*}، میلاد مغدانی^۲ و رضا سنمار^۳

۱- رئیس تحقیق و توسعه، شرکت آمیزه‌های بسیار لاستیک سپیدان

۲- کارشناس تحقیق و توسعه، شرکت آمیزه‌های بسیار لاستیک سپیدان

۳- مدیریت عامل، شرکت آمیزه‌های بسیار لاستیک سپیدان

T.tehrani@holding-bcs.com

چکیده: در این پژوهش، یک فرمولاسیون نوین بر پایه الاستومر EPDM جهت تولید گسکت طوسی ماشین لباسشویی طراحی و تا مقیاس صنعتی توسعه یافت. پروژه در شرکت «آمیزه‌های بسیار لاستیک سپیدان» بر اساس مهندسی معکوس قطعه کراهی و با بهره‌گیری از آنالیزهای مکانیکی و ساختاری (XRF، XRD، FTIR) انجام گرفت. با بهره‌گیری از ترکیب بهینه دو گرید EPDM-Kep و EPDM-Sumitomo، پرکننده تقویت‌کننده سیلیکا و عامل کوپلینگ، کامپاندی با فرایندپذیری مطلوب برای تزریق و شبکه‌سازی حاصل شد. کامپاند طراحی‌شده ضمن دارا بودن سختی ۴۵ Shore A تا ۱۴ MPa، مقاومت پارگی ۲۸ تا ۳۰ kN/m و مانایی فشاری ۱۰٪ (۷۰ °C در ۲۲ h)، پایداری شیمیایی بسیار مطلوبی در برابر شوینده‌ها و محیط‌های اسیدی از خود نشان داد. نتایج فرایندی حاکی از آن است که فرمولاسیون بومی طراحی‌شده منجر به تولید گسکت‌هایی با خواص مکانیکی معادل یا بهتر از نمونه وارداتی و بدون تغییر ابعاد شده که توانسته است جای‌گزینی مناسب برای نمونه وارداتی بوده و نیاز به واردات این قطعه استراتژیک را به‌طور کامل برطرف کند.

واژه‌های کلیدی: EPDM، گسکت ماشین لباسشویی، سیلیکا-سیلان، خواص مکانیکی، مقاومت شیمیایی، مهندسی معکوس

مقدمه

گسکت طوسی ماشین لباسشویی به‌عنوان یک مؤلفه حیاتی در سیستم آب‌بندی دستگاه‌های خانگی، نقش کلیدی در جلوگیری از نشت آب و حفظ عملکرد طولانی‌مدت دستگاه ایفا می‌کند. طراحی این قطعه نیازمند هم‌زمانی خواص مکانیکی بهینه (شامل استحکام کششی و مقاومت پارگی)، انعطاف‌پذیری مناسب برای نصب و عملکرد تحت فشار و پایداری شیمیایی بالا در مواجهه با شوینده‌ها و محلول‌های اسیدی است. تا پیش‌ازاین، بخش عمده گسکت‌های ماشین لباسشویی از کشورهای کره، ترکیه و چین وارد می‌شد که افزون‌بر وابستگی ارزی، محدودیت‌های تأمین و مشکلات تطابق با استانداردهای داخلی را ایجاد می‌کرد. پروژه حاضر با رویکرد مهندسی معکوس نمونه کراهی، به‌منظور طراحی و تولید داخلی کامپاند EPDM تقویت‌شده با سیلیکا-سیلان در شرکت بسیار لاستیک سپیدان پیاده‌سازی شد، به‌گونه‌ای که خواص مکانیکی و شیمیایی محصول نهایی با نمونه وارداتی قابل‌رقابت باشد و امکان تولید صنعتی پایدار فراهم شود.

بخش تجربی

طراحی فرمولاسیون و بهینه‌سازی فرایند تولید گسکت طوسی ماشین لباسشویی

♦ مهندسی معکوس نمونه وارداتی

به‌منظور تدوین فرمولاسیون بومی، نمونه کراهی گسکت طوسی ماشین لباسشویی با بهره‌گیری از آنالیزهای پیشرفته (XRD، XRF، FTIR، DSC) و آزمون‌های مکانیکی و شیمیایی (سختی، استحکام کششی، مقاومت پارگی و پایداری شیمیایی) به‌طور کامل پایش شد. تلفیق داده‌های ساختاری و عملکردی به شناسایی دقیق الزامات فنی و قیود فرایندی انجامید و بستر مهندسی کامپاند EPDM باقابلیت تولید صنعتی پایدار را فراهم ساخت.

♦ طراحی فرمولاسیون

جدول ۱- فرمولاسیون آمیزه لاستیکی

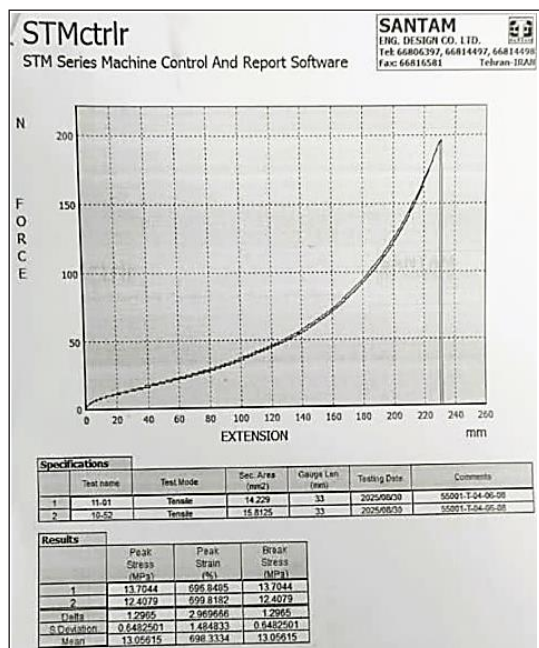
نقش در فرمولاسیون	مقدار (phr)	اجزاء
ایجاد شبکه پلیمری اصلی با انعطاف‌پذیری بالا	۸۰	EPDM Kep
افزایش سختی و مقاومت مکانیکی	۲۰	EPDM Sumitomo
تقویت‌کننده مکانیکی و افزایش سختی	۵۰	سیلیکا
بهبود چسبندگی پلیمر-سیلیکا	۸	TESPT (سیلانی کوپلینگ)
بهبود فرایندپذیری و کنترل سختی	۵۰	روغن پارافینیک
فعال‌کننده سامانه پخت	۸	ZnO
کمک‌فعال‌کننده در پخت و بهبود پراکنش	۱	استتاریک اسید
عامل پخت (شبکه‌ای‌سازی)	۲	گوگرد
شتاب‌دهنده اصلی، کنترل سرعت پخت	۱	MBT
شتاب‌دهنده	۱	TMTD

♦ اختلاط و آماده‌سازی کامپاند

برای دستیابی به کامپاندی با جریان‌پذیری کنترل‌شده، شبکه‌سازی یکنواخت و قابلیت خروج سالم از قالب، فرایند اختلاط به‌صورت مرحله‌ای طراحی و بهینه شد:

در گام نخست، پلیمرهای EPDM همراه با روغن نرم‌کننده و بخشی از پرکننده‌ها در میکسر بنبوری بارگذاری شد تا ضمن ایجاد توزیع یکنواخت اجزاء، دمای مخلوط از ۹۰ °C فراتر نرود؛ این کنترل دما مانع پیش‌پخت و تخریب زنجیره‌های EPDM شد.

در گام دوم، TESPT به‌همراه سیلیکا وارد مخلوط شد. حضور این عامل کوپل‌کننده باعث واکنش گروه‌های سیلان با هیدروکسیل‌های سطح سیلیکا و



شکل ۲- نمودار مقاومت کششی

جدول ۲- خواص آمیزه لاستیکی

خواص	نتایج	واحد	الزامات عملکردی
سختی	۴۶	Shore A	انعطاف و آب بندی مطلوب
استحکام کششی	۱۳	MPa	≥ 10
مقاومت در برابر پارگی	۲۹	kN/m	≥ 25
مانایی فشاری (۲۲ ساعت در ۷۰°C)	۱۰	%	≤ 20
مقاومت به سایش	۲۰۰	mm ³	≤ 400
مقاومت در برابر حرارت (۷۰ ساعت در ۱۰۰°C)	passed	-	-
مقاومت در برابر اسید	passed	-	-
مقاومت در برابر	passed	-	-
مواد آب و مواد شوینده	passed	-	-
مقاومت در برابر زرد شدگی	passed	-	-

نتیجه گیری

طراحی و تولید کامپاند EPDM سیلیکا-سیلان برای گسکت صنعتی با چالش اصلی پراکنش ۵۰ Phr سیلیکا در ماتریس همراه بود. افزودن TESPT و روغن فرایندی در فاز دوم اختلاط، با واکنش کووالانسی با گروه های سیلانول، پراکنش یکنواخت پرکننده و افزایش چگالی شبکه عرضی را تضمین کرده و استحکام کششی ۱۲ تا ۱۴ MPa و مقاومت پارگی ۲۸ تا ۳۰ kN/m را فراهم کرد. ترکیب دو گرید EPDM با شاخص ویسکوزیته متفاوت روندگی کامپاند و فرایندپذیری را بهبود داد. استفاده از سیستم پخت MBT/TMTD/S و کنترل دقیق دما و زمان پخت، سختی ۴۵ تا Shore A و مانایی فشاری ۱۰٪ را تثبیت کرد. بهینه سازی نسبت پرکننده، EPDM، روغن و TESPT تعادلی میان سختی، انعطاف پذیری، خواص مکانیکی و مقاومت شیمیایی ایجاد کرد و گسکتی با عملکرد معادل یا برتر از نمونه وارداتی در شرایط ۲۰۰ و قالب گیری ۱۲۰ ثانیه ای ارائه داد؛ نتیجه، بومی سازی کامل فرمول و قابلیت توسعه آن برای سایر قطعات مقاوم به محیط های خورنده است.

ایجاد پیوند کووالانسی با ماتریس در مرحله دوم شد؛ نتیجه این واکنش، افزایش انتقال تنش، کاهش مانایی فشاری و مهم تر از همه کاهش چسبندگی به قالب بود که یکی از چالش های اصلی تولید تزریقی محسوب می شد. در گام سوم، کامپاند روی غلتک باز تحت ورزدهی نهایی قرار گرفت و سیستم پخت در دمای کنترل شده اضافه شد تا مخلوط آماده قالب گیری شود.

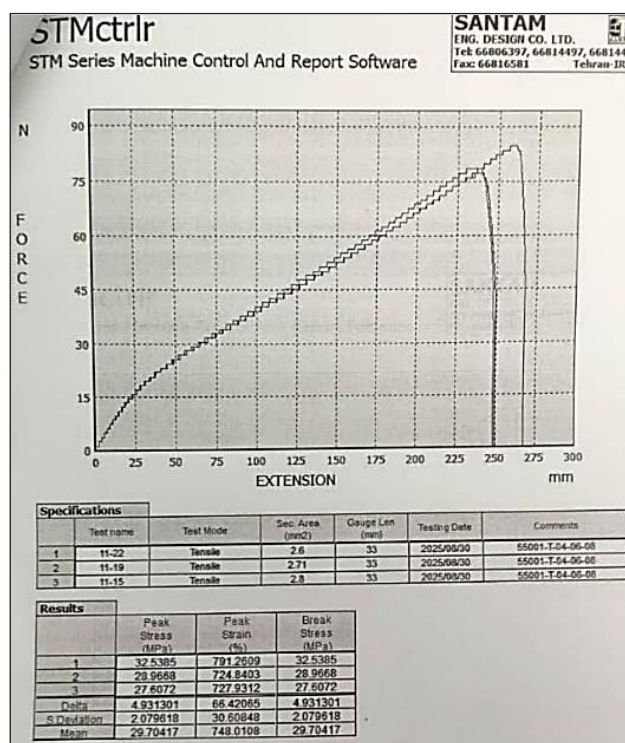
از چالش های کلیدی این مرحله:

- کنترل ویسکوزیته برای جلوگیری از جریان بیش از حد و پدیده Flash در قالب
 - جلوگیری از پیش پخت در حین انتقال کامپاند
 - یکنواختی توزیع سیلیکا به منظور حذف نواحی ضعیف مکانیکی
- با اعمال پروتکل اختلاط سه مرحله ای و استفاده از TESPT، این مشکلات برطرف شد و کامپاندی با قابلیت تزریق پایدار حاصل شد.

♦ قالب گیری تزریقی و کنترل فرایند

تزریق کامپاند در دمای ۲۰۰°C با زمان پخت ۱۲۰ s انجام گرفت. چالش اصلی، حفظ یکپارچگی قطعه بدون ترک خوردگی، چسبندگی به قالب و تغییر ابعادی بود. از طریق پایش هم زمان پروفیل حرارتی و زمان بندی پخت، و نیز تنظیم دقیق استوکیومتری سیستم پخت، شبکه عرضی یکنواخت و پایدار شکل گرفت. بهینه سازی فشار تزریق، نرخ پرشدن حفره و زمان فشردگی، مانع پارگی داغ و دفرمگی شد و کاهش واکنش های فرعی سولفیداسیون باعث حذف بوی نامطلوب و افزایش بازده تولید قطعه سالم شد.

♦ خواص مکانیکی و شیمیایی



شکل ۱- نمودار مقاومت پارگی

مراجع

- [1] Heinrich G. et al., Reinforcement of Elastomers by Silica-Silane Systems, Rubber Chemistry and Technology.
- [2] Blow, C.M., Hepburn, C. Rubber Technology and Manufacture.
- [3] Coran, A.Y., Vulcanization. Science and Technology of Rubber, 4th Edition.
- [4] Datta, R.N. et al., Silane Coupling Agents in Elastomer Compounding, Rubber Chemistry and Technology.