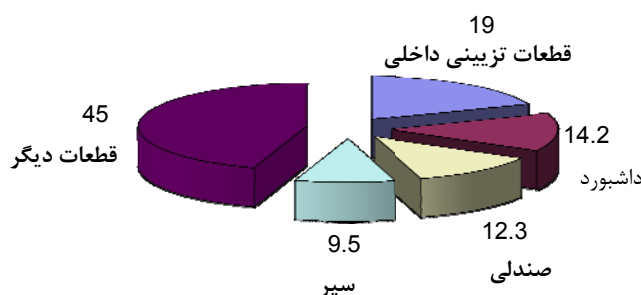


مقدمه

بسیاری از افراد خراش را با سایش اشتباه می‌گیرند در حالی که به طور کلی خراش با سایش متفاوت است. در سایش عملاً بخشی از ماده برداشته می‌شود و وزن ماده کم می‌شود. در حالی که در خراش چیزی برداشته نمی‌شود و تنها یک جابجایی ماده از یک بخش به بخش دیگر صورت می‌گیرد. به این ترتیب مفهوم خراش را می‌توان به این صورت بیان کرد: مقاومت سطح یک قطعه در برابر عوامل مکانیکی وقتی که این قطعه با قطعه دیگری در تماس قرار می‌گیرد.

شکل ۱ نمایی از توزیع کاربرد انواع پلاستیک‌ها در صنعت خودرو را به ما نشان می‌دهد. حدود ۱۹٪ پلاستیک‌هایی که در صنعت خودرو در بخش قطعات تزئینی، ۱۴٪ در مجموعه داشبورد، ۱۲٪ در صندلی‌ها و ۱۰٪ در سپر مصرف می‌شوند و بقیه قطعات ریز و درشتی هستند که در بخش‌های مختلف خودرو قرار دارند. در اینجا قطعات تزئینی، داشبورد و صندلی در داخل خودرو و سپر در خارج خودرو قرار دارد. این ۴ دسته بیش از نصف وزن کل پلاستیک‌هایی را که در یک خودرو استفاده می‌شوند به خود اختصاص می‌دهند. در جدول ۱ شمایی از انواع پلاستیک‌ها و همچنین توزیع وزنی قطعات پلاستیکی مصرفی در اتومبیل با مجموع ۱۰۵ کیلوگرم نشان داده شده است.



شکل ۱- توزیع کاربرد انواع پلاستیک‌ها در صنعت خودرو.

جدول ۱- انواع پلاستیک‌ها و توزیع وزنی قطعات پلاستیکی مصرفی در اتومبیل

وزن (کیلوگرم)	نوع پلاستیک اصلی	قطعه
۲۰	PP, ABS, PET, POM, PVC	تزئینات داخلی
۱۵	PP, ABS, PA, PC, PE	داشبورد
۱۳	PUR, PP, PVC, ABS, PA	صندلی‌ها
۱۰	PP, ABS, PC	سپر
۹	PA, PP, PBT	اجزا زیر کاپوت
۸	PVC, PUR, PP, PE	لوازم داخلی
۷	PE, POM, PA, PP	سیستم‌های سوخت رسانی
۷	PP, PE, PBT, PA, PVC	اجزا الکتریکی
۶	PP, PPE, PU	پنل‌های بدنه
۵	PP, PC, ABS, PMMA	چراغ‌ها
۴	ABS, PA, PBT, ASA, PP	تزئینات خارجی
۱	PP, PE, PA	سایر مخازن
۱۰۵	-	مجموع

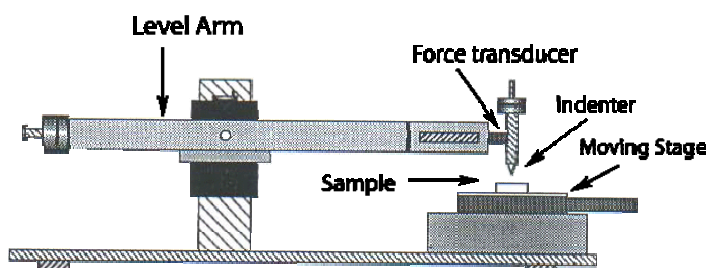
نکته جالب این است که همان گونه که مشاهده می‌شود در کلیه این قطعات پلی-پروپیلن حضور دارد، در حالی که پیش از این میزان استفاده پلی‌پروپیلن کمتر بوده است و به تازگی این استفاده افزایش یافته است. در اوایل دهه ۹۰ تولید کنندگان خودرو از دو جنبه تصمیم به کاهش تنوع مواد مورد استفاده در صنعت خودرو گرفتند. یکی سهولت بازیافت و دیگری خواص و فرآیندپذیری مناسب ماده مورد استفاده که از هر دو نظر پلی‌پروپیلن گزینه مناسبی است. برای مثال در داشبورد خودرویی مانند پژو تنوع مواد پلیمری بسیار زیاد است و

بازیافت آن با توجه به تنوع مواد پلاستیکی بسیار مشکل است. زیرا کلیه قطعات با جنس‌های مختلف می‌بایست از یکدیگر جدا شوند و این مسأله بحث بازیافت را غیر اقتصادی نموده است. اما اگر پایه مواد علی‌رغم متفاوت بودن افزودنی‌ها، یکسان باشد کار بازیافت آسان‌تر است. به این ترتیب می‌توان کل داشبورد را به یکباره آسیاب نمود و مورد استفاده قرار داد. در این راه، پلی-پروپیلن انتخاب اول بود. زیرا طیف وسیعی از افزودنی‌ها را در مقادیر مختلف می‌تواند بپذیرد و به همین ترتیب طیف وسیعی از خواص را بر پایه پلی‌پروپیلن به دست آورد. برای بررسی بیشتر این نگرش می‌توان به این نکته اشاره کرد که در خودروهای قدیمی‌تر مانند پژو ۴۰۵، تقریباً وزن قطعاتی که از پلی‌پروپیلن ساخته شده‌اند با وزن قطعاتی که از جنس ABS هستند، برابر بوده است. این در حالی است که در خودروهای جدیدتر مانند پژو ۲۰۶ وزن قطعات ساخته شده از پلی‌پروپیلن تقریباً ۵ برابر وزن قطعاتی است که از جنس ABS هستند.

در این میان باید به این نکته اشاره کرد که قطعاتی که از نظر تزئینی مهم هستند می‌بایست مقاومت به خراش خوبی داشته باشد. ABS که پیش از این در قطعات تزئینی استفاده می‌شده است، مقاومت به خراش بسیار خوبی دارد و به هیچ عنوان استفاده از آن نگران‌کننده نبوده است. در مقابل پلی‌پروپیلن مقاومت به خراش بسیار پایینی دارد و استفاده از آن می‌تواند همراه با چالش باشد. خراش هم باعث کاهش زیبایی قطعه می‌شود و هم می‌تواند در اثر تنش‌های مختلف تبدیل به ترک شده و عمر قطعه را کم کند. مشکلی عمده استفاده از پلی‌پروپیلن داشت مقاومت به خراش آن است. بنابراین از اوایل دهه ۹۰ زمینه تحقیقاتی وسیعی در مورد مقاوم نمودن پلی‌پروپیلن در برابر خراش در دانشگاه‌ها ایجاد شد و استانداردها در این زمینه منتشر شدند.

کمی نمودن خراش

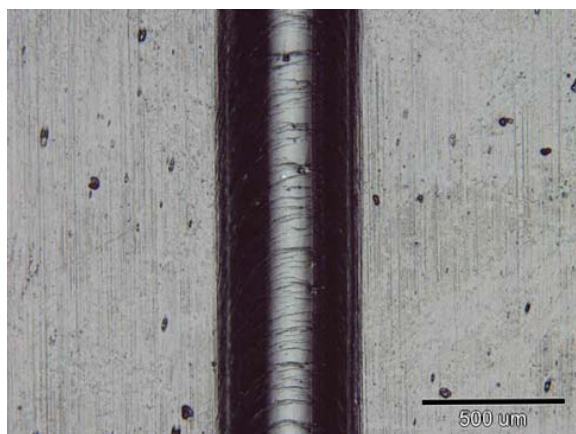
برای بررسی مقاومت به خراش باید خراشی در قطعه ایجاد نماییم. در مبحث رنگ، برای سنجش مقاومت به خراش رنگ، از ابزاری به نام سوزن اریکسون استفاده می‌شود که در صنعت رنگ متداول است. این ابزار می‌تواند نیروی مشخصی را روی سطح ایجاد نماید. این روش قابلیت کمی شدن ندارد. چیزی که بعدها متعارف شد ابزاری بود که مؤسسه استاندارد مشخصات آن را تحت استاندارد ASTM G 171-3 در سال ۲۰۰۳ استاندارد نمود. در اصل یک سوزن استاندارد به عنوان خراشنده عمل می‌نماید که می‌توان روی آن نیرویی اعمال کرد و نمونه با سرعتی قابل تنظیم زیر آن حرکت کند (شکل ۲). در اثر نیرو و حرکت، یک خراش تکرارپذیر روی نمونه ایجاد می‌شود. شایان ذکر است که پیش از معرفی این استاندارد، دستگاهی با مشخصات استاندارد مذکور به وسیله متخصصان دانشگاه صنعتی شریف ساخته شد.



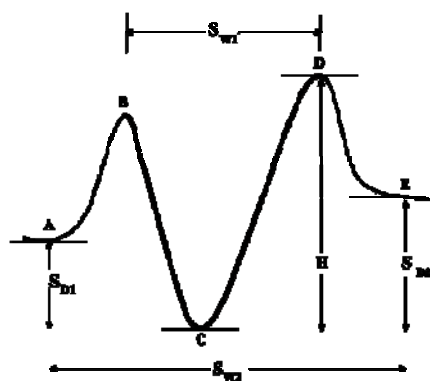
شکل ۲- نمایی از دستگاه خراش.

در شکل ۳ نمونه‌ای را مشاهده می‌کنید که به وسیله این دستگاه خراش داده شده است که قسمت سیاه رنگ، خراش ایجاد شده است. پس از ایجاد خراش، خراش باید کمی شود و مشخصات آن مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور ۲ روش برای کمی کردن خراش وجود دارد. در روش اول مشخصات ابعادی خراش اندازه‌گیری می‌شود. همان گونه که در شکل ۴

ملاحظه می‌شود، عرض خراش با S_w نشان داده شده است. منحنی سیاه رنگ، پروفیل خراش در سطح مقطع است و به عبارت دیگر مقطع خراش را نشان می‌دهد. مطابق شکل، در مقطع خراش دو قله و یک دره مشاهده می‌شود. قله‌ها در اثر عبور ایندنتر یا خراشنده ایجاد شده است و در واقع یک تغییر فرم پلاستیک اتفاق افتاده است، یعنی ماده از عمق، بالا می‌آید و روی شانتهای کناری خراش قرار می‌گیرد. به این ترتیب پروفیلی به وجود می‌آید که بخش‌های مختلف آن قابل اندازه‌گیری هستند.



شکل ۳- نمونه خراش داده شده.



شکل ۴- پروفیل خراش در سطح مقطع.

مطابق استاندارد ASTM، سختی خراش یا H_s عبارت است از ضریبی نیروی F تقسیم بر توان دوم عرض خراش یا S_w که شبیه به فرمول سختی استاتیکی می‌باشد. محققین دیگر، پارامترهای دیگری را معرفی نموده‌اند. مثلاً بجای عرض خراش عمق خراش را در نظر گرفته‌اند.

$$H_s = \frac{8F}{\pi S_w^2} \quad (1)$$

روش دیگر بررسی پدیداری خراش یا Visibility خراش است که در دانشگاه صنعتی شریف نیز متخصصان از این روش استفاده می‌کنند. در این روش خراش ایجاد شده توسط تحلیل تصویری از نظر ظاهری بررسی می‌گردد. برای این کار از یک نرم‌افزار تحلیل‌گر برای پردازش تصاویر میکروسکوپی سطح خراش استفاده می‌شود. تغییر رنگ منطقه خراش با مناطق دیگر متفاوت است. این تغییر رنگ در منطقه خراش با مناطق دیگر قابل اندازه‌گیری و کمی کردن است و می‌توان این تفاوت را به عدد تبدیل نمود که روابط خاص خود را دارد. با این که این روش ملموس‌تر است، ولی هنوز در مورد نحوه کمی کردن آن بحث وجود دارد.

عوامل موثر در افزایش مقاومت به خراش

عوامل مختلفی بر مقاومت به خراش ماده تأثیر گذار هستند. برای مثال افزایش جرم ملکولی باعث کاهش مقاومت به خراش می‌شود. به عبارت دیگر موادی که MFI کمتری دارند، مقاوم به خراش کمتری دارند. در توجیه آن می‌توان کاهش مقاومت به خراش را به میزان بلورینگی مرتبط دانست. ولی کسی توجیه مستقلی برای آن ارائه نداده است. در مورد مقدار بلورینگی نشان داده شده است که هر چه مقدار بلورینگی بیشتر باشد مقاومت به خراش بیشتر می‌شود.

در ارتباط با رابطه مدول الاستیک با مقاومت به خراش تحقیقات زیادی انجام شده است و محققین اعتقاد دارند که یکی از اصلی‌ترین عوامل افزایش مقاومت به خراش مدول الاستیک است و تقریباً همه محققین گزارش کرده‌اند که افزایش مدول الاستیک باعث افزایش مقاومت به خراش می‌شود. اما نکته جالب این است که همانگونه که می‌دانید مدول الاستیک را می‌توان به روش‌های مختلفی افزایش داد. اگر از دو روش مختلف برای افزایش مدول الاستیک استفاده نماییم و این روش‌ها مدول را به یک اندازه افزایش دهند، میزان مقاومت به خراش به یک اندازه بالا نمی‌رود. بنابراین این نکته مهم است که مدول و به دنبال آن مقاومت به خراش چگونه افزایش می‌یابد. برای مثال مدول را می‌توان با تغییر بلورینگی یا با اضافه نمودن فیلر بالا برد که این روش‌ها مقاومت به خراش متفاوتی را به دست می‌دهند. این بدان معنی است که اگر چه مدول عامل مؤثری است، اما تنها عامل نیست و عوامل دیگر نیز اثرگذار هستند.

نکته دیگر تنش تسلیم است. افزایش تنش تسلیم موجب افزایش مقاومت به خراش می‌شود. اما میزان تاثیر آن به اندازه مدول الاستیک نمی‌باشد. یعنی مشخصه‌های الاستیک تاثیر زیادی بر مقاومت به خراش دارند. حتی گزارش‌هایی داده شده است که افزایش تنش تسلیم در مقاومت به خراش بی‌تأثیر بوده است.

تکنیک‌هایی که در پلی‌پروپیلن برای افزایش چقرمگی استفاده می‌گردند، عموماً به افت مقاومت به خراش منجر می‌شوند. برای مثال اضافه کردن یک فاز لاستیکی مانند EPDM مقاومت به ضربه پلی‌پروپیلن را افزایش می‌دهد، اما عملاً مقاومت به خراش آن کاهش می‌یابد.

عواملی نیز وجود دارند که به عنوان عوامل خارجی محسوب می‌شوند. برای مثال سرعت ایجاد خراش از این دسته عوامل است. گزارش‌هایی وجود دارد که افزایش سرعت خراشیدن باعث افزایش مقاومت به خراش شده است و در برخی موارد دیگر نتیجه عکس گزارش شده است. علت این است که با توجه به ویژگی ویسکو الاستیک مواد پلیمری، افزایش

سرعت خراشیدن باعث مشاهده رفتار تردتری از ماده می‌شود. اما اگر افزایش نرخ کرنش باعث شود که ماده به قدری تردتر شود که به مرز شکست نزدیک شود، مقاومت به خراش کم می‌شود. اما اگر سرعت کم باشد و فقط کمی صلبیت ماده بالا رود، افزایش مقاومت به خراش را انتظار خواهیم داشت.

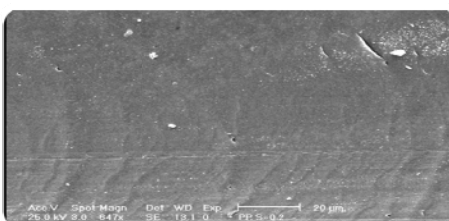
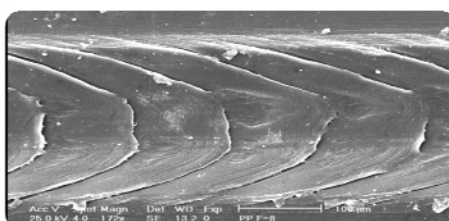
از جمله عوامل خارجی دیگر، می‌توان به دما اشاره کرد. افزایش دما ماده را نرم نموده و باعث کاهش مقاومت به خراش می‌شود. استفاده از روانکارها با توجه به پایین آوردن ضریب اصطکاک باعث افزایش مقاومت به خراش می‌شود و خراشنده روی سطح قطعه سر می‌خورد. فیلرهای تقویت کننده پلی‌پروپیلن، مقاومت به خراش را افزایش می‌دهند به خصوص اگر از تکنیک هندسه خراش برای سنجش خراش استفاده کنید. بدون استثنا فیلرها سختی خراش را افزایش می‌دهند. اما در روش پدیداری، برخی از فیلرها باعث کاهش مقاومت به خراش یا به عبارتی، افزایش پدیداری خراش می‌شوند، مخصوصاً اگر از فیلرهای استفاده شود که هنگام ایجاد خراش باعث سفید شدن خراش می‌شود.

نتایج تجربی تحقیقاتی تیم تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شریف و شرکت پارسا پلیمر

شریف

در ادامه برخی نتایج تحقیقاتی انجام شده توسط تیم تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شریف و شرکت پارسا پلیمر شریف آورده خواهد شد. در شکل ۵ تصاویری از خراش ایجاد شده بر روی پلی‌پروپیلن ساده و پلی‌پروپیلن مقاوم به خراش مشاهده می‌شود که توسط میکروسکوپ الکترونی SEM گرفته شده‌اند. مطابق شکل در پلی‌پروپیلن مقاوم به خراش، عرض خراش بسیار کمتر از پلی‌پروپیلن ساده است. به علاوه علایم خراش خیلی کم عمق هستند و سطح بسیار

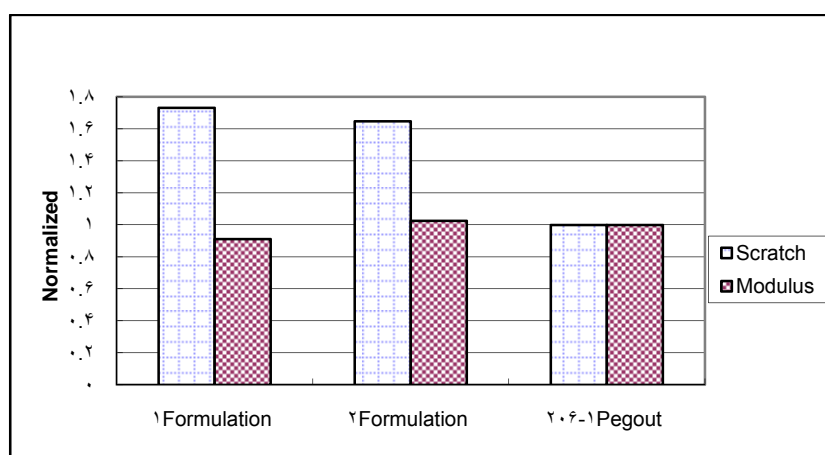
صاف دیده می‌شود. در واقع در این فرمولاسیون چه از نظر هندسی و چه از نظر پدیداری، افزایش مقاومت به خراش دیده می‌شود.



شکل ۵- تصاویر SEM سطح خراش پلی پروپیلین ساده (شکل بالا) و پلی پروپیلین مقاوم به خراش (شکل پایین). در این تیم تحقیقاتی بررسی‌هایی بر روی برخی از قطعات ۲۰۶ که ماده اولیه آن تحت عنوان پلی پروپیلین مقاوم به خراش از خارج از کشور وارد می‌شوند، انجام شده است. سعی بر این بوده است که فرمولاسیون‌هایی نزدیکتر به آن و با خواصی شبیه آن ساخته شود. در شکل ۶ مقایسه داده‌های ماده وارداتی با دو فرمولاسیون پلی پروپیلین مقاوم به خراش که توسط محققین این تیم تحقیقاتی ارائه شده است، آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، نتایج حاکی از افزایش مقاومت به خراش در این دو فرمولاسیون نسبت به فرمولاسیون مقاوم به خراش وارداتی برای پژو ۲۰۶ است.

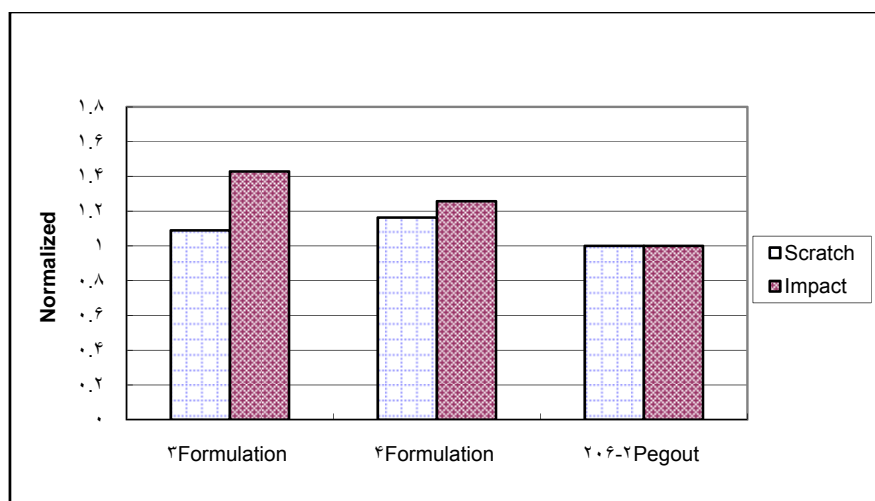
همراه با کنترل مقاومت به خراش ماده، برخی دیگر از خواص آن تغییر می‌نماید. نکته مهم این است که بتوان شرایط بهینه خواص را به دست آورد. مطابق شکل ۶ در فرمولاسیون ۱، ۷۰٪ مقاومت به خراش بالاتری نسبت به فرمولاسیون مقاوم به خراش وارداتی مشاهده می‌شود،

اما مدول الاستیک حدود ۱۰٪ افت پیدا کرده است. در حالی که فرمولاسیون ۲ در مقایسه با فرمولاسیون مقاوم به خراش وارداتی، ضمن این که مقاومت به خراش بالاتری دارد، مدول الاستیک برابر با آن مشاهده می‌شود. بر این اساس علی‌رغم مقاومت به خراش بالاتر در فرمولاسیون ۱، فرمولاسیون ۲ به دلیل تعادل بین مدول الاستیک و مقاومت به خراش، نسبت به فرمولاسیون ۱ ارجحیت دارد.



شکل ۶- داده‌های مدول الاستیک و خراش دو فرمولاسیون پلی‌پروپیلن مقاوم به خراش ارائه شده توسط محققین تیم تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شریف و شرکت پارسا پلیمر نرماله شده با فرمولاسیون مقاوم به خراش وارداتی.

دو فرمولاسیون دیگر توسط همین تیم تحقیقاتی ارائه شده است که مقاومت به ضربه در آن‌ها در کنار مقاومت به خراش مطرح بوده است. داده‌های نرماله شده فرمولاسیون‌های مختلف با نمونه وارداتی در شکل ۷ آورده شده است. در فرمولاسیون ۳ مقاومت به خراش تقریباً برابر با فرمولاسیون وارداتی است و استحکام ضربه بالاتری دارد. در حالی که در فرمولاسیون ۴ هم استحکام ضربه و هم مقاومت به خراش آن نسبت به فرمولاسیون وارداتی بالاتر می‌باشد و به این ترتیب فرمولاسیون ۴ مطلوب‌تر است. با این وجود همواره باید در نظر داشت که مجموعه خواص ماده مهم است و قیمت تمام شده نیز اهمیت ویژه‌ای دارد.



شکل ۷- داده‌های استحکام ضربه و خراش دو فرمولاسیون پلی پروپیلن مقاوم به خراش ارائه شده توسط محققین تیم تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شریف و شرکت پارسا پلیمر نرماله شده با فرمولاسیون مقاوم به خراش وارداتی.

گام‌های بعدی

گام‌های بعدی در این مسیر، شناخت بهتر افزودنی‌های متداول در صنعت پلی پروپیلن می‌باشد. در حال حاضر بانک اطلاعاتی در مورد تأثیر افزودنی‌ها محدود است و نیاز به ارتقای بانک اطلاعاتی وجود دارد. یکی از مهمترین پروژه‌ها بحث مقاومت به خراش ترکیبات دارای لاستیک است. قطعات بسیاری وجود دارد که در آنها برای افزایش مقاومت به ضربه از فاز لاستیکی استفاده می‌شود. با توجه به کاهش مقاومت به خراش در اثر افزودن این فاز، نیاز به تحقیقات در مورد افزایش مقاومت به خراش در حضور فاز لاستیکی احساس می‌شود که در حال حاضر در دانشگاه صنعتی شریف پروژه فعال در این زمینه وجود دارد.

در ارتباط با رفتار ویسکوالاستیک پلی پروپیلن و اثر آن بر مقاومت به خراش، تحقیقات کمی انجام شده است. ماهیت ویسکوالاستیک پلی اولفین‌ها مانند پلی پروپیلن، بر رفتار تغییر شکل پلیمر اثر گذار است و منجر به بازیابی بخشی از تغییر شکل ماده می‌شود. از آنجایی که خراش نوعی تغییر شکل ماده در سطح محسوب می‌شود، این نکته حائز اهمیت است و باعث تغییر ابعاد هندسه خراش با گذشت زمان می‌شود. مشاهده شده است که پلی پروپیلن‌هایی که ماهیت ویسکوالاستیک کمتری دارند، در مقایسه با پلی پروپیلن‌هایی با مولفه ویسکوالاستیک بیشتر، تغییرات ابعادی متفاوتی از خود نشان می‌دهند. این مساله‌ای است که نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

هدف محققین تیم تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شریف و شرکت پارسا پلیمر شریف دستیابی به یک ارتباط سیستماتیک بین مقاومت به خراش و سایر خواص مکانیکی است. تاکنون کسی موفق به برقراری رابطه‌ای خطی یا غیر خطی بین مقاومت به خراش و سایر ویژگی‌ها نشده است و رسیدن به یک مدل در این ارتباط، یکی از اهداف ویژه این گروه است.