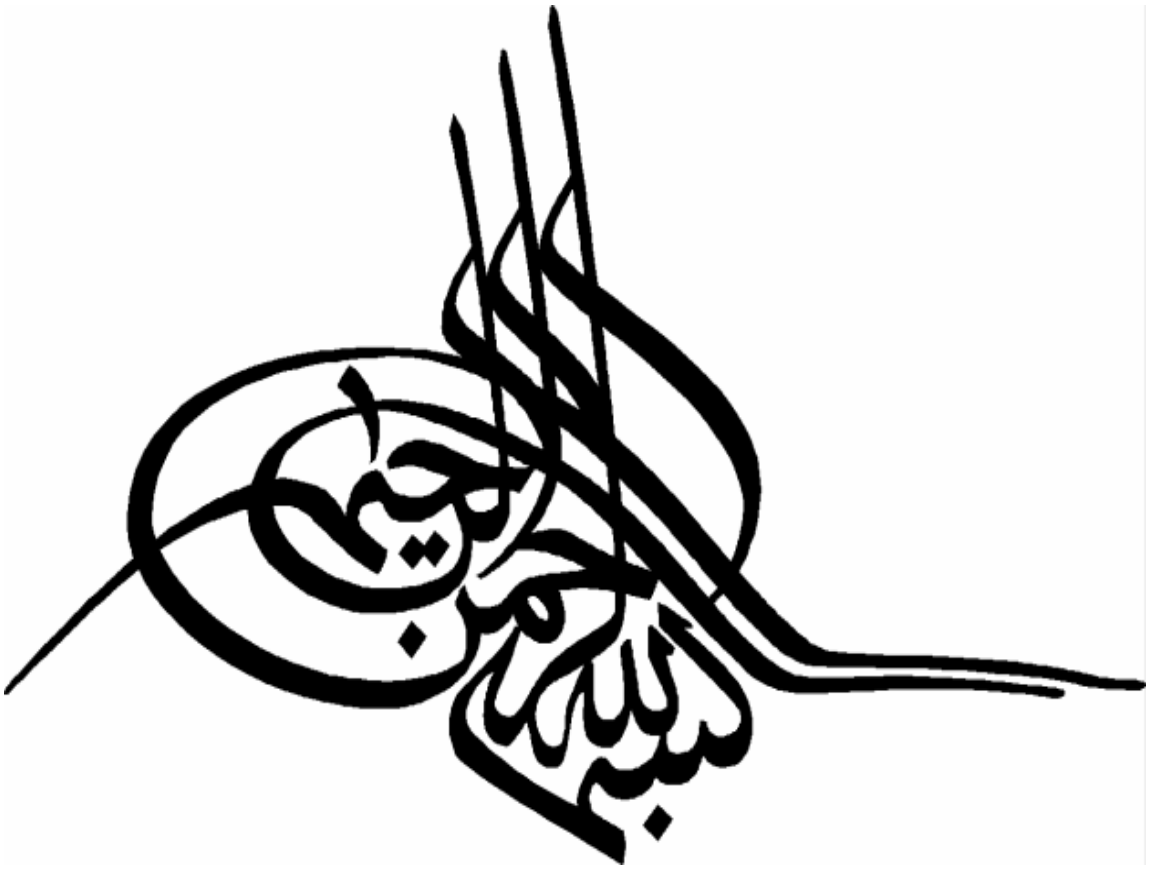

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی پلیمر _ صنایع رنگ

عنوان

″مطالعه اثر مواد افزودنی بر روی مقاومت به خش و خراش روکش های شفاف خودرویی و ارتباط آن با خواص مکانیکی و جلوه ظاهری روکش″

اساتید راهنما

دکتر سیامک مرادیان،دکتر علیرضا خسروی

استاد مشاور

دکتر نرگس طهماسبی

نگارش

بهرام رمضان زاده

بسمه تعالي

دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

فرم اطلاعات پایان نامه

کارشناسی ارشد و دکتری

تاریخ: 86/5/1
پیوست.....

معاونت پژوهشي

نام و نام خانوادگي : **بهرام رمضانزاده کراتی** **دانشجوی آزاد** ■ **بورسیه** ☐ **معادل** ☐

شمارة دانشجوئي : **84132031** دانشکده : **مهندسی پلیمر و رنگ**

رشتة تحصيلي: مهندسي پليمر - صنايع رنگ

نام و نام خانوادگي استاد راهنما : **دکتر سیامک مرادیان/دکتر علیرضا خسروی**

عنوان پايان نامه به فارسي:**مطالعه اثر مواد افزودنی بر روی مقاومت به خش و خراش روکش های شفاف خودرویی و ارتباط آن با خواص مکانیکی و جلوه ظاهری روکش**

عنوان پايان نامه به انكليسي : ***Study The Effect Of Additives on The Scratch andMar Resistance of Automotive Clear Coat Relating to Their Mechanical and Appearance Poperties***

نوع پروژه : **کارشناسی ارشد** ■ / **دکتري** ☐

نظري ☐ كاربردي ■ بنيادي ☐ توسعه اي ☐

تاريخ شروع : **84/7/1** تاريخ خاتمه : **86/6/31** تعداد واحد : **9**

واژه هاي كليدي به فارسي :مقاومت در برابر خراش،افزودني پلي سيلوكسان،جلوه ظاهري، اكريليک ملامين،كارواش،خراش پلاستيک

واژه هاي كليدي به انگليسي : **Mar, scratch, Plastic, Fracture , Appearance ,Acrylic Melamine ,Polysiloxane**

نظرها و پيشنهادها به منظور بهبود فعاليتهاي پژوهشي دانشگاه :

استاد راهنما :

دانشجو :

امضاء استاد راهنما : تاريخ :

نسخهٔ 1 : معاونت پژوهشی

نسخهٔ 2: کتابخانه و به انضمام دوجلد پایان نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

تقدیم

به پدر و مادر بزرگوارم،
خواهر و برادرهایم که وامدار خوبیهایشان در مسیر زندگی ام هستم.

با سپاس و تشکر فراوان از راهنمایی های اساتید گرانقدرم

دکتر سیامک مرادیان،دکتر علیرضا خسروی ودکتر نرگس طهماسبی که در انجام این پروژه من را یاری دادند.

و با سپاس و تشکر فراوان از

دکتر محسن محسنی بزرگی **و خانم دکتر** اعظم ایرجی زاد **که داوری پروژه من را بر عهده گرفتند.**

همچنین با تشکر از مساعدتهای سرکار خانم مهندس پدرام و آقای مهندس چوه (شرکت ایران خودرو)،آقای دکتر عامری (آزمایشگاه کنترل رنگ دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، خانم مهندس حضرتی و خانم مهندس سماعی یکتا (دانشکده پلیمر و رنگ دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، مهندس نورزاد (نمایندگی شرکت Efka (شرکت کالاکار))، خانم شیخانی (نمایندگی شرکت Byk (شرکت توان شیمی))، مهندس جلیلی (شرکت سوپررنگ)،آقای دکتر نعیمی جمال (دانشکده شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران)آقای مهندس علیزاده (شرکت گوهر فام)، آقای قیاسوند (سالن رنگ 1 ایران خودرو)،آقای رفیعی (دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف)،آقای مهندس یاری و آقای مهندس سینا جمالی و سایر دوستانی که در انجام این پروژه من را یاری دادند.

فهرست مطالب

چکیده

فصل اول :مروری بر مقالات

1-1- مقدمه.....1

1-2- مقاومت به خش پذیری یا خراش.....2

1-2-1- خش و خراشهای پلاستیک و شکست.....4

1-2-2- شرایط تشکیل خش و خراشهای پلاستیک و شکست.....5

1-2-3- تاثیر نوع خش و خراش بر جلوه ظاهری.....6

1-3- پارامتر های موثر بر مقاومت به خش و خراش.....7

1-3-1- خواص ویسکوالاستیک روکش.....8

1-3-2- مشخصات سطحی روکش.....10

1-3-3- مشخصات هندسی نوک خراشنده.....11

1-4- روش های بهبود مقاومت به خش پذیری و خراش.....12

1-4-1- مواد افزودنی بهبود دهنده مقاومت به خش پذیری.....13

1-4-1-1- مواد افزودنی بدون گروه فعال.....14

1-4-1-2- مواد افزودنی حاوی گروههای فعال.....15

1-4-1-3- مواد افزودنی با ابعاد نانو.....18

1-4-1-3-1- مواد افزودنی نانو سیلیکا بدون اصلاح سطحی.....18

1-4-1-3-2- مواد افزودنی نانو سیلیکا دارای اصلاح سطحی.....19

1-5- روش های ارزیابی مقاومت روکش ها به خش پذیری و خراش.....21
1-5-1- آزمونهای ارزیابی بر پایه سطوح ساینده.....21
1-5-1-1- کارواش آزمایشگاهی Amtec 23
1-5-1-2- کارواش آزمایشگاهی Touzart and matignon.....24
1-5-2- آزمونهای ارزیابی برپایه انواع خراشنده ها.....24
1-5-2-1- روشهای میکرو و نانو indentation 25
1-5-3- روشهای میکرو و نانو خراش.....30

فصل دوم:پژوهشهای تجربی

2- مقدمه.....34
2-1- مواد.....34
2-1-1- مقدمه.....34
2-1-2- تهیه فرمولاسیون روکش.....35
2-2- بررسی روش های مختلف استفاده از افزودنی ها در فرمولاسیون روکش.....36
2-2-1- افزودنی های بر پایه پلی سیلوکسان.....36
2-2-2- افزودنی نانو سیلیکا.....37
2-3- روش آماده سازی نمونه ها.....37
2-4- بررسی آزمون های مختلف مورد استفاده در انجام پروژه.....38
2-4-1- آزمون طیف سنجی مادون قرمز 38
2-5- آزمونهای ارزیابی خصوصیات ویسکوالاستیک –ویسکوپلاستیک روکش.....39

2-5-1- آزمون کشش.....39
2-5-2- آزمون دینامیکی مکانیکی 40
2-6- آزمون DSC.....40
2-7- آزمون های ارزیابی خصوصیات مکانیکی.....41
2-7-1- آزمون سختی میکرو ویکرز.....41
2-7-2- آزمون ارزیابی سختی نانو 41
2-8- آزمون های ارزیابی مقاومت به خراش روکش.....43
2-8-1- آزمون شبیه سازی شده شستشوی روکش.....43
2-8-2- تست خراش نانو.....44
2-9- آزمون های بررسی جلوه ظاهری روکش.....44
2-9-1- براقیت سنج.....44
2-9-2- آزمون گونیو اسپکتروسکوپی.....45
2-10- آنالیز میکروسکوپی خراش.....45
2-10-1- آنالیز میکروسکوپ نوری.....45
2-10-2-آنالیز میکروسکوپ اتمی.....45
2-10-3- آنالیز میکروسکوپ الکترونی.....46

فصل دوم:نتایج و بحث

3-1- بررسی نتایج حاصل از آنالیز سطحی روکش (ATR).....48
3-2- نتایج بدست امده به توسط آنالیز دینامیکی- مکانیکی حرارتی.....57

3-2-1- اندازه گیری دمای انتقال شیشه ای.....57
3-2-2- بررسی پیک های α و β در منحنی تانژانت اتلاف.....60
3-2-3- بررسی اثر مواد افزودنی مختلف بر فرایند پخت روکش.....61
3-2-4- بررسی تاثر مواد افزودنی بر مدول اتلاف.....65
3-2-5- بررسی اثر مواد افزودنی بر هموژینیتی روکش.....67
3-3- نتایج بدست آمده از آزمون DSC 70
3- 4- نتایج آزمون سختی میکرو ویکرز.....72
3-5- بررسی تاثیر مواد افزودنی بر خصوصیات ویسکوالاستیک روکش شفاف.....75
3-5-1- بررسی اثر افزودنی های مختلف بر انرژی شکست روکش شفاف و ارتباط ان با خواص دیگر روکش.....84
3-5-2- مقایسه رفتار پلاستیک روکش های مختلف.....85
3-5-3- بررسی اثر سرعت کشش بر خواص ویسکوالاستیک روکش.....89
3-5-4- بررسی ارتباط نتایج حاصل از آزمون های DMTA و کشش.....94
3-6- نتایج آزمون کارواش آزمایشگاهی جهت ارزیابی مقاومت به خراش.....95
3-6-1- بررسی تصاویر میکروسکوپ نوری مربوط به خراش در آزمون شستشو.....93
3-6-2-آنالیز سطحی روکش پس از انجام ازمون شستشو به توسط دستگاه گونیواسپکتروفوتومتر.....102
3-6-2-1- بررسی مورفولوژی خراش و ارتباط ان با نتایج آزمون گونیو اسپکتروفوتومتری.105
3-6-3- بررسی اثر دما بر ترمیم پذیری خراش و ارتباط آن با نوع خراش.....108
3-6-4- بررسی ارتباط مابین مقاومت به خراش (درآزمون شستشو) و سختی میکرو.....111

3-6-5- برقراری ارتباط مابین نتایج حاصل از آزمون شستشو (car wash) و کشش.....112
3- 7- بررسی اثرات اپتیکی افزودنی های مختلف بر جلوه ظاهری روکش 115
3-7-1-آزمون اندازه گیری شفافیت روکش 115
3-7-2- بررسی مورفولوژی سطحی فیلم ازاد روکش به توسط میکروسکوپ AFM 117
3-8- بررسی نتایج حاصل از آزمون Nano indentation.....119
3-8-1- آزمون دندانه گذاری (Indentation)....119
3-8-1-1- محاسبه میزان تغییر شکل الاستیک و پلاستیک روکش.....126
3-8-2- بررسی اثر مواد افزودنی نانو بر مقاومت به خراش به توسط آزمون نانو خراش.....130
3-8-3- بررسی نتایج آزمون Nano indentation بر روی روکش های حاوی افزودنی سیلیکونی.....136
3-8-3-1- بررسی اثر مواد افزودنی سیلیکونی بر رفتار الاستیک و پلاستیک روکش.....139
3-8-4- بررسی مقاومت به خراش روکش های حاوی افزودنی نانو 141
3-8-5- بررسی خواص سطحی فیلم روکش شفاف از سمت هوا و شیشه.....146
3-8-6- بررسی و مقایسه نتایج بدست آمده از آزمون کشش و خراش.....148
4- نتیجه گیری.....150
5- پیشنهادات.....152
6- مراجع.....153

چکیده

داشتن جلوه ظاهری مطلوب همزمان با حفظ آن طی زمان از جمله مهمترین پارامتر های تعیین کننده کیفیت روکش های سطح خودرو می باشد که عواملی مانند اشعه ماوراء بنفش و نور خورشید،باران های اسیدی و وسایل خراشنده متعدد می تواند آن را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.دراین پژوهش بررسی پدیده ایجاد خش و خراش بعنوان یکی از عوامل موثر بر جلوه ظاهری مد نظر قرار گرفته و سعی گردیده است که ضمن بررسی عوامل کنترل کننده پدیده ایجاد خش و خراش، نحوه عملکرد برخی از انواع متداول افزودنی های نانو و غیر نانو بر روی خواص مقاومت به خش پذیری و خراش یک روکش شفاف بر پایه اکریلیک / ملامین مورد بررسی قرار گیرد.

در این راستا از آزمون های نانو خراش و کارواش اتوماتیک جهت ارزیابی مقاومت به خش و خراش و از آزمونهای تنش / کرنش کششی، آنالیز حرارتی و طیف سنجی مادون قرمز برای بررسی نحوه عملکرد مواد افزودنی استفاده شده است. همچنین میکروسکوپ های نوری، الکترونی و اتمی و نیز گونیو اسپکترو فتومتری جهت بررسی مورفولوژی خراش و تاثیرات آن بر جلوه ظاهری روکش مورد استفاده قرار گرفته است.نتایج آزمونهای این پژوهش نشان میدهد که مواد افزودنی نانو سیلیکا برخلاف سایر مواد افزودنی مورد بررسی، علاوه بر خواص سطحی روکش و توده آن، فرآیند پخت را نیز تحت تاثیر قرار داده، بطوری که رفتار روکش به سمت ایجاد خش ها و خراش های پلاستیک سوق یافته است. همچنین چقرمگی و نیروی لازم جهت ایجاد خش و خراش های شکست در این روکشها بشدت افزایش یافته است. نتایج نشان دهنده ارتباط بسیار خوب خصوصیات ویسکوالاستیک و مقاومت در برابر خراش روکش بوده و همچنین افزایش رفتار پلاستیک روکش منجر به ایجاد خراش هایی از نوع پلاستیک (که قابلیت ترمیم پذیری با گذشت زمان را دارا می باشند) می شود که می تواند به افزایش مقاومت در برابر خراش روکش کمک نماید.افزایش سختی سطح روکش توسط مهاجرت افزودنی سیلیکونی به سطح آن می تواند عامل دیگری جهت بهبود مقاومت به خراش روکش باشد.

فصل اول

مروری برمقالات

1-1- مقدمه

داشتن جلوه ظاهری مطلوب همزمان با حفظ آن طی زمان از جمله مهمترین پارامترهای تعیین کننده کیفیت روکش های سطح خودرو می باشد. این مسئله با جایگزینی توسط سیستم های روکش پایه / روکش شفاف (basecoat/clearcoat) سیستم های تک روکش (monocaot) ابعاد تازه تری یافته است. در این میان عوامل مخرب محیطی از قبیل اشعه ماورا بنفش و نور خورشید، بارانهای اسیدی، وسایل خراشنده متعدد از قبیل کشیده شدن ذرات گرد و غبار جذب شده حین شستشوی دستی و اتوماتیک، تهدیدی برای جلوه ظاهری روکش های سطح خودرو به حساب میایند و بررسی آنها در دستور کار مراکز تحقیق و توسعه شرکت های بزرگ خودروسازی قرار گرفته است[6-1].

در این راستا محققان زیادی روشهای متعددی را برای افزایش مقاومت به خش پذیری و خراش پیشنهاد نموده اند که اساس اغلب آنها بر پایه افزایش سختی و لغزندگی سطح روکش با هدف ممانعت از ورود و نفود ذرات خراشنده به داخل روکش و یا افزایش استحکام و یا قابلیت انعطاف پذیری روکش با هدف جلوگیری از حرکت خراشنده و افزایش نیروی لازم جهت ایجاد خش و خراش و یا ایجاد حرکت غیر مخرب آن می باشد.

گرچه ساختار شیمیایی روکش های شفاف بر روی خواص خش پذیری آنها بسیار موثر میباشد، اما تامین ویژگی کلی این روکشها ایجاد تغییرات ساختاری را در آنها محدود می نماید. لذا استفاده از مواد افزودنی بهبود دهنده مقاومت به خش پذیری و خراش بعنوان استراتژی قابل قبول مطرح گردیده است. این مواد بسته به نوع و ساختارشان از طرق مختلف، میتوانند موجب بهبود خواص مقاومت به خش پذیری شوند. اما عدم آگاهی از مکانیزم عملکردی دقیق آنها در بسیاری از موارد میتواند اثرات منفی بر روی خصوصیات دیگر روکش شفاف داشته باشد، این مسئله برای مواد افزودنی بهبود دهنده

مقاومت به خراش با ابعاد نانو که به تازگی به بازار عرضه شده اند، حادتر و پیچیده تر می باشد[10-7].

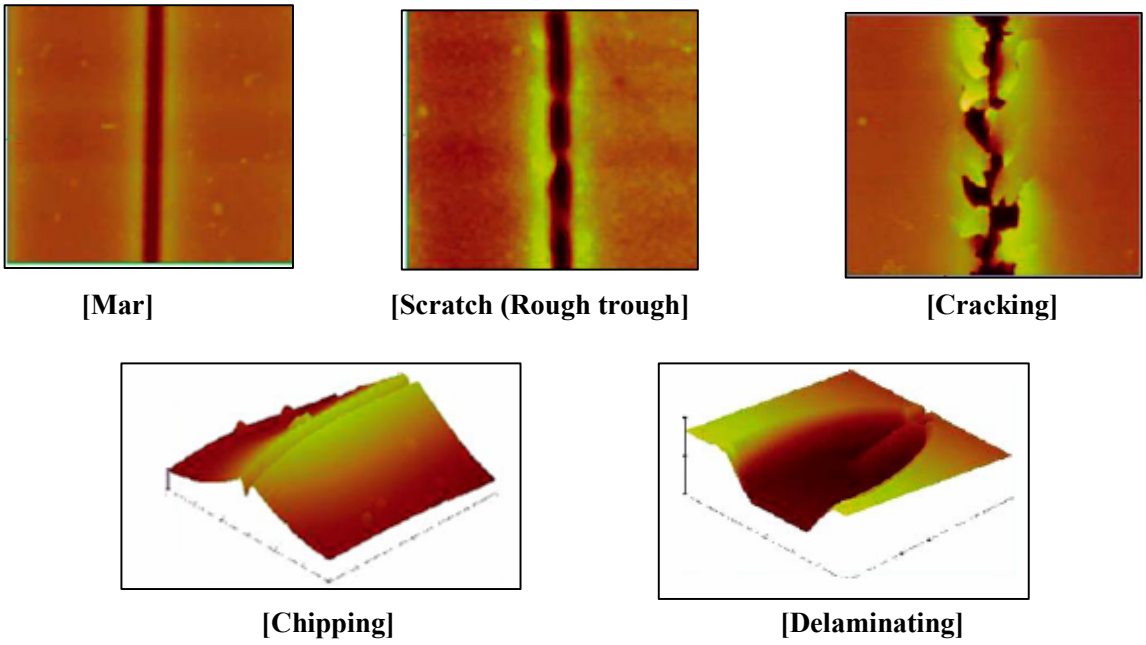
لذا در این پژوهش سعی شده است ضمن بررسی پارامترهای کنترل کننده پدیده ایجاد خش و خراش، نحوه عملکرد برخی از انواع متداول افزودنی ها ی نانو و غیر نانو بر روی خواص مقاومت به خش پذیری و خراش مورد بررسی قرار گیرد.

1-2- مقاومت به خش پذیری یا خراش

اغلب کلمات خش و خراش بطور مترادف مورد استفاده قرار می گیرند، اما در واقع مفهوم آنها متفاوت می باشد. بر اساس تعاریف ارائه شده در منابع معتبر علمی، خش (Mar) به آسیب دیدگیهای سطحی با عمق حدود 50 تا صدها نانومتر و پهنای صدها نانومتر تا یک یا دو میکرون اطلاق میگردد، در حالی که خراش(scratch) دارای عمق بیشتر از 0.5 و کمتر از10µm است[14-11 ,5,6] .

بطور کلی مقاومت به خش پذیری و خراش بترتیب به صورت توانایی روکش برای مقابله با آسیب های ناشی از سایش های سبک و عوامل ایجاد کننده آسیب های عمیق تر در نظر گرفته میشود. انواع آسیب دیدگی های سطحی روکشها همراه با اصطلاحات علمی توصیفی آنها در شکل(1-1) نشان داده شده است[13].

تعمیر و پولیش کاری در خطوط تولید و رنگ آمیزی، شستشوی دستی و اتوماتیک بوسیله پارچه و برس های پلاستیکی، برخورد سنگریزه، شن و یا کشیده شدن اشیایی مانند کلید، شاخه درخت، چاقو، ناخن دست بر روی سطح روکش خودرو از جمله مهمترین عوامل ایجاد کننده خش و خراش می باشد و در جدول (1-1) ابعاد خش و خراش های ایجاد شده توسط برخی از عوامل خراشنده ارائه شده است.



شکل(1-1) تصاویر مربوط به انواع آسیب دیدگی های سطحی روکش ها [14]

جدول (1-1) ابعاد خراش های تولید شده توسط برخی از خراشنده ها

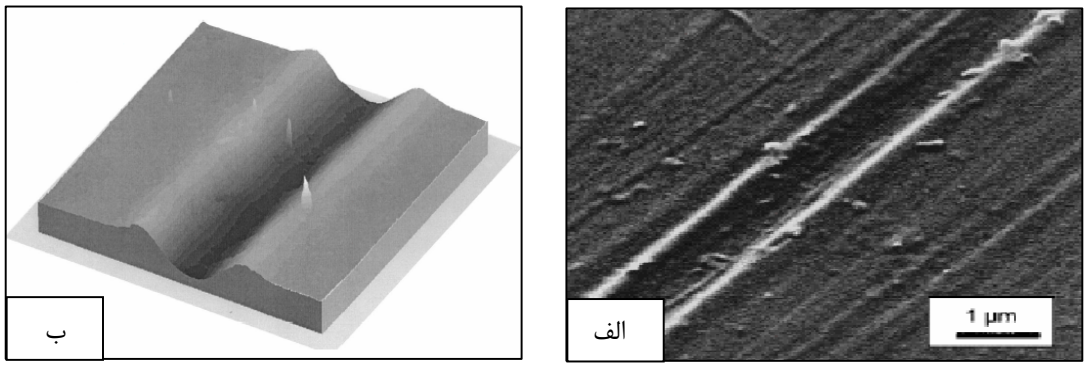
Source of Scratch damage	Scratch width (µm)	Scratch depth (µm)
Carwash	6-10	0.05-0.6
Hand wash	10-20	0.2-0.8
Tree branch	8-20	0.02-0.04
Key	170 190	0.8-1.4
Paper bag	7-13	0.2-0.7
Fingrnail	4-19	0.008 0.1

بررسی دقیق تر خش و خراش های ایجاد شده بر روی سطح روکش ها نشان می دهد که آنها دارای اشکال و مورفولوژی های متفاوت با تاثیرات مختلف بر روی جلوه ظاهری هستند که به طور کلی

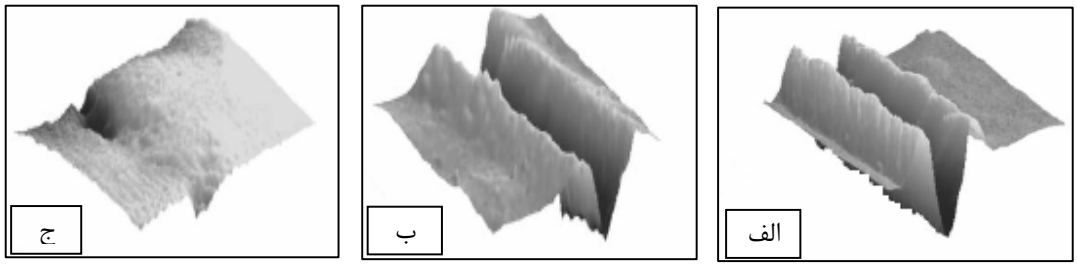
به دو دسته خش و خراش های پلاستیک (plastic or ductile) و شکست (fracture) قابل تقسیم می باشند[1,5,12,16-18].

1-2-1- خش و خراشهای پلاستیک و شکست

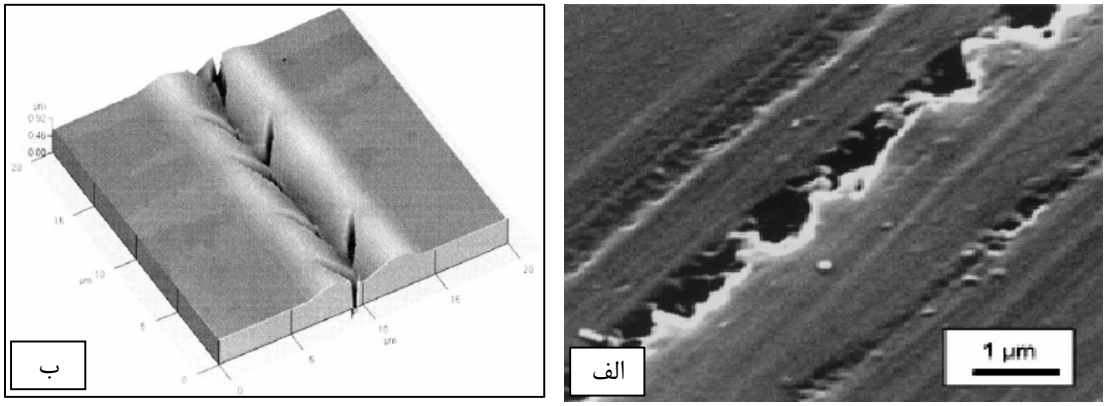
از نظر شکل ظاهری، خش ها و خراش های پلاستیک دارای لبه های برآمده (شانه دار) بدون پارگی و تخریب روکش با عمق و پهنای نسبتا زیاد می باشند، شکل (1-2). نکته جالب در مورد این نوع از خش و خراش ها قابلیت ترمیم پذیری (کاهش ابعاد) آنها با گذشت زمان و یا اعمال حرارت است، شکل (1-3). در حالی که خش ها و خراش های شکست دارای لبه های تیز، دندانه ای و توام با ترک های ریز و پاره شدگی سطحی می باشند و برخلاف خراش های پلاستیک، دما و گذشت زمان تاثیری بر روی آنها ندارد و در واقع این نوع از خراشها غیر قابل ترمیم می باشند، شکل (1-4)، [1].



شکل(1-2) تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) (الف) و اتمی(AFM) (ب) خراش پلاستیک[1,11]



شکل (1-3) قابلیت ترمیم خراش پلاستیک بعد ازگذشت 30روز (الف)،250 روز(ب)و 430روز(ج)[16]



شکل(1-4) تصاویر میکروسکوپ الکترونی (الف) (SEM) و(ب) اتمی(AFM) خراش شکست[11,16]

1-2-2- شرایط تشکیل خش و خراشهای پلاستیک و شکست

نحوه پاسخ و عکس العمل یک روکش به نیروی اعمال شده توسط خراشنده بر آن، پارامتر اصلی و تعیین کننده نوع خش و خراش ایجاد شده می باشد. در واقع زمانی که یک روکش در معرض نیروی خراشنده قرار می گیرد، رفتارها و تغییر شکلهای متفاوتی بسته به خواص ویسکوالاستیک از خود بروز میدهد. این رفتارها و پاسخ ها به سه دسته الاستیک، پلاستیک و شکست تقسیم میگردنـد. در پاسـخ های الاستیک زنجیرهای پلیمری روکش در جهت اعمال نیرو کشیده شده و با آن همراهی می کنند و با حذف نیرو بلافاصله به حالت و مکان اولیه خود برمی گردند، بدون آنکه دچار تخریب و پارگی شوند. در این حالت خراشنده هیچ اثری از خود بر روی سطح روکش باقی نمی گذارد و روکش انرژی تحمیل شده توسط خراشنده را ذخیره و سپس أزاد می نماید [8, 11,17].

در پاسخ های پلاستیک، نیروی اعمال شده توسط خراشنده سبب جابجایی زنجیرها می شود و انرژی وارده شده به روکش بدون ذخیره شدن در اثر حرکت و جابجایی زنجیرهای پلیمری روکش تلف می گردد، لذا با حذف نیرو زنجیرها نمی توانند به جای اول خود برگردند، مگر آنکه به آنها نیرویـی در جهت مخالف نیروی اعمال شده اولیه، تحمیل شود[16].

در تغییر شکل های شکست، زنجیرهای پلیمری روکش یا به هیچ عنوان با نیروی اعمال شده توسط خراشنده همراهی نمی کنند و در صورت افزایش نیرو به بیش از نیروهای همبستگی میان زنجیرها، پاره شدن و تخریب آنها حتمی است، و یا اینکه در ابتدا تغییر شکل الاستیک و یا پلاستیک از خود نشان داده و در ادامه با افزایش نیرو خراشنده از حد تحمل آنها (نیروی همبستگی) دچار پارگی و آسیب دیدگی های شدید می گردند.

لذا شرایط ایجاد خش و خراش های پلاستیک و شکست تابع خواص ویسکوالاستیک، استحکام و نیروهای همبستگی میان زنجیرهای پلیمری روکش که خود تحت تاثیر ساختارشیمیایی و فرمولاسیون روکش است، میباشد. بعلاوه دما و سرعت اعمال نیرو توسط خراشنده بر نوع پاسخ ها و در نتیجه مورفولوژی خش و خراش های موثر می باشد. برای مثال نوع خش و خراش های حاصل از شستشوی دستی و اتوماتیک خودرو با یکدیگر متفاوت می باشند. در شستشوی دستی نیروی زیاد با سرعت کم و در شستشوی اتوماتیک نیرو کم با سرعت زیاد بر روکش اعمال می گردد.

بررسی ها نشان می دهد که با افزایش سرعت اعمال نیرو و کاهش دما، احتمال بروز پاسخ های شکست در روکشها افزایش می یابد.

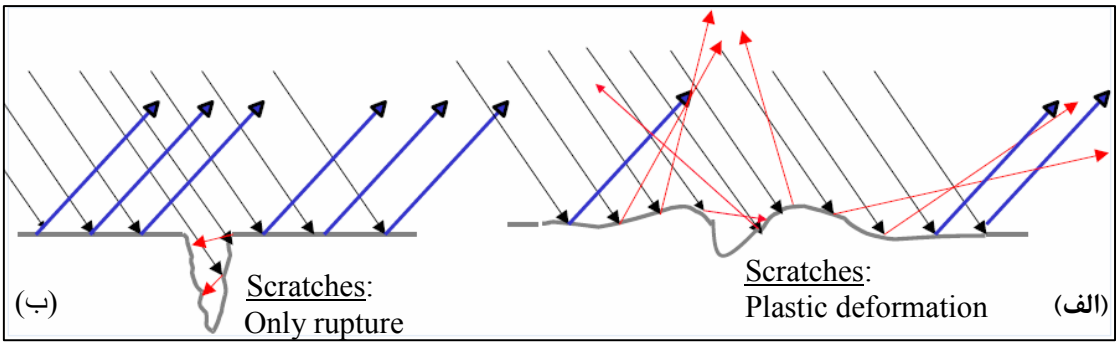
بیشتر روکشهای سطح در شرایط واقعی، ترکیبی از انواع پاسخ های و عکس العمل ها را از خود نشان میدهند که درصد هریک تابع ساختار شیمیایی و خواص ویسکوالاستیک آنها است.

1-2-3- تاثیر نوع خش و خراش بر جلوه ظاهری

ایجاد خش و خراش بر روی سطح روکش ها، جلوه ظاهری آنها را تحت تاثیر قرار میدهد و شدت این تاثیر به مورفولوژی و نوع خش ها و خراش های ایجاد شده بستگی دارد.

در نگاه اول به نظر می رسد که لبه های صاف خش ها و خراش های پلاستیک، افت جلوه ظاهری کمتری از لبه های تیز و شکل هندسی نامنظم تر خش ها و خراش های شکست ایجاد نماید. اما پهنای زیاد خش هاو خراش های پلاستیک از انواع شکست آن تاثیر نمایان تری بر روی افت جلوه ظاهری دارد. این در حالی است که قابلیت ترمیم این نوع از خش ها و خراش ها اثرات منفی آنها را با گذشت زمان کم می نماید.

بعلاوه بعلت انتشار متفاوت نور در لبه های تیز خراش های شکست و صاف خراش های پلاستیک، خش و خراش های شکست تحت زاویه خاصی قابل مشاهده هستند و در زوایای دیگر ناپدید می گردند. در شکل (1-5) این مطلب به وضوح نشان داده شده است[1,5].



شکل(1-5) اثر مورفولوژی خراش برچکونگی انشار نور، پلاستیک(الف) و شکست (ب) شکل باید تغییر نماید

1-3- پارامتر های موثر بر مقاومت به خش و خراش

خواص ویسکوالاستیک روکش های سطح مهمترین پارامتر موثر بر مقاومت به خش پذیری و خراش آنها است. این خاصیت خود علاوه بر خصوصیات ذاتی و ساختاری روکش، به دما و سرعت اعمال نیرو توسط خراشنده نیز بستگی دارد.

همچنین خصوصیات سطحی روکش مانند زبری، لغزندگی و ضریب اصطکاک، سختی و نیز مشخصات هندسی نوک خراشنده از جمله پارامترهای دیگر کنترل کننده مقاومت به خش پذیری و خراش می باشند.

1-3-1- خواص ویسکوالاستیک روکش

از نظر خواص ویسکوالاستیک روکش های سطح به دو دسته روکش های الاستیک (elastomeric coatings) و شیشه ای (glassy coatings) تقسیم می شوند. روکشهای الاستیک دارای دمای انتقال شیشه ای (Tg) کمتر از دمای محیط و مدول یانگ آنها بسته به دانسیته اتصالات عرضی از یک تا 500 مگا پاسکال متغییر است. این روکشها عموما کرنش شکست (failure strain) بالایی دارند و با افزایش دانسیته اتصالات عرضی، به ترتیب مدول و تنش شکست افزایش و کرنش شکست آنها کاهش می یابد.

احتمال تشکیل خش ها و خراش های پلاستیک در این روکش ها تقریبا صفر می باشد و تغییر شکل های حاصل از خراشنده ها بلافاصله بعد ا ز عبور آنها به حالت اولیه خود برمیگردند و در صورت افزایش نیروی خراشنده به بیش از حد تحمل روکش، پارگی زنجیرهای پلیمری و ایجاد خش ها و خراش های شکست قطعی است. بررسیها نشان میدهد که افزایش کرنش شکست و دانسیته اتصالات عرضی همزمان با حفظ دمای انتقال شیشه ای در محدوده دمای محیط، باعث افزایش مقاومت به خراش و خش پذیری این روکش ها می شود. بطور کلی روکشهای الاستیک بهترین مقاومت به خش پذیری و خراش را دارا هستند[23-19] .

روکش های شیشه ای دارای دمای انتقال شیشه ای بیشتر از دمای محیط می باشند و مدول یانگ آنها از 1.3 تا 7 گیگا پاسکال متغییر است. بررسیها نشان می دهد که با کاهش چقرمگی (toughness) یا انرژی شکست روکش های شیشه ای، عمدتا خراشهایی از نوع شکست در آنها ایجاد