

دوره آموزشی افزودنی‌های آسفالت و قیرهای اصلاح شده

مدرس: دکتر وامق

۱۹ آبان ۱۴۰۳



فصل سوم

بررسی چگونگی بهبود خواص قیر

افزایش روبه رشد میزان آمدوشد خصوصاً آمدوشد با بارمحوري سنگين در دهه‌هاي اخير موجب گرديد که در بسياري از کشورها روند خرابي روسازي‌هاي آسفالتي در مقابل عوامل مختلف، سرعت بيشتري گرفته و از اين بابت خساراتي را متوجه صنعت راهسازي کشورها گرداند. بدین سبب مواردی که منتهی به افزایش دوام و کیفیت مطلوب روسازي‌هاي آسفالتي شده و از خرابي‌هاي زودرس لایه‌هاي آسفالتي جلوگیری می‌نماید، مورد توجه پژوهشگران و دست اندرکاران صنعت راهسازي در دهه‌هاي اخير قرار گرفته است. ارتباط اساسي بين خواص و رفتار قير با خواص و رفتار مخلوطهاي آسفالتي باعث گرديده که قير نیز به عنوان يکي از عوامل مؤثر اصلي در عملکرد مطلوب مخلوطهاي آسفالتي همواره مورد توجه قرار گیرد. پیشرفت و توسعه پالایشگاهها در اخذ بيشتري محصولات متفاوت نفتي از نفت خام، به لحاظ مسائل اقتصادي و نیز نگرش بر قير به عنوان يك ماده پس مانده از فرآيندهاي اصلي توليد محصولات موردنظر، باعث گرديده که بعضاً از کیفیت و مرغوبیت قيرها بمرور کاسته گردد. بدین سبب و بعلاوه افزایش تقاضا جهت افزایش عمر و دوام لایه‌هاي آسفالتي و نیز لزوم استفاده از مخلوطهاي آسفالتي مناسب‌تر

برای مقاصد خاص، همچنین بکار بردن لایه‌های آسفالتی در قشرهای نازک‌تر، به لحاظ صرفه‌جویی‌های اقتصادی، جملگی باعث گردید که قیر با کیفیت مطلوب و رفتار مورد نظر مناسب در مخلوط‌های آسفالتی مورد توجه قرار گیرد.

هرچند قیرهای متعارف تولیدی در پالایشگاهها پاسخگوی قسمت اعظم کارهای آسفالتی در شرایط معمولی می‌باشند و اگر این قیرها به طور مناسب برای کاربرد مورد نظر انتخاب و با رعایت کامل اصول مربوطه در تهیه مخلوط‌های آسفالتی مصرف گردند. از خواص مکانیکی کافی در بسیاری از شرایط آمد و شد و آب و هوایی برخوردار خواهند بود، لذا توجه مهندسان و طراحان به مسائلی مانند:

- جلوگیری از تغییر شکل‌های دائم رویه‌های آسفالتی در دمای بالا و قیرزدگی
- افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر خستگی
- افزایش مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر لخت‌شدگی مصالح سنگی و حساسیت‌های رطوبتی
- داشتن انعطاف پذیری مناسب در دماهای پایین و جلوگیری از ترک‌های دمای پایین
- افزایش مقاومت در برابر سایش
- افزایش عمر خدمت‌دهی
- استفاده از مخلوط‌های آسفالتی ویژه برای مقاصد خاص
- کاهش ضخامت لایه‌های آسفالتی

باعث گردید قیرهای معمولی تولید پالایشگاه‌ها محدودیت‌های قابلیت خود را در بیشتر زمینه‌ها نشان دهند. به طور مثال هرچند استفاده از قیرهای سفت‌تر مقاومت مخلوط‌های آسفالتی را در برابر شیارافتادگی افزایش می‌دهد لیکن در این گونه مخلوط‌های آسفالتی احتمال بروز ترک‌های خستگی و همچنین ترک‌های حرارتی در دماهای پایین افزایش می‌یابد. همچنین برخی از مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی درشت و یا دانه‌بندی باز و فضای خالی زیاد با قیرهای معمولی، هرچند ممکن است کارایی اولیه را داشته باشند لیکن از دوام مناسب برخوردار نخواهند بود و یا اینکه مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی ریز و قیر زیاد (مانند ماستیک آسفالت) هرچند مخلوط‌های

مقاومی در برابر نفوذ آب خواهند بود. ولی این مخلوطها به لحاظ داشتن قیر معمولی زیاد، مستعد تغییر شکل و شیار افتادگی و قیرزدگی خواهند بود. به طور کلی محدودیت‌های خواص قیرهای معمولی موجود را به شرح زیر می‌توان عنوان نمود:

- در دمای بالا و بارگذاری طولانی مدت، امکان جاری شدن قیر و قیرزدگی و تغییر شکل دائم و شیار افتادگی وجود دارد.
- در دماهای پایین و بارگذاری طولانی مدت، تحت اثر تنش‌های حرارتی امکان بروز ترک در مخلوط آسفالتی وجود دارد.
- در دماهای پایین و بارگذاری کوتاه مدت، قیر شکننده شده و امکان ایجاد ترکهای مکانیکی بوجود می‌آید.
- عدم امکان استفاده در برخی از مخلوطهای آسفالتی نظیر آسفالت متخلخل و یا ماستیک آسفالت

- عدم امکان استفاده در روکش‌های نازک که دارای کیفیت و دوام کافی نمی‌باشد. محدودیت‌های قیر معمولی باعث گردید که در زمینه اصلاح رفتار قیر و در نتیجه اصلاح عملکرد مخلوطهای آسفالتی گام‌هایی برداشته شود. در دهه‌های اخیر در این زمینه روش‌های مختلف و طیف گسترده‌ای از مواد اصلاح کننده و افزودنی به منظور بهبود خواص و رفتار قیر و در نتیجه بهبود عملکرد مخلوطهای آسفالتی مورد بررسی و استفاده قرار گرفته که میزان و نوع تأثیرات این مواد در تغییرات رفتاری آسفالت کاملاً متفاوت بوده است.

روش‌های بهبود خواص قیرها در برخی موارد با اصلاح و تغییر نوع فرآیند تولید در پالایشگاهها انجام می‌گردد، که این امر منجر به تولید قیر با ویژگی‌های موردنظر می‌شود. (هرچند نوع ترکیبات شیمیایی نفت خام تأثیر مستقیم و عمده‌ای در کیفیت و در نتیجه عملکرد قیرهای حاصله دارد، لیکن توجه به مسائل تولید قیر مانند نوع فرآیندهای تولید و روش‌هایی که در پالایشگاه می‌توان جهت بهبود و اصلاح بکار برد، می‌تواند منجر به تولید قیر با کیفیت بهتر گردد). لیکن در اکثر موارد خواص قیرها با استفاده از موادی مانند گوگرد، خرده لاستیک، انواع پلیمرها، لیاف و برخی مواد شیمیایی برای مقاصد و انتظارات موردنظر، بهبود می‌یابد. نوع تأثیر این مواد و

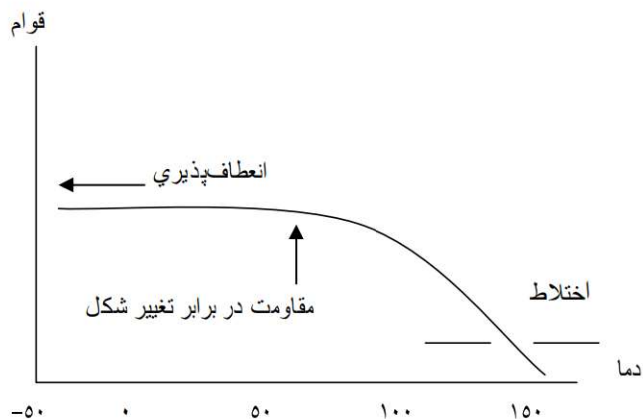
همچنین عملکرد مخلوط آنها با یکدیگر متفاوت می‌باشد. در جدول (۳-۱) تعدادی از انواع اصلاح‌کننده‌های قیر درج گردیده است.

جدول (۳-۱) برخی از اصلاح‌کننده‌های قیر

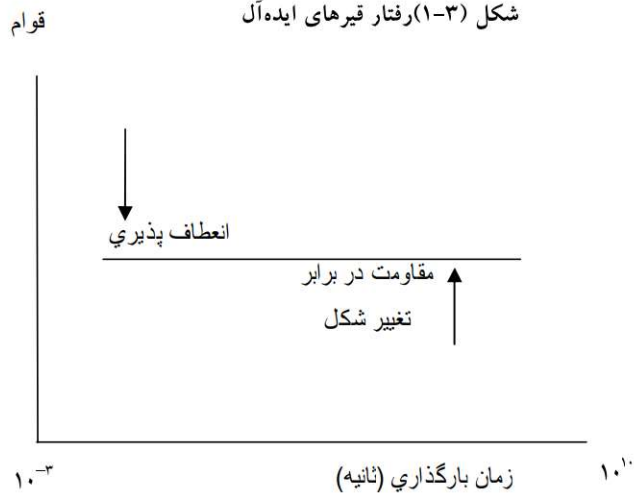
نوع اصلاح‌کننده	مثال
اصلاح‌کننده غیر پلیمری	
۱- فیلرها	اهک - دوده- خاکستر بادی
۲- افزودنی‌های ضد-دعریان‌شدگی	آمین‌ها و آمیدهای آلی
۳- جایگزین‌کننده‌ها	لیگنین و گوگرد
۴- آنتی‌اکسیدانها	آنتی‌اکسیدانهای روی و سرب
۵- ترکیبات آلی فلزی	ترکیبات آلی کوبالت
۶- غیره	انواع الیاف - سیلیکون- ژیلسونیت
اصلاح‌کننده‌های پلیمری	
۱- پلاستیک‌ها	پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)
ترموپلاستیک‌ها	پلی‌وینیل‌کلراید (PVC)، پلی‌استارین PS
۲- الاستومرها	کوپلیمرهای اتیلن (EBA, EMA, EVA)
ترموست‌ها	اپوکسی رزین
۳- لاستیک بازیافت شده	استارین - بوتادین کوپلیمر SBR
۴- الیاف‌ها	استارین - بوتادین - استارین کوپلیمر SBS اتیلن - پروپیلن - دی‌ان‌تریپلیمر (EPDM) ایزوبوتن - ایزوپرن کوپلیمر (IIR)
افزودنی‌های دارای واکنش شیمیایی	
	واکنش افزایشی (قیر + منومر)
	واکنش حرارتی (قیر + گوگرد)
	واکنش نیتراتی (قیر + اسید نیتریک)

همان طوری که اشاره گردید از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف به منظور بهبود رفتار و خواص قیر و مخلوطهای آسفالتی استفاده می‌گردد.

به طور کلی روش‌های اصلاح خواص قیر را می‌توان به دو روش شیمیایی و روش فیزیکی طبقه‌بندی نمود و در هر یک از این دو روش هدف نزدیک شدن به یک نوع رفتار ایده‌آل برای قیر بوده است. رفتار قیر ایده‌آل را می‌توان به شکل‌های زیر نشان داد:



شکل (۱-۳) رفتار قیرهای ایده‌آل



شکل (۲-۳) رفتار قیرهای ایده‌آل

همان طوری که در شکل یک ملاحظه می‌شود قیر اصلاح شده باید از دماهای زیر صفر تا حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد قوام تقریباً یکسانی را داشته و در دماهای پایین انعطاف‌پذیر بوده و در دماهای بالای ۵۰ درجه سانتیگراد مقاومت خوبی در برابر تغییر شکل از خود نشان دهد. در عین حال این قیر باید کندروانی پایینی در حوالی دمای اختلاط داشته باشد تا بتوان آن را با دستگاههای معمولی با مصالح مخلوط نمود. اگر قیر اصلاح شده این خاصیت را نداشته باشد خیلی سریع رد خواهد شد. در شکل (۳-۱) رفتار یک قیر ایده‌آل، در هنگام خدمت‌دهی نشان داده شده است. همان طوری که ملاحظه می‌شود تحت بارهای دینامیکی خیلی سریع و خیلی آهسته که تقریباً معادل شرایط آمد و شد سریع و بارهای سنگین است، قیر ایده‌آل رفتار یکسانی دارد که نتیجتاً قیرهای اصلاح شده نیز بایستی دارای چنین رفتاری می‌باشند.

۳-۱- روش‌های شیمیایی

هرگاه مواد شیمیایی برای ایجاد تغییر در ساختمان شیمیایی و در نتیجه خواص و رفتار فیزیکی قیر بکار برده می‌شوند این نوع اصلاح خواص را یک روش شیمیایی می‌نامند. به عنوان یک اصل پذیرفته شده است که افزایش تعداد گروه‌های قطبی روی مولکولهای قیر باعث افزایش چسبندگی قیر به مصالح سنگی خصوصاً در حضور آب می‌گردد. مواد شیمیایی مختلفی مانند انیدرید کربنیک، تری اکسید کروم، گاز HCL، فورفورال، اسید بنزوئیک و غیره برای ایجاد گروه‌های قطبی روی مولکول‌های قیر مورد آزمایش واقع شده است. همچنین علاوه بر آنها مواد دیگری مانند منگنز و آب آهک نیز در ایجاد تغییرات شیمیایی قیر بکار گرفته شده است. منگنز با بخش‌های اکسید شده مولکول‌های قیر ایجاد کمپلکس نموده و باعث سختی قیر شده و در غلظت‌های کم بهتر از قیر معمولی در مقابل شیارافتادگی رفتار می‌نماید. آهک نیز با قرار گرفتن در سطح مصالح سنگی و سپس واکنش با قیر، چسبندگی قیر به مصالح سنگی را افزایش می‌دهد.

۲-۳- روش‌های فیزیکی

روش‌های فیزیکی به طور گسترده‌تر در مورد اصلاح خواص قیر در نتیجه بهبود رفتار مخلوطهای آسفالتی بکار برده می‌شود. در این روش هیچ پیوند شیمیایی بین ماده اصلاح‌کننده و قیر انجام نمی‌شود. (البته استثناهایی مانند پیوند هیدروژنی امکان وجود دارد) بلکه با اثرات فیزیکی باعث تغییر و اصلاح رفتار قیر می‌گردد. اصلاح‌کننده‌های فیزیکی زیادی برای بهبود خواص قیر جهت مخلوطهای آسفالتی مورد استفاده قرار گرفته است مانند برخی از پلیمرهای نو یا بازیابی شده، دوده، الیاف، برخی از فیبرها، خرده لاستیک، خاکسترهای صنعتی، سلولز، لیگنین و شیشه و غیره.

با توجه به نحوه اصلاح خواص قیر، سه گونه زیر در این رابطه حاصل می‌گردد:

قیرهای ویژه^۱ - این نوع قیرها، قیرهایی هستند که در عملیات ویژه پالایشگاهی برای مصارف خاص، تولید می‌گردد.

قیرهای حاوی مواد افزودنی^۲ - این نوع قیرها به قیرهایی اطلاق می‌گردد که مواد افزودنی هنگام تهیه مخلوطهای آسفالتی به آن اضافه می‌گردد.

قیرهای اصلاح شده^۳ - خواص این نوع قیرها با استفاده از یک عامل شیمیایی قبلاً اصلاح می‌گردد. وقتی این عامل به قیر اولیه اضافه می‌شود، ساختمان شیمیایی و یا خواص مکانیکی آن تغییر یافته و برای مقاصد خاص، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع قیرها در محل راهسازی و یا بدور از محل راهسازی، برحسب مورد، تهیه می‌شود.

۳-۳- قیرهای ویژه

قیرهای ویژه، گروه نسبتاً جدیدی از قیرها می‌باشند که در برخی از پالایشگاهها تحت فرآیندهای خاص، فقط جهت مصارف خاص راهسازی تولید می‌شوند و برای این قیرها، تاکنون مشخصات خاصی ارائه نشده و در حال حاضر طبقه‌بندی آنها براساس سفتی و کارایی آنها انجام

1- Special Bitumens
2- Bitumionous Binder With Additives
3- Modified Binders

می‌گردد. از انواع این قیرها می‌توان به قیرهای سخت، قیرهای چند منظوره، قیرهای رنگ‌پذیر و قیرامولسیونهای کاملاً پایدار Hight Float اشاره نمود.

قیرهای ویژه سخت - این قیر که دارای درجه نفوذ پایین (کمتر از ۳۵ در ۲۵ درجه سانتیگراد) می‌باشند بیشتر در مخلوطهای آسفالتی گرم و برای لایه‌های اساس قیری و بیندر و همچنین در بعضی از مخلوطهای آسفالتی مانند ماستیک آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرد. کارایی و عملکرد این نوع قیرها به لحاظ روش خاص تولید و تصحیح ساختار شیمیایی و رسیدن به ساختمان شیمیایی مناسب در فرآیند تولید، از قیرهای با درجه نفوذ یکسان بهتر می‌باشد. کاربرد این قیرها در راهسازی بیشتر جهت مقابله با شیار افتادگی و افزایش تحمل بار و نیز کاهش ضخامت لایه می‌باشد. این قیرها در دمای پایین شکنندگی کمتری نسبت به قیرهای معمولی با درجه نفوذ یکسان دارند.

مشخصات فیزیکی یک نمونه از این قیرها در جدول (۲-۳) درج گردیده است.

جدول (۲-۳) نتایج فیزیکی یک نمونه قیر ویژه سخت

۲۱	=	درجه نفوذ در $25^{\circ}C$
۶۶	=	نقطه نرمی در $^{\circ}C$
+۰/۲	=	PI
۴۲۰	=	ویسکوزیته کینماتیک در $170^{\circ}C$ $\frac{mm^2}{s}$
	=	مدل مختلط در ۷/۸ هرتز (Mpa)
۴۲۵	=	در $^{\circ}C$
۱۸۰	=	در $10^{\circ}C$
۷۰	=	در $20^{\circ}C$
۰/۷	=	در $60^{\circ}C$

قیرهای چند منظوره^۱ - این قیرها نیز تحت فرآیندهای پیشرفته خاص در پالایشگاه تولید می‌شود. از این نوع قیرها بیشتر به منظور مقاومت باربری بالا، افزایش مقاومت در برابر شیارافتادگی و تغییر شکل در گرما و همچنین کاهش اثرات دمایی پایین و افزایش خاصیت چسبندگی، می‌توان استفاده نمود.

بسته به نوع کاربرد، قیرهای چند منظوره با درجه نفوذهای مختلفی تولید می‌گردد. به طور مثال نوع ۳۵/۵۰، برای مناطق گرم و نوع ۱۸۰/۲۰۰، برای مناطق سرد ارائه می‌گردد. به لحاظ روش‌های مناسب تولید، خواص و کیفیت این قیرها بهتر از قیرهای معمول بوده و در واقع می‌توان جایگاه این قیرها را از نظر کیفیت و کارایی در بین قیرهای معمولی و قیرهای اصلاح شده قرار داد.

خواص چسبندگی بیشتر، مقاومت و دوام در برابر پیرشدگی، مقاومت در برابر شیارافتادگی و تغییر شکل، مقاومت در برابر ایجاد ترک‌های دمایی پایین از مشخصه‌های این نوع قیرها می‌باشند. از این نوع قیرها در لایه‌های اساس قیری، بیندر و رویه استفاده می‌گردد.

۳-۴- قیرهای حاوی مواد افزودنی

در این نوع قیرها مواد افزودنی هنگام تهیه مخلوط آسفالتی به آن اضافه می‌گردد. انواع مختلف مواد با خاصیت‌های مختلف و به شیوه‌های گوناگون و جهت مقاصد متفاوت در این طریق استفاده می‌شود.

انواع مختلف این مواد را به طور کلی می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم نمود:

- افزودن پلیمرها (به داخل مخلوط کن)
- پلاستیک‌های بازیابی شده
- انواع مختلف الیاف (طبیعی، معدنی، مصنوعی یا فلزی)
- قیرهای طبیعی
- مصالح لاستیکی

۳-۵- پلیاستیک های بازیابی شده

ایده استفاده از پلیاستیک های بازیابی شده به منظور افزایش سفتی مخلوط تقریباً به قدمت ظهور قیرهای پلیمری است در این روش ضایعات مختلف از جمله ضایعات پلی اتیلنی در

-
- 1- Anti Clodding
 - 2- Stone Matrix Asphalt
 - 3- Stiffness Modulus

مخلوط آسفالتی استفاده می‌گردد. معمولاً این مواد بین ۰/۴ تا ۰/۱ وزن مصالح خشک بکار برده می‌شود. به دلیل خطر شکننده شدن مخلوط آسفالتی در دماهای پایین و ایجاد ترک‌های حرارتی، این نسبت نباید از این مقدار تجاوز کند.

این مواد در بسته‌های قابل ذوب تهیه و در کارخانه‌های آسفالت، از دریچه بالایی مخلوطکن اضافه می‌گردد. تحقیقات نشان داده که افزایش ۵ درصد پلی اتیلن با چگالی بالا (HDPE) به قیرهای ۴۰/۵۰ و ۸۰/۱۰۰ باعث سختی بیش از حد و جمع‌شدگی در هنگام سرد شدن می‌شود. افزایش ۲ درصد به یک قیر ۸۰/۱۰۰ مخلوط آسفالتی را تولید می‌نماید که خواص مارشال مشابه با خواص مخلوط بدست آمده از یک قیر سخت‌تر ۵۰/۶۰ را دارد.

۳-۶- الیاف

انواع مختلف الیاف‌های طبیعی، مصنوعی و معدنی در مخلوط‌های آسفالتی به منظور بهبود بعضی از خواص مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌گردد و مقدار، اثر و نوع الیاف بستگی به مشخصات قیر و مخلوط آسفالتی موردنظر دارد. به طور کلی می‌توان اثر الیاف در مخلوط‌های آسفالتی را به دو صورت زیر بیان نمود:

- اثر کوتاه‌مدت- افزودن الیاف در خلال تولید، حمل و عملیات آسفالتی باعث جلوگیری از خطر قیرزدگی شده و استفاده از قیر بیشتر را امکان پذیر می‌سازد.
- اثر بلندمدت- در زمان خدمت‌دهی، الیاف باعث بهبود خواص مکانیکی و دوام مخلوط آسفالتی می‌گردد.

البته باید در نظر داشت که نوع الیاف در عملکردهای فوق متفاوت می‌باشد. از انواع الیاف‌های مورد استفاده در راهسازی، می‌توان به الیاف سلولزی، پشم سنگ، پشم شیشه، الیاف‌های پلیمری (مانند الیاف پلی‌استر، الیاف پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن) الیاف فولادی اشاره نمود.

۳-۷- قیرهای طبیعی

قیرهای طبیعی در اثر نفوذ مواد نفتی به سطح زمین، تبخیر هیدروکربورهای سبک، طی سالیان دراز تشکیل شده‌اند. از این قیرها به طور مستقیم و یا با اختلاط با قیرهای حاصل از

پالایش نفت خام خصوصاً در اختلاط با قیرهای حاصل از تقطیر مستقیم جهت مصارف راهسازی استفاده می‌گردد. در اثر افزایش این قیرها به قیرهای تولید شده در پالایشگاه، حساسیت حرارتی قیرها کاهش یافته و مقاومت آنها در برابر شیارافتادگی افزایش می‌یابد.

۳-۸- مصالح لاستیکی

درسی سال گذشته افزودن مصالح لاستیکی بازیابی شده به مخلوطهای آسفالتی به عنوان هدف ثانویه و به لحاظ مسائل زیست محیطی در مخلوطهای آسفالتی مطرح و در این زمینه بررسی و تحقیقاتی انجام گرفت. از جمله این مورد افزودن خرده یا پودر لاستیک تایرهای کهنه و فرسوده به مخلوطهای آسفالتی با دو فرآیند خشک^۱ و تر^۲ می‌باشند.

در فرآیند تر، پودر لاستیک با قیر مذاب مخلوط شده و نتیجتاً قیر لاستیکی^۳ حاصل می‌گردد. در این فرآیند اندازه ذرات پودر لاستیک، درجه حرارت اختلاط، زمان اختلاط و نحوه اختلاط و عمل‌آوری از عواملی هستند که تأثیر مهمی در خواص قیر اولیه ایجاد می‌نماید. (فرآیند تر در گروه قیرهای اصلاح شده طبقه‌بندی می‌گردد، که به لحاظ ارتباط موضوع، در انتهای این بخش آورده شده است).

روش عمومی فرآیند خشک شامل افزایش مستقیم مصالح لاستیکی خرد شده در مخلوطکن کارخانه آسفالت می‌باشد و اندازه ذرات خرده لاستیک در این روش، اغلب چند میلیمتر (معمولاً ۲ میلی‌متر) می‌باشد. مقدار آن حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد وزن قیر و درصد آن در مخلوط آسفالتی برابر ۱۰ تا ۱۲ کیلوگرم در هر تن می‌باشد.

فرآیندهای مختلفی از نظر اندازه ذرات و نحوه اختلاط در این زمینه وجود دارد. در نوعی از این فرآیند، ذرات درشت خرده لاستیک با حدود اندازه ۶-۲ میلی‌متر و بخش دیگر از ذرات ریزتر توأم استفاده می‌گردد.

1- Dry Process
2- Wet Process
3- Asphalt Rubber

در فرآیند فرانسوی، خرده لاستیک صفر تا ۱/۵ میلیمتری جایگزین بخشی از ماسه (۲ تا ۴ درصد وزنی) می‌گردد. در مجموع، درصد لاستیک به منشاء لاستیک (طبیعی یا مصنوعی) بستگی دارد که مقدار نوع مصنوعی آن کمتر می‌باشد.

در کارخانه آسفالت خرده لاستیک در داخل کیسه‌های پلاستیکی قابل نوب قرار گرفته و این کیسه‌ها مستقیماً به مخلوطکن وارد می‌گردد، معمولاً این افزایش قبل از افزودن قیر انجام می‌گیرد. چگالی لاستیک معمولاً در حدود ۱/۱۵ است که در هنگام طراحی و ساخت بایستی در نظر گرفته شود. جهت تراکم مخلوط آسفالتی در این روش از غلطک‌های با تایرهای بادی به دلیل چسبندگی قیر نمی‌توان استفاده نمود.

افزودن لاستیک در مخلوط آسفالتی باعث افزایش کندروانی قیر، کاهش درجه نفوذ قیر، افزایش نقطه نرمی قیر و کاهش مدول مصالح گشته، که در نتیجه این تأثیرات باعث بهبود مقاومت مخلوط آسفالتی در مقابل ترک و تغییر شکل می‌گردد. استفاده از لاستیک بیشتر به دلیل خاصیت ارتجاعی لاستیک در نتیجه افزایش رفتار لاستیک قیر در مخلوط آسفالتی و همچنین سفت بودن آن در درجه حرارت‌های محیط می‌باشد به علاوه تحقیقات انجام شده نشان داده که اختلاط لاستیک در مخلوط‌های آسفالتی میزان حساسیت حرارتی قیر را نیز کاهش می‌دهد.

شایان ذکر است انواع مختلف خرده لاستیک اثرات متفاوتی بر روی خواص قیر دارند و علت آن اختلاف و نوع مواد سازنده خرده لاستیک می‌باشد همچنین دما، شیوه و مدت زمان اختلاط نیز تأثیر عمده‌ای بر رفتار حاصله دارد. فرآیندهای مختلفی جهت تولید قیر اصلاح شده با لاستیک (تر) ابداع و ارائه گردیده است. این نوع قیرهای اصلاح شده به دلیل ناپایداری باید فوراً مصرف و یا ذخیره گردند که مثالی از هر دو مورد مذکور آمده است:

قیرهای لاستیکی غیرقابل انبار کردن - این نوع قیرها باید بلافاصله پس از تولید مصرف

شوند. این قیرها حدوداً حاوی مواد زیر هستند:

- ۷۹ درصد قیر تقطیر مستقیم با درجه نفوذ ۸۰/۱۰۰

- ۳ درصد روغن آروماتیک جهت روان‌سازی قیر و افزایش فعالیت آن در برابر جزء

سوم

– ۱۸ درصد خرده لاستیک حاصل از تایرهای کهنه

برای رسیدن به یک سطح مخصوص وسیع‌تر جهت انجام واکنش خرده لاستیک بدست آمده از عملیات خردکردن در دمای محیط بر شکستن در دمای پایین ترجیح دارد. این پودر حاوی نسبت‌های مساوی از لاستیک طبیعی و مصنوعی است. برای رسیدن به این هدف ۵۰ درصد تایر کهنه سواری (۸۰ درصد مصنوعی و ۲۰ درصد طبیعی) و ۵۰ درصد تایر کهنه کامیون (۲۰ درصد مصنوعی و ۸۰ درصد طبیعی) با هم مخلوط می‌شوند.

اثر نرم‌کنندگی روغن به تورم ذرات لاستیک توسط اجزاء قیر کمک می‌کند. به دلیل دمای بالایی فرآیند تهیه این نوع قیر (۲۰۵ درجه سانتیگراد) مقداری لاستیک در قیر حل شده و مقداری از آن نیز دولکانیزه^۱ می‌گردد.

این کار باعث تشکیل شبکه سه بعدی از پیوندها می‌شود که به قیر لاستیکی کیفیت الاستومری، کندروانی بالا در دماهای بالا انعطاف‌پذیری خوب در دمای پایین می‌دهد. مخلوطهایی که با قیر ۸۰/۱۰۰ و مقدار ۱۴ تا ۲۰ درصد لاستیک داشته‌اند مشخصات زیر را دارا بوده‌اند:

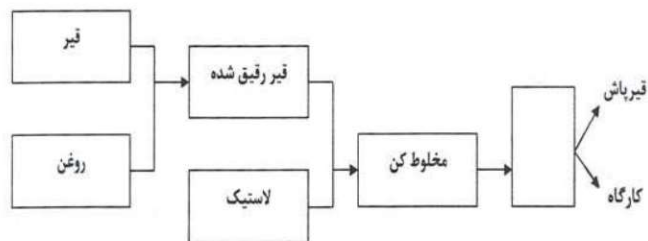
– ازدیاد طول در پارگی، بیشتر از ۲۰۰ درصد در $10^{\circ}C$ –

– نقطه نرمی: ۵۷ تا ۶۸ درجه سانتیگراد

– خاصیت کشش پذیری در $25^{\circ}C$: ۱۷ تا ۲۰ سانتی‌متر

شرایط ساخت - این نوع مخلوطها در یک مخلوطکن ویژه که در شکل (۳-۳) نشان داده

شده در $205^{\circ}C$ تهیه می‌شود. مدت زمان مخلوط کردن در $205^{\circ}C$ اثر عمده‌ای بر کندروانی مخلوط حاصل دارد. مدت این فرآیند معمولاً بین دو تا سه ساعت است.



شکل (۳-۳) فرآیند ساخت قیر لاستیکی غیر انبارداری

بهتری را از خود نشان داده‌اند. همان گونه که در قیل اشاره گردید از مواد مختلفی به منظور بهبود خواص قیرها استفاده می‌گردد که از آن جمله این مواد گوگرد می‌باشد.

۳-۹- گوگرد

انگیزه اولیه استفاده از گوگرد در مخلوطهای آسفالتی جایگزینی این ماده نسبتاً ارزان قیمت و فراوان به جای درصدی از قیر بوده که در این زمینه این ماده تا میزان ۵۰ درصد نیز برای جایگزینی در نظر گرفته شده است. با بررسی و تحقیقاتی که در این زمینه بعمل آمده نشان داده شد که افزایش گوگرد به قیر باعث برخی تغییرات شیمیایی و فیزیکی در قیر شده که در نتیجه بهبود برخی از رفتارهای قیر را در پی داشته و عملکرد مطلوب مخلوطهای آسفالتی را افزایش می‌دهد.

گوگرد جسم جامد و زردرنگی است که در درجه حرارت محیط مرکب از هشت اتم که به صورت ۸ ضلعی قرار گرفته، می‌باشد. وقتی دمای این ماده به حدود ۱۲۰ درجه سانتیگراد برسد ذوب شده و ساختمان شیمیایی آن شکسته و قابلیت ترکیب با کربورهای اشباع نشده قیر را بدست می‌آورد.

در دمای حدود ۱۶۰ درجه سانتیگراد یک افزایش ناگهانی در کندروانی آن حاصل شده و آن را به حالت خمیری در می‌آورد که از خواص ویژه گوگرد می‌باشد. در درجه حرارت‌های بالاتر از ۱۶۰ درجه سانتیگراد گوگرد ایجاد گازهای سمی و خورنده (SH_2) می‌نماید که در مجاورت آب تولید اسیدسولفوریک می‌گردد.

واکنش بین گوگرد و قیر تابعی از درجه حرارت و غلظت گوگرد می‌باشد. اضافه کردن گوگرد به قیر خالص در دمای بین ۱۱۹ تا ۱۵۷ درجه سانتیگراد به دلیل کندروانی کم گوگرد موجب کاهش کندروانی قیر شده و در دمای بیشتر از آن باعث افزایش کندروانی قیر در نتیجه سفت شدن آن می‌گردد.

گوگرد در دمای بالا پلیمریزه شده و به صورت زنجیر دو رادیکاله در می‌آید. رادیکال‌ها ممکن است به دو صورت با قیر عمل کنند یا تشکیل پیوند کربن- سولفور دهند و یا اینکه هیدروژن جذب کرده و باعث سخت شدن قیر گردند. احتمال انجام هر یک از فعل و انفعالات به

درجه حرارت بستگی داشته و محصول عمل متفاوت خواهد بود. در دمای حدود ۲۴۰ درجه سانتیگراد گوگرد مشابه اکسیژن هوا عمل می‌نماید و گاز (SH_2) آزاد می‌گردد.

وقتی دما در حدود 140 ± 5 باشد اتم‌های گوگرد وارد مولکولهای نفتن آروماتیک قیر شده و باعث تشکیل پلی سولفایدها می‌گردند و میزان گروه نفتن آروماتیک‌های قیر در حین فرآیند کاهش بیشتری می‌یابد. پلی سولفایدها از نظر قطبیت در گروه پلار آروماتیک‌ها جای دارند. در نتیجه قیر نرمتر می‌گردد. خاصیت الاستیسیته آن بیشتر خواهد شد. در واقع از میان چهار گروه اصلی تشکیل دهنده قیر یعنی گروه‌های اشباع شده نفتن آروماتیک پلار آروماتیک - آسفالتین - گروه نفتین آروماتیک است که بیشترین تغییرات و تحولات شیمیایی را با گوگرد انجام می‌دهد تغییرات رئولوژیکی قیر در ۲۴۰ درجه سانتیگراد ناشی از افزایش نسبت آسفالتین به رزین است. در محدوده ۱۴۰ درجه سانتیگراد تمام گوگرد افزوده شده به قیر واکنش نداده و بخشی از آن به صورت معلق در قیر باقی می‌ماند درصد گوگرد واکنش داده بستگی به غلظت گوگرد و درصد بخش آروماتیک قیر در نتیجه به نوع قیر و نوع نفت خام دارد.

گوگرد تا حدود ۴ درصد وزنی با قیر ترکیب شده و تا ۲۵ درصد در قیر حل شده و ترکیب شیمیایی بوجود نمی‌آورد. در مقادیر بین ۲۵ تا ۵۰ درصد گوگرد می‌تواند به صورت ذرات ریز در قیر پخش شود که بیشتر از این مقدار گوگرد تمایل به ته‌نشینی دارد. همان گونه که ذکر شد مقدار گوگرد و درجه حرارت تأثیر عمده‌ای بر خواص قیر خالص دارند در محدوده ۱۴۰ درجه سانتیگراد بدلیل ورود اتم‌های گوگرد در ساختمان مولکولی بخش نفتن آروماتیک‌های قیر و تبدیل آنها به آروماتیک‌های قطبی قیر نرمتر می‌شود.

مطالعات انجام شده نشان داده است که افزایش ۵ درصد گوگرد باعث افزایش قابل توجه درجه نفوذ شده و با افزایش مقدار گوگرد تا حدود ۴۵ درصد، درجه نفوذ تفاوت قابل توجهی نشان نمی‌دهند. با افزایش مقدار گوگرد از حد فوق درجه نفوذ به حد پایین‌تر از حد اولیه قیر پایه خواهد رسید. همچنین بدلیل تغییر و تبدیل ساختار نفتن آروماتیک‌ها به آروماتیک‌های قطبی و ثابت ماندن نسبت آسفالتن‌ها به اشباع شده‌ها روند افزایش گوگرد به قیر نقطه نرمی آن را تغییر چندانی حاصل نمی‌نماید.

مناسب برای تهیه مخلوط یکنواخت می‌باشد لیکن به لحاظ هزینه زیاد آن کاربرد گسترده‌ای ندارد. روش مناسب و ارزان برای برهم زدن خوب و مطمئن همزن‌های استاتیکی می‌باشند که این همزن‌ها مجهز به پره‌های دورانی بوده و در جایی که گوگرد و قیر به هم می‌رسند قرار می‌گیرد. همچنین می‌توان گوگرد را با قیر مایع در ظرف توزین کارخانه آسفالت و قبل از وارد شدن به مخزن اختلاط، مخلوط نموده و یا اینکه گوگرد مایع یا جامد را مستقیماً در مخزن اختلاط کارخانه آسفالت وارد نمود. شایان ذکر است در هنگام استفاده از گوگرد جهت ساخت مخلوطهای آسفالتی بایستی به مسایل ایمنی مربوط به کارکرد با گوگرد توجه خاصی معمول گردد.

۳-۱۰- قیرهای اصلاح شده

قیرهای اصلاح شده قیرهایی هستند که خواص آنها با افزایش يك ماده به داخل قیر تغییر داده می‌شود. این مواد وقتی به قیر اولیه اضافه می‌گردد، ساختمان شیمیایی یا فیزیکی و یا مکانیکی آن را تغییر می‌دهد. جهت تولید قیرهای اصلاح شده از مواد مختلفی که در قبل نیز ذکر شده، می‌توان استفاده نمود. لیکن آنچه در حال حاضر و به طور گسترده در این زمینه استفاده می‌گردد مواد پلیمری می‌باشد. این قیرها در محل کارخانه آسفالت و در محل راهسازی قبل از اختلاط با مصالح سنگی و یا توسط يك واحد سیار تهیه می‌گردد.

شایان ذکر است بدلائل اقتصادی قیرهای اصلاح شده هرگز قرار نخواهد بود که جایگزینی کاملی برای قیرهای مرسوم باشند لذا در این زمینه بایستی انتظارات خاصی که از مخلوط آسفالتی در نظر است مورد ارزیابی قرار گرفته و با در نظر گرفتن کلیه جوانب و با انتخاب صحیح و درک کامل از عملکرد آن از قیرهای اصلاح شده استفاده نمود. ضمناً باید در نظر داشت گزارشات زیادی بر مبنای آزمون‌های آزمایشگاهی انواع قیرهای اصلاح شده ارائه گردیده که حاکی از بهبود رفتار قیر بوده است لیکن باید توجه داشت عملکرد قیر در رابطه و به همراه مخلوط آسفالتی بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد. در این زمینه بررسی‌های کارگاهی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد.

فصل چهارم

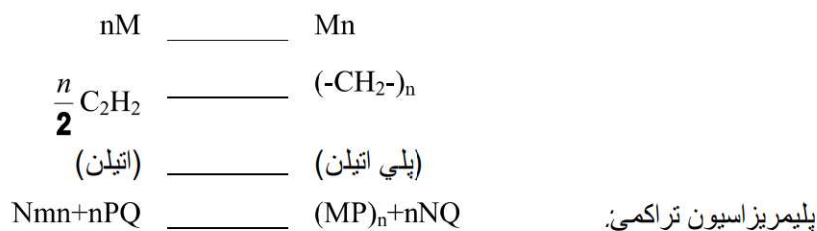
بهبود خواص قیرها با استفاده از پلیمرها

از معمول‌ترین و متداول‌ترین موادی که در دهه‌های اخیر جهت بهبود خواص و عملکرد قیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد پلیمرها هستند این مواد که به صورت ماده افزودنی و یا به صورت ماده اصلاح‌کننده برای افزایش دوام و پایداری مخلوطهای آسفالتی بکار گرفته می‌شوند، شامل گستره وسیعی از ترکیبات مختلف هستند که بحسب شرایط می‌توان از آنها استفاده نمود. تجربیات عملی نشان داده که تأثیر برخی از این پلیمرها در مقابل افزودنی‌ها و اصلاح‌کننده‌های دیگر رضایت‌بخش‌تر بوده است. بدین سبب استفاده از مواد پلیمری در انواع مخلوطهای آسفالتی خصوصاً در روسازی‌های نازک و انواع لایه‌های سطحی نتایج رضایت‌بخشی در زمینه عملکرد مطلوب اینگونه مخلوطهای آسفالتی ارائه گردیده است.

پلیمرها مولکولهای بسیار بزرگی هستند، که در آنها گروه‌های یکسان از اتم‌ها به تعداد زیاد (صدها یا هزاران اتم با اتصال یک گانه و یا دوگانه و گاهی بیشتر) تکرار شده‌اند. این واحدهای تکرار شونده می‌توانند از یک یا چند مولکول (مونمر) تشکیل شوند. روند پلیمریزاسیون ممکن

است با طی یکی از دو مکانیسم زیر بدست آید، که اصطلاحاً آنها را پلیمریزاسیون افزایشی^۱ و تراکمی^۲ می‌نامند.

پلیمریزاسیون افزایشی:



در این فرمول MN و PQ مونومرهایی هستند که ممکن است متشابه و یا نامتشابه باشند. اصطلاح تراکمی غالباً به واکنشهایی اطلاق می‌شود که در آن مولکول‌ها همراه با ترکیب شدن مولکول‌های کوچک به یکدیگر می‌پیوندند. این بدان معنی است که در پلیمریزاسیون تراکمی، پلیمر تنها فرآورده واکنش نیست.

با وجود مقدار زیاد تولیدات پلیمری تنها تعداد محدودی از آنها برای اصلاح خواص قیرها مناسب هستند. پلیمری که برای اصلاح خواص و رفتار قیر استفاده می‌شود باید:

- با قیر سازگار باشد.
- در دماهای اختلاط آسفالت تخریب نگردد.
- حساسیت حرارتی قیر را بهبود بخشد.
- به کم‌ک تجهیزات مرسوم اختلاط و پخش مصالح بتوان مراحل آن را اجرا کرد.
- در دماهای کاربرد عادی قابلیت رسیدن به کندروانی لازم برای پوشش دادن را داشته باشد.
- در هنگام انبار کردن و نگاهداری و پس از خدمت‌دهی و وقتیکه با قیر مخلوط می‌شود هنوز خواص اولیه خود را حفظ کند.

1- Addition

2- Condensation

به منظور نائل شدن به خواص بهبود یافته قیر، باید یک پلیمر برگزیده با واکنش مولکولی یا شیمیایی با قیر، به شبکه ثانویه یا سیستم متعادلی در داخل قیر بیانجامد. عملکرد سیستم قیر اصلاح شده بر پراکنش مناسب پلیمر در قیر بستگی دارد که برای این امر ترکیب شیمیایی قیر از اهمیت خاصی برخوردار است. درجه تغییر ایجاد شده در قیر به خاصیت پلیمر، درصد پلیمر و نیز ماهیت قیر بستگی دارد.

پلیمرها به دو دسته کلی "پلیمرهای گرما سخت (ترموست‌ها)^۱ و پلیمرهای گرمانرم (ترموپلاستیک‌ها)^۲" تقسیم می‌شوند: [۱]

پلیمرهای گرماسخت - پلیمرهای گرماسخت که بطور برگشت‌ناپذیر در دمایی که به ماهیت شیمیایی آنها بستگی دارد سخت می‌شوند. زنجیره مولکولی آنها شبکه سه بعدی را تشکیل می‌دهند که در مقابل هر تحرك حرارتی مقاومت می‌کند. این نوع پلیمرها به ندرت در کاربردهای راهسازی به قیر افزوده می‌شوند.

پلیمرهای گرمانرم - این پلیمرها وقتی گرم شوند ذوب و یا نرم شده و قابل فرآیند می‌شوند این نوع پلیمرها اساساً زنجیره‌ای ماکرو مولکول خطی با تعدادی شاخه‌های فرعی هستند که در آنها در دماهای بالا به قیر افزوده می‌شوند و مخلوط حاصله کذروانی بالایی را خواهد داشت.

پلیمرهای گرمانرم به دو دسته الاستومرها^۳ و پلاستومرها^۴ تقسیم می‌شوند. در دماهای خدمت‌دهی کارآیی آنها از چند جنبه خصوصاً سختی، تغییر شکل‌پذیری و تاب ضربه متفاوت هستند. در مورد پلاستومرها تغییر شکل کشسان با یک تغییر شکل دائمی نسبتاً بزرگ همراه است و به هر حال باید گفته شود که این دوگروه گسترده‌ای از مواد را بدست می‌دهند. که خصالت‌های الاستومری و پلاستیکی آنها بسته به نسبت فازهای منعطف و سخت ماتریس پلیمری تغییر می‌کند. در برخی از کاربردها، چندین پلیمر را به همراه یکدیگر می‌توان به قیر اضافه شود. در جدول (۱-۴) برخی از این مواد که در اصلاح قیر بکار می‌روند، آورده شده است. البته باید بین اصلاحاتی که در آنها تنها مخلوط کردن انجام می‌شود و اصلاحاتی که در آنها واکنش‌های شیمیایی

-
- 1- Thermosetting
 - 2- Thermoplastic
 - 3- Elastomeres
 - 4- Plastomers

مانند ولکانیزاسیون در طی ساخت قیر اصلاح شده انجام می‌شود تفاوت قائل شد. مواد دیگری غیر از پلیمرهای مصنوعی مانند لاستیک بازیابی شده و شیرابه‌ها (Latex) نیز در اصلاح قیرها بکار می‌روند.

جدول (۴-۱) برخی از مواد پلیمری بکار رفته در اصلاح قیرها [۱]

۱- پلیمرهای الاستومری:	
SBS	- کوپلیمر استایرن- بوتادین- استایرن
SIS	- کوپلیمر استایرن- ایزوپرن- استایرن
SB	- استایرن بوتادین
SBR	- کوپلیمر اتفاقی استایرن بوتادین
۲- پلیمرهای پلاستومری	
EVA	- کوپلیمر اتیلن- وینیل استات
EMA	- کوپلیمر اتیلن- متیل اکریلات
EBA	- کوپلیمر اتیلن- بوتیل اکریلات
PIB	- پلی ایزوبوتیلن
۳- پلاستیک‌های معمولی:	
PVC، پلی الفین‌ها و...	
۴- شیرابه‌ها:	
- پلی کلروپرن	
- لاستیک‌های طبیعی	
SBR -	
۵- لاستیک‌های بازیابی شده	

۴-۱- الاستومرها [۱]

الاستومرها از جمله پلیمرهایی هستند که بطور گسترده در بهبود خواص قیر و در نتیجه اصلاح عملکرد مخلوطهای آسفالتی در راهسازی به تنهایی و یا به همراه سایر پلیمرها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد بیشتر به دلیل داشتن خاصیت الاستیسیته مورد توجه قرار گرفته‌اند.

معمول‌ترین این پلیمرها که در راهسازی استفاده می‌گردد، کوپلیمرهای استایرن- بوتادین است. این نوع پلیمرها می‌توانند کوپلیمرهای اتفاقی (SBR)^۱ و یا به صورت کوپلیمرهای دو یا سه بخشی (SB یا SBS)^۲ باشند. کوپلیمرهای سه بخشی می‌توانند خطی، شعاعی و یا حتی مقداری هیدروژنه باشند (SEBS). کوپلیمرهای استایرن - ایزوپرن - (SIS)، تریپلیمرهای اتیلن- پروپیلن و منومر دی ان (EPDM) و پلی کلروپرن‌ها و پلیمرهای SBS کوپوکسیل‌دار نیز گاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الاستومرهای بکار رفته در اصلاح قیر معمولاً از پلیمریزاسیون آنیونی حاصل می‌گردند. این پلیمرها از پلیمرکردن بوتادین توسط یک فلز قلیایی مانند سدیم یا پتاسیم بدست می‌آید. سه نوع عمده کاتالیزور در پلیمریزاسیون آنیونی بکار می‌روند که عبارتند از فلزات قلیایی (لیتیم، سدیم و پتاسیم)، کمپلکس‌های آروماتیک فلزات قلیایی (مانند سدیم، نفتالین)، کمپلکس‌های آلی قلیایی (مانند بوتیل لیتیم) و نوع اخیر این کاتالیزورها متنوع‌ترین آنها می‌باشد و به علت حلالیت آنها در حلالهای هیدروکربنی و اثرها به دلیل آنکه مکانیزم واکنش کاملاً آنیونی بوده و از واکنشهای ثانویه به مقدار زیادی جلوگیری می‌کند، بیشتر در صنعت استفاده می‌شود. در نتیجه اگر از خلوص لازم برخوردار باشند، هیچ واکنش اختتامی صورت نمی‌گیرد. بطور مثال با یک منومر دیگر می‌توان پلیمریزاسیون را مجدداً شروع کرده، شبکه‌ای شدن زنجیرهای پلیمری را افزایش داد و گروه‌های عاملی را در زنجیر وارد کرده و غیره. به همین دلیل، پلیمریزاسیون آنیونی، گستره وسیعی از ترکیبات شیمیایی، وزن مولکولی و ساختمانهای میکرو و ماکرو را تولید می‌کند. در جدول (۴-۲) برخی از مثال‌های ساختمان‌های پلیمری قابل تولید، نشان داده شده است.

جدول (۴-۲) چند ساختمان پلیمری قابل بدست آوردن از پلیمریزاسیون آنیونی

کوپلیمر بلاک جزی SB	هموپلیمر خطی (BR)
بلاک کوپلیمر SBS	هموپلیمر شاخه‌ای (BR)
	کوپلیمر اتفاقی (SBR)

- 1- Styrene-Butadien-rubber
- 2- Styrene-Butadiene
- 3- Styrene-Butadien-Styrene

الاستومرهای گرمانرم استایرنی- [۱] از دیدگاه ساختاری و ساختمانی اینها کوپلیمرهای بلاک از نوع $X - (S - D)_n$ هستند که در آن S بلاک استایرن، D بلاک الاستومر پلی بوتادین در SBS، پلی ایزوپرن در SIS یا اشکال هیدروژنه آنها در SEBS یا SEPS می‌باشد. X یک عامل شبکه‌کننده است که با دقت انتخاب می‌گردد. در ساختمان ماکرو مولکولی این نوع پلیمرها بلاک‌های استایرن معمولاً در خارج قرار می‌گیرد که با بلاک الاستومر مرکزی پیوند شیمیایی دارند.

در پلیمرهای SBS که در قیرهای راهسازی بکار می‌روند، معمولاً استایرن بین ۲۰ تا ۳۰ درصد وزن کل این پلیمرها را تشکیل می‌دهد. درصد بیشتر استایرن می‌تواند باعث ناسازگاری با قیر و اشکالاتی در پخش کردن و ناپایداری انبارداری در دماهای بالا شود.

اگر بلاک‌های پلاستیک و الاستومر بطور ترمودینامیکی با یکدیگر ناسازگار باشند سیستم دوفازی تولید خواهد شد که در آن بخش‌های ناپیوسته پلی استایرن در یک زمینه پیوسته بوتادین محبوس می‌شوند.

کوپلیمرهای بلاک جزئی(SB)- این گروه از پلیمرها شامل پلیمرهای بسیار متفاوتی از کاملاً دی بلاک گرفته تا ساختمان‌های پیچیده‌تر، که در آنها بلاک‌های خالص و بخش‌هایی که در آنها منومرها به صورت اتفاقی توزیع شده‌اند، می‌باشند. از نظر رفتاری، رئولوژیکی این پلیمرها بین پلیمرهای SBR و SBS قرار دارند. ساختمان بلاک، ساختمانی مشابه با ساختمان SBS که در آن فازهای مختلف وجود دارند، ایجاد می‌کند، ولی در آن فازها برای آنکه پلیمر مانند لاستیک ولکانیزه، حاوی پرکننده عمل کند، به اندازه کافی از یکدیگر جدا نیستند.

قیرهای الاستومری- این نوع قیرها از اختلاط قیر و پلیمرالاستومری در دمایی بالاتر از نقطه نرم شدن پلیمر و به همراه همزدن (برای اطمینان از اختلاط کامل فازها) بدست می‌آید. مخلوطهای قیر با الاستومرهای شبکه‌ای شده و شبکه‌ای نشده، متفاوت از یکدیگر می‌باشند. برای درک برهمکنش‌های بین قیر و الاستومرهای گرمانرم استایرنی موارد زیر را باید در نظر گرفت:

– ماهیت قیر

– تمایل پلیمر به جدایی فاز

همان طوری که در قبل نیز اشاره شد قیرها مخلوطهای پیچیده‌ای از هیدروکربن‌ها هستند که ساختار شیمیایی و وزن مولکولی آنها متغیر است. از دیدگاه ساختمانی پذیرفته شده است که قیرها مخلوطهای معلق کلونیدی هستند که در آنها فاز غیر پیوسته آسفالتین توسط لایه‌ای از رزین‌های قطبی محاصره شده و میسل‌هایی را تشکیل می‌دهند که در فاز مالتن که مخلوطی از هیدروکربن‌های آروماتیک و اشباع است، پخش شده‌اند. در تماس با قیر بخش الاستومری واقع در وسط زنجیره پلیمر متورم شده و بخش زیادی از مالتن را جذب می‌کند، در حالی که بلاک‌های پلی استایرنی که کمتر با قیر سازگار هستند در بخش‌های مجزایی قرار می‌گیرند، که موقعیت‌هایی را برای شبکه‌های فیزیکی ایجاد می‌کنند.

حجم فاز پلیمری حدوداً ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از حجم پلیمر اضافه شده است (نرخ تورم بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ درصد). این پدیده تورم را می‌توان از طریق مشاهده ساختمان قیر الاستومری با استفاده از میکروسکوپ نوری فلورسانس ملاحظه کرد. فاز پلیمر به سادگی از نور سبز-زرد نشری‌اش شناسایی می‌شود. در حالی که قیر بطور کامل تیره است، پلیمر خالص نور سبز منتشر می‌کند.

بخش‌های آروماتیک چندتراکمی با دو یا سه و یا چهار حلقه‌ای در طول موج برانگیختگی (حدود ۳۶۵nm)، فلورسانس زرد روشن یکسانی دارند. بنابراین این پلیمر توسط ترکیبات آروماتیک با تراکم پایین به دلیل پارامتر حلالیت مشابه متورم شده، آنها را جدا می‌کند. از این رو، برهمکنش‌های بین قیر و این پلیمرها، ماهیت ترمودینامیکی دارد. فاز کم پلیمر به دلیل آنکه شامل آسفالتین‌ها و ترکیبات قطبی‌تر قیر و بخش‌های پارافینی و اشباع‌تر آن می‌باشد تیره است. این فاز ترکیبات آروماتیک کمی دارد که معمولاً خیلی پایداری نبوده و از فاز پلیمر چگال‌تر است. به علاوه این جدا سازی قیر باعث لخته شدن قطرات پلیمر می‌شود. هر دو فاز تمایل به جدا شدن دارند. فاز پلیمر به بالا رفته و فاز آسفالتی رسوب می‌کند.

۴-۱-۲- خواص قیرهای الاستومری

پایداری انبارداری- قیرهای الاستومری معمولاً در دماهای بالا انبارداری می‌شوند . پایداری انبارداری مستقیماً به سازگاری ساختمان قیر الاستومری بستگی داشته و بطور قابل ملاحظه‌ای از یک قیر تا قیر دیگر تغییر می‌کند و مدت پایداری انبارداری مخلوطهای ناپایدار به کوتاهی چندساعت (یا حتی چند دقیقه) است، اما در مورد مخلوطهای پایدار، به چندین ماه می‌رسد. ناپایداری معمولاً باعث جدا شدن یا شناور شدن فاز پلیمر به سمت بالا می‌شود. بسته به درصد اولیه پلیمر، توزیع غلظت پلیمر از ۱۵ درصد در بالای ظرف آزمایش تا صفر در ته آن تغییر می‌کند. تغییرات درصد آسفالتین بطور همزمان معکوس عمل می‌کند، یعنی در بخش کم پلیمر درصد آسفالتین زیاد می‌شود و برعکس.

شرایط و اجزایی که در بهبود پایداری انبارداری باید اصلاح شوند عبارتند از:

ادامه همزدن (آرام)

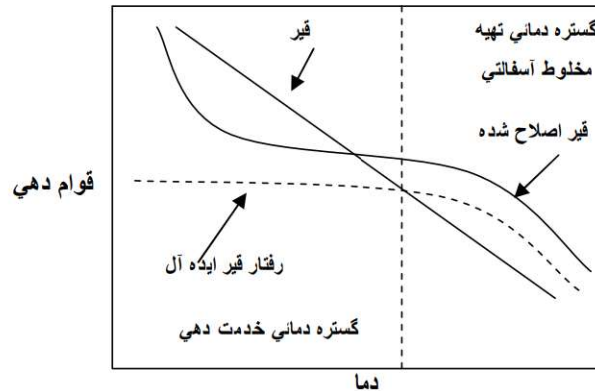
افزایش روغن‌های سازگار کننده آروماتیکی یا نفتنی یا مواد افزودنی

—

ناپایداری علاوه بر تولید یک محلول ناهمگن باعث حساس شدن نمونه‌ها به زمان حرارت دادن آنها می‌شود. در نتیجه بسته به سرعت گرم یا سرد شدن قبل از آزمایش، خواص نمونه قیر الاستومری تغییر خواهد کرد. با این وجود ریز ساختمان قیرهای الاستومری شبکه‌ای شده معمولاً پایداری انبارداری بهتری دارند.

خواص فیزیکی

مورفولوژی سیستم قیر- الاستومر به رفتاری شبیه به لاستیک ولکانیزه رقیق شده با روغن منجر می‌شود. در گستره دماهای خدمت‌دهی، پاسخ کشسان قیر الاستومر، خیلی بهتر از پاسخ قیر اولیه می‌باشد و به دلیل ماهیت گرمانرم کوپلیمر، خواص آن در هنگام پخش و تراکم مناسب می‌باشد. در شکل (۴-۱) اثر یک الاستومر روی قوام یک قیر راهسازی در دماهای مختلف نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) اثر یک الاستومر روی قوام یک قیر راهسازی در دماهای مختلف

در منحنی فوق، همان طوری که ملاحظه می‌شود، قوام یک قیر ایده‌آل در تمامی گستره‌های خدمت‌دهی ثابت مانده و در دمای پخش و تراکم شدیداً کاهش می‌یابد، در مقابل قوام یک قیر معمولی، تقریباً به صورت خطی با افزایش دما کاهش می‌یابد، اگر چه خواص آن در هنگام آسفالت‌ریزی بسیار مناسب است. منحنی قیرهای اصلاح شده با SBS به منحنی قیر ایده‌آل نزدیک می‌باشد. کارایی آن در گستره دماهای خدمت‌دهی تغییرات کمی می‌کند. این تغییر رفتار تنها از طریق مخلوط کردن قیر با یک پلیمر مناسب برحسب جنبه‌های ترمودینامیکی و سنتتیکی فرآیند اصلاح کردن امکان‌پذیر است. (جنبه‌های ترمودینامیکی به ماهیت و کمیت پلیمر در قیر و جنبه‌های سنتتیکی به شرایط آسفالت‌ریزی بستگی دارد).

۴-۲- ترموپلاستیک الاستومرها

این پلیمرها که دارای خواص توأم پلاستیکی و لاستیکی می‌باشند بطور گسترده در بهبود خواص قیرها بکار گرفته می‌شوند. قیرهای اصلاح شده با پلاستیک‌ها اصولاً در دماهای اختلاط و تراکم کارایی لازم را دارد، بدین معنا که در دماهای متعارف دارای کندروانی مناسبی جهت عملیات

آسفالتی می‌باشد. لیکن این قیرها در خدمت‌دهی از خاصیت الاستیسیته لازم و کافی بخصوص در دمایی پایین برخوردار نمی‌باشد در مقابل، الاستومرها دارای عملکرد مناسبی از نظر الاستیسیته در زمان خدمت‌دهی بوده ولی در دمایی اختلاط و تراکم دارای کندی روانی بالایی می‌باشند.

اشکالات فوق در ترکیب ترموپلاست الاستومرها بطور مؤثری حل گردیده است. بدین صورت که قیرهای اصلاح شده با این پلیمرها در دمایی اختلاط و تراکم دارای کندی روانی مناسبی بوده، ضمن آنکه در دمایی خدمت‌دهی و خصوصاً دماهای پایین خواص الاستیسیته آن حفظ می‌شود. این خاصیت این امکان را فراهم می‌سازد که قیرهای اصلاح شده با این پلیمرها در هر یک از شرایط آب و هوایی سرد و گرم بکار گرفته شود. از جمله این نوع پلیمرها کوپلیمرهای استایرن- بوتادین - استایرن (SBS)، استایرن- ایزوپرن- استایرن بلاک کوپلیمر (SIS) استایرن - اتیلن- پروپیلن- استایرن بلاک کوپلیمر (SEPS) و استایرن- اتیلن- بوتادین بلاک کوپلیمر (SEBS) می‌باشند که تأثیرات مطلوبی در بهبود خواص قیرها دارند، که از بین انواع پلیمر SBS بطور گسترده‌تر در اصلاح مواد قیری کاربرد دارد. کوپلیمر SBS یک کوپلیمر سه بلوکه است که در آن بلوکهای استایرن به وسیله یک بلوک بوتادین از یکدیگر جدا شده‌اند. این کوپلیمرها می‌توانند خطی، شعاعی باشند و در قیر شبکه الاستیک سه بعد از فاز پلی استایرن متصل به یکدیگر به وسیله فاز پلی بوتادین را تشکیل می‌دهد.

بر اساس تحقیقات انجام شده کوپلیمر SBS کارا ترین اصلاح کننده قیر معرفی شده است علت این امر تشکیل شبکه سه بعدی است که الاستیسیته، پلاستیسیته و تاب کششی قیر را بهبود می‌بخشد. یک جنبه مثبت SBS کندی روانی کم مخلوطهای آن با قیر در دمایی اختلاط است. اگر اندازه کافی از این نوع پلیمر به قیر اضافه شود یک شبکه کامل تشکیل خواهد شد.

پلیمرهای خانواده SBS تمامی مشخصات قیر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در دمایی بالا حتی در غلظت‌های پایین (مثلاً ۳ درصد) که شبکه پیوسته الاستومری در محیط قیر هنوز کاملاً تشکیل نشده است. قادر به کاهش چند برابری شیاردار شدن مخلوط آسفالتی و در دماهای پایین به دلیل تورم ۹ برابری ذرات پلیمر در قیر، انعطاف‌پذیری قیر را بهبود بخشیده و از ترک‌های طولی و عرضی جلوگیری می‌نماید.

اثر SBS خطی روی کندروانی سه نوع قیر در ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتیگراد در غلظت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته، نشان داده که در هر دو دما برای سه نوع قیر با درجه نفوذ ۶۰، ۱۰۰، ۲۰۰، کندروانی با افزایش درصد پلیمر (حداکثر تا ۷ درصد) بطور خطی افزایش می‌یابد.

اثر کوپلیمر SBS روی نقطه نرمی و درجه نفوذ این سه نوع قیر نیز که مورد بررسی قرار گرفته، نشان داده که نقطه نرمی و قیر با افزایش درصد پلیمر یک منحنی S شکل بدست می‌آید، که نتیجه گرفته می‌شود که تا ۳ درصد از این پلیمر تغییر زیادی در نقطه نرمی قیر حاصل نمی‌شود، ولی پس از ۴ درصد، جهش بزرگی در نقطه نرمی هر سه قیر مشاهده می‌گردد و پس از ۷ درصد به نظر می‌رسد که منحنی تمایل به خطی شدن داشته باشد و پس از این، افزایش پلیمر تغییر زیادی در نقطه نرمی قیر ایجاد نخواهد کرد. که این مطالعه نشان داده که با افزودن ۷ درصد از این کوپلیمر تقریباً ۴۰ درجه در نقطه نرمی قیر افزایش حاصل می‌شود.

با افزایش درصد SBS در قیرهای مختلف، نشان داده شده که درجه نفوذ آنها به صورت خطی کاهش می‌یابد و هر چه درجه نفوذ قیر بالاتر باشد شیب خط، منفی‌تر خواهد بود. علت این امر، تورم فوق‌العاده کوپلیمر توسط اجزاء قیر نرم‌تر می‌باشد، در حالی که قیر سفت‌تر اجزاء و مواد کمتری را در اختیار کوپلیمر جهت تورم قرار می‌دهد.

اثر SBS روی نقطه شکست فراس سه قیر مختلف نیز که مورد مطالعه قرار گرفته مشاهده گردیده، که این پلیمرها باعث کاهش نقطه شکست قیر نسبت به قیر پایه شده‌اند. خاصیت انگمی قیرهای مختلف نیز با افزایش SBS بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. با مطالعه بررسی عملکرد افزایش SBS بر روی قیرها، موارد زیر در مورد مخلوطهای آسفالتی ساخته شده با آن به طور کلی عنوان گردیده است:

- خاصیت چسبندگی بهتر
- عملکرد خوب در هر دو محدوده دمای بالا و پایین
- انعطاف‌پذیری بیشتر در دمای پایین
- مقاومت بهتر در مقابل تغییر شکل و شیار افتادگی در دماهای بالا
- کاهش حساسیت دمایی

- بهبود مقاومت کششی

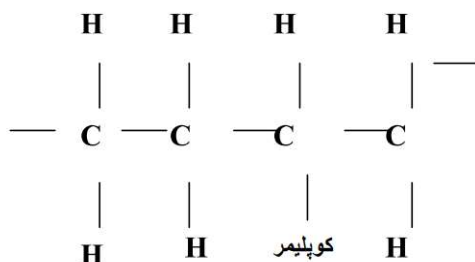
- افزایش مدول سختی

شایان ذکر است، نوع قیر از نظر ساختمان شیمیایی، همچنین مسأله سازگاری، می‌تواند بر تأثیرات این پلیمرها اثر گذار باشد.

۴-۳- پلیمرهای گرمانرم پلاستومری [۱]

انواع مختلف هموپلیمرها و کوپلیمرهای پلاستومری در اصلاح قیر بکار گرفته می‌شود. در کاربردهای راهسازی اساساً کوپلیمرهای اتیلن، مانند EVA (کوپلیمر اتیلن و وینیل استات)، EMA (کوپلیمرهای اتیلن و متیل آکریلات) یا EMA (کوپلیمرهای اتیلن و بوتیل آکریلات) مورد استفاده قرار می‌گیرند. کوپلیمرهای اتیلن و وینیل استات را می‌توان به همراه SBS و یا پلی ایزوبوتیلن (PIB) بکار برد.

کوپلیمرهای اتیلن- کوپلیمرهای اتیلن که به عنوان کوپلیمرهای عاملدار شناخته می‌شوند، کوپلیمرهای اتفاقی هستند که از پلیمریزاسیون رادیکالی اتیلن و یک مونومر به دست می‌آید.



فرمول شیمیایی کوپلیمراتیلن

در این رابطه کومنومرها عبارتند از:

- وینیل استات ($OCOCH_3$) در مورد EVA
- متیل آکریلات ($COOCH_3$) در مورد EMA
- بوتیل آکریلات ($COOC_4H_9$) در مورد EBA

زنجیره هیدروکربنی این ساختمان‌ها مسئول سختی و چسبندگی است، که بسته به طول زنجیر و درجه تبلور تغییر می‌کند. کومنومرهای قطبی، سازگاری، درجه تبلور و چسبندگی را کنترل می‌نمایند. بنابراین خواص کوپلیمرهای اتیلن به ماهیت کومنومر (وینیل استات، متیل یا بوتیل آکریلات) و درصد آنها (برحسب درصد جرمی یا برحسب مول‌های کومنومر در کوپلیمر اتیلن) بستگی دارد. پلیمرهای گرمانرم (ترموپلاستیک) ایده‌آل، برای اصلاح قیر را می‌توان به صورت زیر توصیف نمود:

- جامد و کشسان در دمای محیط، اما دارای کندروانی کم در دمای اندود کردن و تراکم
- سازگاری با قیرها و مصالح سنگی، بدین معنی که مخلوط همگنی را تولید کرده که خواص چسبندگی خوبی داشته و در دمای تراکم مخلوط آسفالتی پایدار باشد.
- هیچیک از محصولات و مواد ناشی از تخریب پلیمر سمی نباشند.
- با تکنیک‌های معمول راهسازی قابل بازیابی باشد.

لازم به ذکر است که هیچیک از محصولات فرعی تخریب حرارتی کوپلیمرهای اتیلن بکار رفته در اصلاح قیر سمی نمی‌باشند. این محصولات عبارتند از:

- اسید استیک در مورد EVA

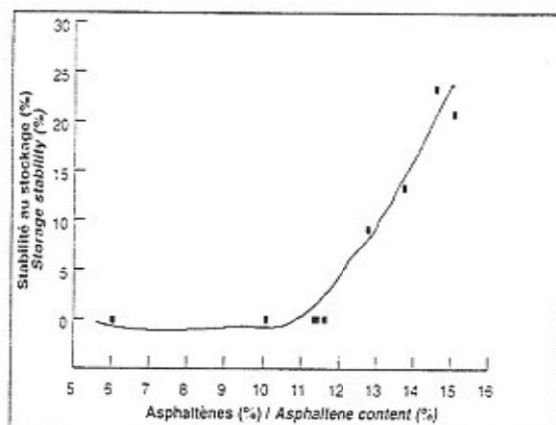
- متانل در مورد EMA

- بوتانل در مورد EBA

بسته به نسبت بین مونومرها و شرایط پلیمریزاسیون، گستره وسیعی از کوپلیمرهای گوناگون به دست می‌آید. کوپلیمرهای اتیلن اغلب نیمه بلوری نامیده می‌شوند. آنچه روی می‌دهد این است که بلاک‌های پلی اتیلن با یکدیگر متبلور شده و نواحی گره‌ای شبکه‌ای را بوجود می‌آورند. به ولکانیزاسیون ماده منجر می‌شوند. این نوع تبلور مستقیماً به درصد مونومر مربوط است (با کاهش درصد مونومر تبلور افزایش می‌یابد). به علاوه پدیده‌های تبلور و ذوب (بنابراین ولکانیزاسیون و دولکانیزاسیون) از نظر گرمایی برگشت‌پذیر هستند.

انتخاب قیر برای اصلاح با قیر- انتخاب قیر مناسب، کار ساده‌ای در این زمینه نمی‌باشد. مناسب بودن آمیزه قیر/ پلیمر برای رسیدن به عملکرد بهبود یافته عمدتاً توسط ساختار و وزن مولکولی پلیمر تعیین می‌شود تا قیر. قیرها خیلی متفاوت هستند ولی در مقایسه با اختلافاتی که در بین پارامترهای حلالیت پلیمرهای مختلف وجود دارد، اختلاف بین پارامترهای حلالیت قیرها بسیار اندک است. در عین حال مقدار، نوع و وزن مولکولی آسفالتین هر قیر تعیین کننده مقدار تگ فازی بودن در یک دمای معین است. در شکل (۴-۱۲) اثر درصد آسفالتین برای پایداری در انبارداری آمیزه‌های قیر مخلوط شده با کوپلیمر اتیلن نشان داده شده است.

بسته به مکانیزمی که از آن طریق پلیمر استحکامش را بدست می‌آورد، ساختار فاز مالتن نیز روی خواص مخلوط نهایی اثر می‌گذارد. بطور مثال اگر کوپلیمر بلاک استایرن- بوتادین- استرین SBS بکار برده شود، نقطه نرمی مخلوط نهایی به وزن مولکولی و آروماتیسیته فاز مالتن بستگی خواهد داشت. قیرهای سازگارتر معمولاً درصد پلیمر کمتری برای تشکیل یک شبکه پیوسته نیاز دارند. از آنجایی که پلیمر چندین برابر حجم خودش از اجزاء قیر را جذب می‌کند، مقدار افزوده شده به قیر، به برهمکنش بین پلیمر و قیر بستگی دارد. در مورد قیرهای با سازگاری کمتر برای رسیدن به خواص مورد نظر پلیمر بیشتری باید افزوده شود.



شکل (۴-۱۲) اثر درصد آسفالتین قیر روی پایداری انبارداری یک مخلوط قیر با کوپلیمر اتیلن با درصد کم پلیمر

اختلاف‌های ساختاری بین قیرهای مختلف به سختی توسط آزمایش‌های رئولوژیکی بکار رفته شده در شناسایی قیرها قابل تشخیص هستند. قیرهایی با یک مشخصات که از نفت‌های خام مختلف بدست آمده‌اند. بعد از افزایش پلیمر اختلافات سازگاری خود را نشان می‌دهند، خصوصاً اگر پلیمر برهمکنش زیادی با قیر داشته باشد. مورد دیگر در این رابطه مسأله مقاومت پیرشدگی است. قیر در خلال تهیه و خدمت‌دهی به دلیل اثرات حرارتی واکنش‌های اکسایش پیر می‌شود. این فرآیند سازگاری قیر/ پلیمر را تغییر داده و سپس باعث تغییراتی در مورفولوژی فازها می‌شود. باید در نظر داشت که علاوه بر تأثیرات نفت خام در خواص قیرها نوع فرآیندهای پالایش نیز در آن تأثیر دارد و در نتیجه در این ارتباط قیرهای مختلفی از نظر ماهیت تولید می‌شوند که در این زمینه نمی‌توان روش ساده‌ای را در مورد اصلاح قیر با پلیمر به طور صریح ارائه داد.