نشریه علمی پژوهشی
علوم و فناوری رنگ
Journal of Color Science and Technology
www.jcst.icrc.ac.ir

available online @ www.jcst.icrc.ac.ir
نشریه علمی ـ پژوهشی علوم و فناوری رنگ/ ۵ (۱۳۹۰)، ۱۷۳ـ ۱۶۹

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ

بررسی اثر آلودگی روغن بر خواص لایه فسفاته و خواص پوشش‌های آلی خودرویی

علیرضا قنبری[۱]، محسن محمد رائی نائینی[۲]، حامد فصیحی دستجردی[۳]، سید محمود کثیریها[۴*]، احمد بوربوری[۵]، سید حسین سید مراغه‌ای[۶]

۱ـ دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷
۲ـ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه پژوهشی پوشش‌های سطح و خوردگی، پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵
۳ـ دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷
۴ـ مربی، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷
۵ـ کارشناس، شرکت خودروسازی ایران خودرو، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱-۱۳۸۹۵
۶ـ کارشناس ارشد، شرکت خودروسازی ایران خودرو، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۱۱-۱۳۸۹۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۳ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۰/۹/۲۰

چکیده

در صنایع مختلف، اعمال روغن محافظ بر روی فلزات به صورت موقت برای جلوگیری از خوردگی فلزات امری متداول است. قبل از اعمال پوشش‌های آلی بر روی فلزات، این لایه بایستی از روی سطح برداشته شود. متداول‌ترین روش برای این کار استفاده از شستشوی قلیایی و شستشوی حلالی است. روش‌های اشاره شده قادر به زدایش کامل روغن از سطح فولاد نرم نمی‌باشند و همواره مقداری روغن بر روی سطوح باقی می‌ماند. در این تحقیق اثر روغن باقی‌مانده بر روی خواص لایه فسفاته با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و وزن پوشش فسفاته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روغن باقی‌مانده، باعث افت یکنواختی لایه فسفاته شده و شکل بلورهای لایه فسفاته را نیز تغییر می‌دهد. از طرفی وزن پوشش فسفاته با افزایش درصد روغن بر روی سطح کاهش می‌یابد. همچنین اثر این ناخالصی بر روی خواص فیزیکی- مکانیکی سیستم پوشش‌های خودرویی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون‌های خمش، جامی شدن و ضربه، نشان دهنده افزایش خواص کشسانی سیستم‌های پوششی با افزایش درصد روغن به علت نفوذ روغن به داخل فیلم پوششی می‌باشد. در صورتی که مقاومت خوردگی سیستم‌های پوششی با افزایش درصد روغن به علت نقص چسبندگی، کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: لایه فسفاته، پوشش خودرویی، مقاومت خوردگی، خواص فیزیکی- مکانیکی، SEM.

The Effect of Oil Pollution on The Properties of Phosphate Layer and Properties of Organic Automotive Coatings

A. Ghanbari[1], M. Mohammad Raei Nayini[2], H. Fasihi[1], S. M. Kasiriha[*1], A. Burburi[3], S. H. S. Maraghe'ee[3]

[1] Polymer Engineering and Color Technology Department, Amirkabir University of Technology, P.O. Box:1587-4413,Tehran, Iran
[2] Department of Surface Coating and Corrosion, Institute for Color Science and Technology, P.O.Box: 16765-654, Tehran, Iran
[3] Irankhodro Car Manufacturing, P.O. Box: 13895-111, Tehran, Iran

Received: 28-07-2010 Accepted: 23-04-2011 Available online: 11-12-2011

Abstract

In different industries, protective oils are applied temporarily on the metal substrates to prevent corrosion damages. This layer should be removed before applying organic coatings. Alkali solution and solvent wash are the most frequently methods to remove oil from surface. Aforesaid methods can not remove this layer perfectly. As a result, always some residual protective oil remains on the metal surface. In this work the effect of this layer on properties of automotive phosphate layer was investigated using scanning electron microscope (SEM) and weight of phosphate layer. It was seen that oil pollution reduced the homogeneity of phosphate layer, changed the crystal shape of phosphate layer and decreased the weight of phosphate layer. In addition, the effect of residual oil on the different physical-mechanical properties of coating systems was investigated. It was seen that residual oil improved bending, cupping and impact properties of coating due to diffusion of the residual oil in coating layer. In the other hand, corrosion resistance decreased because of adhesion failure. J. Color Sci. Tech. 5(2011), 169-173© Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Phosphate layer, Automotive coating, Corrosion resistance, Physical-mechanical properties, SEM.

***Corresponding author: kasiriha@aut.ac.ir**

۱ـ مقدمه

خوردگی در محیط‌های طبیعی فرآیندی غیر قابل پیشگیری می‌باشد. اگرچه با اعمال روش‌های مختلفی فرآیند خوردگی را می‌توان کاهش داد، اما به طور کامل این فرآیند را نمی‌توان متوقف کرد. یکی از روش‌های کاهش خوردگی فلزات، اعمال پوشش‌های آلی می‌باشد. از این رو در صنایع خودروسازی، پوشش‌های آلی جهت حفاظت خوردگی و خواص تزئینی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳-۱].

یک سیستم پوششی خودرویی معمولا شامل لایه‌های زیر می‌باشد [۴،۵].

۱. پوشش فسفاته بر روی زیرآیند فلزی
۲. پوشش الکتروررسوبی[1] (ED)
۳. پوشش آستری بر روی لایه ED
۴. لایه رویه (ترکیب این لایه با کاربردهای مختلف تغییر می‌کند.)

در اغلب سیستم‌های پوششی خودروها، بعد از لایه فسفاته پوشش ED اعمال می‌شود. از این رو چسبندگی کامل پوشش‌های فسفاته و ED جهت افزایش خواص خوردگی سطح، ضروری است [۶،۷].

جهت حفاظت خوردگی فولاد نرم در طول انبارداری و حمل و نقل، یک لایه روغن محافظ موقت بر روی فولاد نرم در کارخانه‌های فولادسازی اعمال می‌شود [۸]. برداشتن این لایه روغن از روی سطح قبل از اعمال پوشش‌های آلی ضروری می‌باشد. وجود روغن باعث کاهش کشش سطحی فولاد و در نتیجه کاهش چسبندگی پوشش‌ها می‌شود [۹]. روش‌های مختلفی برای برداشتن لایه محافظ موقت از روی سطح وجود دارند که از جمله متداول‌ترین آنها شستشوی قلیایی، شستشوی حلالی، استفاده از شوینده‌ها[2] و استفاده از روش فراصوت[3] می‌باشد [۱۰]. استفاده از محلول‌های قلیایی متداول‌ترین روش چربی‌زدایی در صنایع می‌باشد [۱۱،۱۲]. این محلول‌ها شامل مخلوطی از نمک‌ها، عوامل ترکننده سطح و سطح مواد فعال می‌باشند. فرآیند چربی‌زدایی فرآیندی چند مرحله‌ای و شامل چندین مرحله غوطه‌وری و پاشش با محلول چربی‌گیر و در نهایت آب‌کشی به وسیله آب مقطر است. روش چربی‌زدایی با استفاده از پاشش بازده بهتری نسبت به روش غوطه‌وری دارد. استفاده از روش غوطه‌وری باعث چربی‌زدایی بهینه انواع روغن‌ها همانند روغن‌های ضد خوردگی در نقاط داخلی و شیارهای خودرو می‌گردد. علاوه بر این استفاده از روش غوطه‌وری نیاز به مدت زمان طولانی‌تری نسبت به روش پاشش دارد زیرا در روش پاشش فشار حاصل از پاشش مواد، تا حدی به تمیز شدن آلودگی‌ها کمک می‌کند [۱۳].

این روش‌ها علی‌رغم کاربرد گسترده، قادر به زدایش تمامی روغن از روی سطح نمی‌باشند و همواره مقداری روغن بر روی سطح باقی می‌ماند [۱۴].

در این مطالعه اثر روغن و چربی باقی‌مانده روی سطح بر خواص سه سیستم مختلف، فسفاته؛ فسفاته و لایه ED و نیز فسفاته، لایه ED و پوشش رویه (سیستم کامل رنگ خودرویی) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

۲ـ بخش تجربی

۲ـ۱ـ مواد

محلول فسفاته جهت فسفاته کردن فولاد نرم از شرکت هنکل[4] و ورقه‌های فلزی از جنس فولاد نرم از نوع ST37 با ضخامت ۱±۰/۲ میلی‌متر از شرکت فولاد مبارکه تهیه شد. نتایج تجزیه عنصری فولاد مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ترکیب درصد فولاد نرم مورد استفاده در این مطالعه.

عنصر	Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo
درصد وزنی	۹۷،۷۴	۰،۱۵	۰،۳	۱،۰۵	۰،۲۱	۰،۵۵

فرمولاسیون روغن مورد استفاده در این مطالعه شامل ترکیبات از جمله روان‌کننده‌های پایه نفتی، کروسن[5]، روغن‌های سبک و الکل‌های آلیفاتیک می‌باشد.

۲ـ۲ـ روش کار

نمونه‌های فلزی قبل از استفاده، توسط سنگ مغناطیس زنگبری و صاف شدند و سه بار توسط استون چربی‌زدایی شدند. جهت انجام هر آزمون سه نمونه تهیه شد و نتایج آن به صورت میانگین ارائه شده است. میزان چربی اعمال شده بر روی نمونه‌های چرب به مقدار gr/m^2 ۴ می‌باشد که به صورت یکنواخت بر روی سطح فلز اعمال شد. شرایط چربی‌زدایی نمونه های عاری از آلودگی روغن، اعمال لایه‌های فسفاته، ED و رنگ رویه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: شرایط چربی‌زدایی، اعمال لایه‌های فسفاته، ED و رنگ رویه.

فرآیند	ضخامت (µm)	دمای اعمال/پخت (°C)	شرایط اعمال
چربی‌زدایی	-	۴۵-۶۰	pH= ۹-۱۴
فسفاته	۳	۴۰	غوطه‌وری به مدت یک دقیقه، pH= ۴
پوشش ED	۴۰	۱۸۰	غوطه‌وری در حمام CED و تحت میدان الکتریکی به مدت ۳ دقیقه
رنگ رویه	۶۰	۱۲۰	پاشش

1- Electro deposition
2- Detergent
3- Ultrasonic
4- Henkel
5- Kerosene

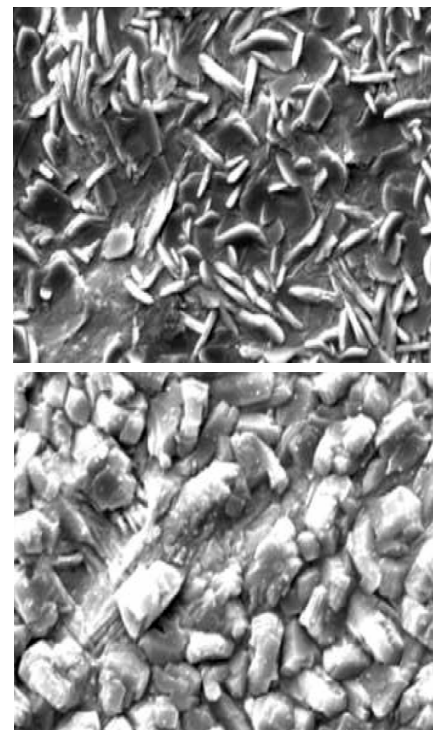
pH محلول‌ها توسط دستگاه pH315i WTW اندازه‌گیری شد. سطح صفحه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل JEOL-JSM-5600 مورد بررسی سطحی قرار گرفت. آزمون خمش در دستگاه مدل TCB ساخت شرکت (XianDai Environment Engineering) انجام شد. آزمون سختی توسط سختی‌سنج مدل LTK ساخته شده شرکت Krastev Ltd. انجام گرفت و همچنین آزمون‌های ضربه و جامی شدن نیز توسط دستگاه شرکت PGT انجام گرفت.

آزمون‌های خمش، سختی، ضربه و جامی شدن در این تحقیق به ترتیب براساس استانداردهای ISO 1520:1999، ISO 1522، ASTM D2794 و ASTM D522 انجام شد. آزمون مه نمکی بر روی نمونه‌های رنگ شده به مدت ۱۰۰۰ ساعت در معرض نمک طعام با غلظت ۵٪ و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

۳ـ نتایج و بحث

۳ـ۱ـ بررسی اثر روغن بر خواص لایه فسفاته

برای بررسی اثر روغن بر ریخت‌شناسی لایه فسفاته، صفحه‌ها توسط آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی سطحی قرار گرفتند. شکل ۱ تصویر میکروسکوپی لایه فسفاته بر روی دو سطح عاری از روغن و آلوده به روغن را نشان می‌دهد. میزان روغن بر روی فولاد نرم $4\ gr/m^2$ می باشد که به صورت یکنواخت بر روی سطح اعمال شده است.



الف

ب

شکل ۱: نتایج بررسی سطحی SEM پوشش فسفاته با بزرگنمایی ۸۰۰ بر روی دو زیرآیند مختلف: الف) زیرآیند عاری از روغن و ب) زیرآیند روغنی.

شکل ۱ نشان می‌دهد که حضور روغن بر روی زیرآند فولادی باعث ایجاد دو اثر مهم می‌شود.

۱. شکل بلورهای فسفاته در حالتی که زیرآیند روغنی می‌باشند، حالت بی‌شکل و نامنظم دارند در حالیکه فسفاته بر روی زیرآیند عاری از روغن، حالت سوزنی و منظم دارد. بی نظم شدن بلورها می‌تواند منجر به کاهش سطح و در نتیجه کاهش چسبندگی شود. این نتایج نشان می‌دهد که باقی‌ماندن روغن بر روی فلز قبل از فسفاته‌کاری مانع از تشکیل منظم بلورهای فسفاته می‌شود.

فرآیند فسفاته‌کاری، فرآیندی الکتروشیمیایی می‌باشد که طی آن یک واکنش الکتروشیمیایی بین محلول فسفاته با سطح فولاد رخ داده که منجر به تشکیل نمک‌های فسفاته بر روی سطح می‌شود. باقی ماندن روغن محافظ بر روی سطح، مانع از شکل‌گیری این واکنش الکتروشیمیایی می‌شود. در نتیجه در برخی نقاط سطح با محلول فسفاته واکنش نداده و لایه فسفاته تشکیل نخواهد شد.

۲. مقایسه تصویر SEM در دو حالت مختلف نشان می‌دهد که پیوستگی پوشش فسفاته در زیرآیند بدون روغن بیشتر می‌باشد. در تصویر SEM زیرآیند روغنی، کریستال‌های فسفاته در برخی نقاط به شکل کلوخه‌ای شکل گرفته‌اند و در برخی نقاط دیگر با ضخامت بسیار کم شکل گرفته‌اند. همان‌طور که اشاره شد، وجود روغن مانع از شکل‌گیری واکنش الکتروشیمیایی بین محلول فسفاته و زیرآیند فلزی می‌شود. این واقعیت باعث می‌شود که تشکیل لایه فسفاته بر روی سطح فولاد نرم محدود گردد.

در مرحله بعدی وزن پوشش فسفاته در دو حالت سطح بدون روغن و سطح روغنی مورد محاسبه قرار گرفت. جدول ۳ وزن پوشش فسفاته در دو حالت بدون روغن و سطح روغنی را ارائه می‌کند.

جدول ۳: وزن پوشش فسفاته در دو حالت زیرآیند عاری از روغن و زیرآیند روغنی.

	وزن پوشش فسفاته(gr/m^{-2})
زیرآیند عاری از روغن	۳,۷ ±۰,۲
سطح روغنی	۲,۵ ±۰,۲

با توجه به جدول ۳، وزن پوشش فسفاته در حالت عاری از روغن بیشتر از حالت روغنی می‌باشد. با توجه به مطالب بیان شده، این مطلب می تواند به جلوگیری از واکنش الکتروشیمیایی در اثر بازدارندگی روغن، نسبت داده شود.

۳ـ۲ـ بررسی اثر روغن بر پوشش ED و رنگ رویه

اثر روغن بر روی خواص فیزیکی- مکانیکی دو سیستم پوششی

به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت.

ـ لایه فسفاته + پوشش ED (سیستم PE)

ـ لایه فسفاته + پوشش ED + رنگ رویه (سیستم PET)

زیرآیندهای فلزی نیز در دو حالت عاری از چربی و حالت چرب (با مقدار چربی gr/m^2 ۴) مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج آزمون‌های خمش، جامی شدن، سختی و ضربه دو سیستم پوششی و با دو درجه چربی‌زدایی در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۴ نتایج زیر به دست می‌آید:

ـ با افزایش مقدار روغن بر روی سطح، مقاومت پوشش‌ها در آزمون خمش، جامی و ضربه در هر دو سیستم پوششی (سیستم PE و PET) افزایش می‌یابد.

ـ با افزایش مقدار روغن بر روی سطح، سختی سیستم‌های پوششی (سیستم PE و PET) کاهش می‌یابد.

جدول ۴ نشان می‌دهد که برخی خواص فیزیکی- مکانیکی سیستم‌های پوششی از جمله خواص خمشی، جامی شدن و خواص ضربه‌پذیری پوشش‌های آلی در حضور روغن باقی‌مانده بر روی سطح افزایش می‌یابد. نتایج حاکی از این واقعیت می‌باشد که روغن باقی‌مانده نقش یک نرم کننده را ایفا می‌کند و برخی خواص فیزیکی و مکانیکی پوشش را بهبود می‌بخشد. در حین فرآیند پخت پوشش در کوره، مقداری از روغن به داخل فیلم پوشش مهاجرت نموده و با توجه به طول کوتاه مولکول‌های روغن و طبیعت انعطاف‌پذیر آنها، باعث افزایش خواص انعطاف‌پذیری سیستم پوششی می‌شود.

مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در خواص فیزیکی- مکانیکی پوشش‌های آلی شبکه پلیمری می‌باشد. با توجه به اینکه حجم مولکول‌های روغن کوچک‌تر از حجم مولکول‌های رزین در پوشش می‌باشد، روغن با نفوذ به داخل شبکه پلیمری باعث بهبود انعطاف‌پذیری شاخه‌های پلیمری می‌شود و در نتیجه آن دسته از خواص فیزیکی- مکانیکی پوشش را که وابسته به انعطاف‌پذیری می‌باشد، بهبود می‌بخشد.

جدول ۵ مقاومت به خوردگی سیستم‌های PE و PET را در دستگاه مه نمکی به مدت ۱۰۰۰ ساعت را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۵، حضور روغن در زیرآیند قبل از اعمال پوشش‌های آلی باعث تضعیف مقاومت پوشش نسبت به خوردگی می‌شود. در طول دهه ۹۰ توسط آرسلانوا [۱][۱۵] این مطلب مورد مطالعه قرار گرفت که خواص خوردگی پوشش‌های آلی به شدت به چسبندگی و کشش سطحی زیرآیند بستگی دارد. طبق نظر این محقق، نقص در چسبندگی اولین مرحله در شروع خوردگی پوشش‌های آلی می‌باشد. روغن باقی‌مانده بر روی سطح از دو طریق باعث کاهش مقاومت به خوردگی پوشش‌های آلی می‌شود.

ـ با کاهش کشش سطحی زیرآیند و در نتیجه کاهش چسبندگی پوشش به سطح.

ـ روغن‌ها و چربی‌ها حاوی آب، یون و آلودگی‌های محیطی در داخل خود می‌باشند. این مواد در داخل روغن و در بین سطح فلز و پوشش آلی باعث تشدید فرآیندهای خوردگی می‌شوند.

با توجه به موارد ذکر شده، حضور روغن در روی سطح فلز باعث تشدید فرآیندهای خوردگی بر روی سطح شده و این پدیده باعث زنگ‌زدگی، جدایش پوشش و تاول زدگی می‌شود.

1- Arslanova

جدول ۴: نتایج تست‌های خمش، جامی شدن، سختی و ضربه دو سیستم پوششی با دو درجه چربی‌زدایی.

آزمون	سختی ± ۲ (تعداد)		ضربه ± ۱ (cm)		جامی شدن ± ۰,۱ (mm)		خمش± ۰,۲ (mm)	
نوع سیستم	PET	PE	PET	PE	PET	PE	PET	PE
سطح عاری از چربی	۲۳۵	۲۶۵	۵	۶۰	۵,۳	۵,۲	۱۶,۲	۱۸,۴
سطح چرب	۲۱۲	۳۵۲	۶	۶۸	۵,۳	۶,۳	۱۷,۳	۱۹,۲

جدول ۵: نتایج در معرض قرار گرفتن سیستم‌های پوششی PE و PET به مدت ۱۰۰۰ ساعت در تست مه نمکی.

نقص	درصد اکسیدشدگی سطح		درصد تاول زدگی پوشش		درصد جداشدگی از لبه برش پوشش	
نوع سیستم	PET	PE	PET	PE	PET	PE
سطح عاری از چربی	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۵
سطح چرب	۰	۵	۰	۱۰	۳	۲

۴ـ نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر روغن باقی‌مانده بر روی خواص لایه فسفاته بدنه خودروها و خواص فیزیکی- مکانیکی پوشش ED و سیستم کامل پوشش‌های خودرویی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان می‌دهد که با افزایش روغن بر روی سطح، شکل بلورهای فسفاته از سوزنی شکل به حالت کلوخه‌ای و بی‌شکل تغییر می‌یابد. از طرفی وزن پوشش فسفاته به علت وجود روغن بر روی سطح نیز کاهش می‌یابد. حضور روغن بر روی سطح به علت کوچک بودن مولکول‌های آن نسبت به رزین‌های آلی، باعث نرم‌کنندگی پلیمر شده و در نتیجه باعث بهبود خواص فیزیکی- مکانیکی پوشش‌های آلی می‌شود. از طرفی حضور روغن بر روی سطح باعث کاهش کشش سطحی زیرآیند شده و در نتیجه کاهش چسبندگی را منجر می‌شود. وجود آلودگی در روغن و کاهش چسبندگی، باعث کاهش مقاومت نسبت به خوردگی زیرآیندهای روغنی می‌شود.

۵ـ مراجع

1. D. Santos, H. Raminhos, M. R. Costa, T. Diamantino, F. Goodwinb, Performance of finish coated galvanized steel sheets for automotive bodies. *Prog. Org. Coat.* 62 (2008), 265–273.
2. J. Vetter, G. Barbezat, J. Crummenauer, J. Avissar, Surface treatment selections for automotive applications. *Surf. Coat. Tech.* 200 (2005), 1962 – 1968.
3. K. Adamsons, Chemical depth profiling of multi-layer automotive coating systems. *Prog. Org. Coat.* 45 (2002), 69–81.
4. M. Lonyuk, M. Bosma, C. A. M. Vijverberg, A. Bakker, M. Janssen, Relation between chip resistance and mechanical properties of automotive coatings. *Prog. Org. Coat.* 61 (2008), 308–315.
5. A. Ghanbari, M. M. Attar, M. Mahdavian, Acetylacetonate complexes as new corrosion inhibitors in phosphoric acid media: inhibition and synergism study. *Prog. Color Colorants Coat.* 2 (2009), 115-122.
6. G. Bustamante, F. J. Fabri-Miranda, I. C. P. Margarit, O. R. Mattos, Influence of prephosphating on painted electrogalvanized steel. *Prog. Org. Coat.* 46 (2003), 84–90.
7. K. Ogle, S. Morel, N. Meddahi, An electrochemical study of the delamination of polymer coatings on galvanized steel. *Corros. Sci.* 47 (2005), 2034–2052.
8. M. A. Migahed, I. F. Nassar, Corrosion inhibition of tubing steel during acidization of oil and gas wells. *Electrochim. Acta.* 53 (2008), 2877–2882.
9. I. Sönmez, Y. Cebeci, Investigation of relationship between critical surface tension of wetting and oil agglomeration recovery of barite. *Colloid. Surface. A.* 234 (2004), 27–33.
10. M. Niknam, S. Baghshahi, Z. Ranjbar, M. A. Faghihi Sani, Preparation of nanocristobalite and its effect on some properties of two component automobile clear coats. *J. Color Sci. Tech.* 2(2008), 23-29.
11. S. Bastani, A. Masoumi, H. Razmgir, P. Zari, Study of effective factors on Instrument characteristic quality of automotive coating appearance by six-sigma methodology. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 65-72.
12. R. Mehdipour, A. Ashrafizadeh, C. Aghanajafi, A numerical design approach for the continuous radiation paint curing ovens in automotive industries. *J. Color Sci. Tech.* 3(2009), 107-119.
13. D. M. Mattox, Cleaning Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing, John Wily & Sons, New York. 1998.
14. A. Öberg, Pretreatment and electrocoating of truck cabs. *Met. Finish.* 95 (1997), 26-31
15. V. V. Arslanova, W. Funke, The effect of water on the adhesion of organic coatings. *Prog. Org. Coat.* 15 (1988), 355-363.