



Kimya Mühendisi / Chemical Engineer
Koruyucu Boyalar&Kaplama Uzmanı / Protective Coating Specialist
TUCSA TK-4 Yüzey Koruma Komitesi Başkanı
TUCSA TK-4 Surface Protection Committee Chair

Kendi-Kendini İyileştiren / Tamir Eden Boyalar ve Kaplamalar Self-Healing / Self-Repair Coatings

Özet: Bu yazıda özetle, endüstriyel, marin, havacılık ve uzay, otomotiv, konformal ve tekstil boyaları/kaplama alanında son derece yeni ve çığır açıcı bir sınıf olan Kendi-Kendini İyileştiren / Tamir Eden Boyalar ve Kaplamalar konusuna ait genel bilgiler (tarihçe, terminoloji gibi) ile birlikte bu teknolojilerin hangi ana tiplerden oluştuğu ve hangi avantajlar/dezavantajlara sahip oldukları incelenmektedir.

1. Giriş

Kırılma ve çizilme olur, bunu, hayatın bir parçası olarak düşünürüz. Örneğin cep telefonunuzu düşürüp, ekranını çizebilir, hatta kırabilirsiniz. Bundan daha vahim olan bir durum ise, arabanızın boyasının çizilmesi veya çatlamasıdır. Cep telefonu örneğinde tamir için harcayacağınız para ve zaman nispeten daha düşük iken, aracınızı boyasının tamiri için aynı şeyi söyleyemezsiniz. Bundan daha kötüsü ise, kritik ekipman ve yapılarda mekanik bir hasar nedeniyle gözle görülemeyen mikro-çatlakların oluşması, bunların giderek büyümesi ve sonucu kaza ile biten katastrofik sonuçlara neden olabilen durumlarla karşılaşmamızdır. Buna örnek olarak, Çin Havayollarının 611 sefer nolu uçağının gövdesindeki 22 yıllık mikro-çatlakların gövdede yırtılmaya sebep olması ve bu uçağın 2002 yılında Tayvan açıklarında denize düşmesi gösterilebilir.



Şekil 1: Mikro-çatlaklar ve olumsuz sonuçları

Summary: General information (i.e. history, terminology) along with the main types, trends & new advances and the advantages/disadvantages about the Self-Healing / Repairing Paints and Coatings, which is a new and groundbreaking class of paints/coatings in the fields of Industrial, Marine, Aerospace, Automotive, Conformal and Textile, are summarized in this article.

1. Introduction

Things like scratching and cracking can happen. We take them as a part of life! For example, you can drop your mobile phone off the ground and scratch its screen or even break it. What is even worse is that your car is scratched or cracked. You can't say the same for repairing your car paint case since the money and time you will be spending on repairing your cell phone case is relatively low! Even worse case is, invisible micro-cracks occurring on the critical equipment and structures due to As an example, in 2002 the 22-year micro-cracks in the hull of the Chinese Airlines 611 flight have break-up the fuselage leading the plane falling into the sea off Taiwan!

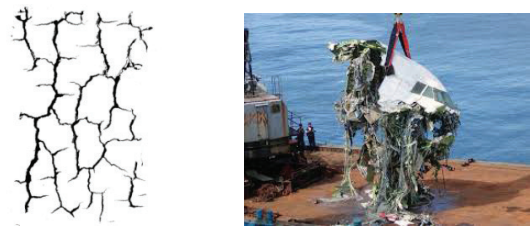


Figure 1: Micro-cracks and its negative consequences

Ancak, nasıl ki elinizi hafifçe kestiğinizde, kanyan bölge belli bir süre sonra pıhtılaşır ve kendini iyileştirir (vücudu tamir eder) ise, aynı şey Kendi-Kendini İyileştiren / Tamir Eden Boyalar ve Kaplamalar kullanılarak metal, ahşap, beton, kompozit ve hatta tekstil yüzeylerinde de görülür. Bu teknoloji ürünlere kendi-kendine iyileştirme/tamir etme işlevsellersi kazandırılmaktadır.



However, just like you gently cut your hand, the bleeding area will clot and self-heal (repair the body) after a certain period of time. Using the same mechanism, Self-Healing / Repairing Paints and Coatings may bring in self-healing / repairing functions to the metal, wood, concrete, composite and even textile surfaces.

Şekil 2: Kan pıhtılaşması ve derinin kendi-kendini iyileştirilmesi

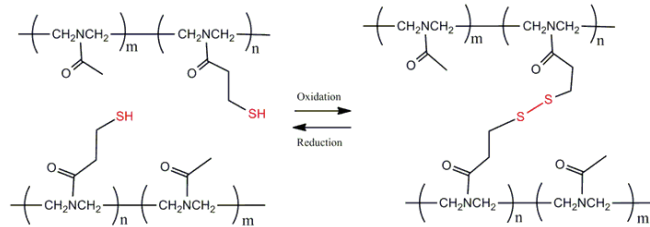
Bunu basitçe anlatmak gerekirse, boyalarda ve kaplamalarda bir çizik veya çatlak oluştuğunda, yapıtaşları olan polimer zincirinde mikroskobik seviyede bir kopma/yırtılma oluşur. Temel olarak, Kendi-Kendini İyileştiren / Tamir Eden Boyalar ve Kaplamalar'ın yaptığı şey ise, -Otonom veya Yarı-Otonom bir şekilde- bu kopma/yırtılmaları çeşitli teknolojiler ve mekanizmalar kullanarak onarmaktır.

Endüstri 4.0 ve Boya / Kaplama Endüstrisi: Otonom ve Yarı-Otonom Tamir Eden Boyalar ve Kaplamalar

Endüstri 4.0 çağına girdiğimiz şu günlerde, aynı yeni nesil araçlarda olduğu gibi boyalar ve kaplamaların da otonom yani hiçbir müdahaleye gerek kalmadan veya yarı-otonom; dışarıdan bir uyarı ile (sıcaklık değişimleri, ısı, UV, IR ışınması uygulamak ve basınç değişimleri gibi) Kendi-Kendini İyileştirmesi / Tamir Etmesi beklenebilir.

Bu tür boyalar/kaplamalar, yüzeysel çizilmeleri ve mezoskopik hasarları (örn.mikro-çatlaklar ve oyuklar) iyileştirebilir ve eski haline getirebilir. Bunu yaparken de iki aşamalı bir yol izlerler:

1. Boşluk kapatmak,
2. Hasarlı bölgeyi iyileştirmek/tamir etmek.



Şekil 3: Boyaların/Kaplamaların 2 aşamalı kendi-kendini iyileştirme ve tamir süreci.

Farklı tipteki Kendi-Kendini İyileştiren / Tamir Eden Boyalar ve Kaplamalar farklı teknolojilere sahiptir. Bu farklılıklar 2 aşamalı kendi-kendine iyileşme sürecinde bazı farklılıklara neden olmaktadır ve bu yazının ilerleyen bölümlerinden biri olan Ana Tipleri paragrafında özetle incelenecektir.

Figure 2: Blood coagulation and self-healing of skin

Simply put, when a scratch or crack occurs in paints and coatings, a rupture/tears occurs at the microscopic level in the polymeric chain, which is the building blocks of them. Basically, what Self-Healing / Repairing Paints and Coatings do - in an autonomic or semi-autonomic way - is to repair these ruptures / tears using various technologies and mechanisms.

Industry 4.0 & The Paint/Coating Industry: Autonomous & Semi-Autonomous Repairing Paints & Coatings

In these days we entered the age of industry 4.0, Just like the new generation of autonomous vehicles, self-healing or self-repair from the paints and coatings may be expected in a autonomous way, i.E. Without any intervention or in a semi-autonomous way i.E. With a warning from the outside (temperature changes, heat, UV, IR radiation and pressure changes, etc.)

Such paints / coatings can heal and restore surface scratches and mesoscopic damages (eg micro-cracks and cavities). In doing so, they follow a two-stage path:

1. Fill the gap,
2. Heal / Repair the damaged area.

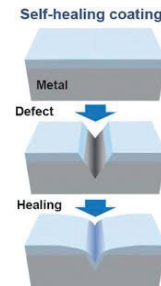


Figure 3: Two-step self-healing/repair process of paints/coatings

Different types of self-healing/repairing paints and coatings have different technologies. These differences lead to some differences in the 2-stage self-healing process and will be summarized in the following section of the article, which is the Main Types paragraph.

Kısa Tarihçe

Bilinen en eski kendi-kendini iyileştiren/tamir eden malzemenin, Romalılar zamanında kullanılan bir çeşit kireç harcı olduğu tarihçeler tarafından belirtilmektedir. Günümüzdeki anlamıyla Kendi-Kendini İyileştiren / Tamir Eden Boyalar ve Kaplamalar konusunda ise çok sayıda makale ve sunum 1980'lerin ortalarından beri yapılmaktadır. Bu teknolojinin ilk başarılı örnekleri 21.yy başında Amerika, Avrupa ve Avustralya'daki teknik üniversitelerin laboratuvarlarında üretilmeye başlanmıştır. Bu teknoloji 2010'dan sonraki yıllarda ise, çeşitli sektörlerde kendine ticari olarak yer bulmuştur. Bu konuda giderek artan çalışmaların ve ticari atılımların en çok aşağıdaki alanlarda/ sektörlerde olduğu gözlemlenmektedir.

Hangi Sektörlerde Kullanılıyor?

Kendi-kendini tamir eden boyalar/kaplamalar en sık olarak otomotiv ve OEM sektörlerinde (özellikle arabaların metalik veya plastik yüzeylerdeki boya çiziklerini giderilmesi gibi) görülmektedir. Dünya üzerinde süregelen farklı ülkelerdeki çalışmalar aracılığı ile bu teknolojilerin, akıllı telefonlar, havacılık ve uzay, savunma ve askeri ekipmanlar, endüstriyel yapısal çelik hatta tekstil (Bknz. Referanslar bölümü) ürünlerinde de kullanılabileceği ispatlanmıştır.

2. Ana Tipler

Kendi-kendine tamir eden kimyasalların üretim yöntemlerini, 5 ana başlıkta inceleyebiliriz:

- I. Mikro-kapsülleme (Microencapsulation)
- II. Isı ile aktifleşen Termoplastik Polimer (Heat-activated Thermoplastic Polymers)
- III. Mikro-damarlı ağ (Micro-vascular network)
- IV. Tersinir kimyasal reaksiyonlar (Reversible chemical reactions)
- V. İçi-boş fiber yaklaşımı (Hollow-fiber approach)

Ancak, Kendi-Kendine Tamir Eden Boyalar/Kaplamaların üretiminde, Mikro-Kapsülleme ve ısı ile aktifleşen Termoplastik Polimer öne çıkan yöntemler olarak gösterilmektedir. Şimdi gelin bu iki teknolojiye biraz daha yakından bakalım.

Mikroenkapsülleme (Microencapsulation)

İyileştirme/tamir ajanları-kimyasalları bu tip boyalar ve kaplamaların içine mikro ve hatta nano ölçekte kapsüller olarak gömülmektedir. Bu kapsüller, boya veya kaplama içinde bir nevi cep işlevi görmektedir; dışarıdan bir etki (darbe, çizilme, yırtılma gibi) geldiğinde, bu kapsüller delinerek dış ortama yapıştırıcı benzeri iyileştirici kimyasallar ve ajanlar salmaktadır. Sonrasında, dışarıdaki diğer katalizör kimyasallar ile tepkimeye girerek hacimce daha büyük ve daha sağlam bir kopolimer oluşturmaktadırlar. Böylelikle, o bölgedeki çizik/yırtık/delinmeyi tamir ederek boya ve kaplamayı iyileştirmektedir. Tabii ki tüm bu tepkimeler, bir göz kırpması süresi içinde, gözümüzün göremeyeceği ölçekte, mikroskobik hatta nano ölçekte gerçekleşmektedir.

Brief History

Some type of a lime mortar in ancient Roman times was reported to be reported as the oldest self-healing material by historians. In our modern times, although several articles, papers, and presentations have been published after mid 80's worldwide, it was the 21st century that the first successful Self-Healing / Self-Repair paints and coatings were produced in the laboratories of technical universities located at mainly USA, Canada, Europe and Australia. After years following 2010, these paints and coatings have found commercial use in various industries. Following paragraph summarizes the most popular fields/sectors that the ever-increasing studies are carried out and commercial start-ups are established.

Which Fields/Sectors ?

Although self-repairing paints / coatings often show up in the automotive and oem sectors (especially removing paint scratches on metallic or plastic surfaces on cars), it is a known fact as a result of the current studies from different countries in the world that it can be also be used in smart phones, aerospace, defense and military equipment, industrial structural steel surfaces or even textile (see reference section) products.

2. Main Types

We can review the production methods of Self-Healing / Self Repair paints&coatings in 5 main types:

- I. Microencapsulation
- II. Heat-activated Thermoplastic Polymers
- III. Micro-vascular network
- IV. Reversible chemical reactions
- V. Hollow-fiber approach

However in the production of self-repairing paints / coatings, Micro-encapsulation and Heat-activated Thermoplastic Polymers are shown as prominent methods. Now let's take a closer look at these two technologies:

Microencapsulation

Self-Healing / Self Repair Agent Chemicals micro or even nano scale capsules are embedded inside in these types of paint and coatings. These capsules serve as a kind of pocket in paint or coating; when an external stimuli (such as impact, scratching, tearing) happens, these capsules open up and release adhesive-like healing chemicals & agents to its surroundings. Subsequently, the external catalyst reacts with the chemicals to form a copolymer that is larger and more robust by volume. In this way, repairing scratches / tears / punctures in that area heals the paint and coating. Of course, all these reactions take place on a scale that cannot be seen by our eyes, in microscopic or even nano scale. (The relationship of this technology with nanotechnology will be explained in the next section.)

(Bu teknolojinin nanoteknoloji ile olan ilişkisi, bir sonraki bölümde açıklanacaktır.)

Şekil 4: Mikroenkapsülasyon esaslı Kendi-kendini İyileştiren / Tamir eden boyalar ve kaplamaların basit çalışma mekanizması



Figure 4: Micro-encapsulation-based Self-Healing/Self-Repair Paints and Coatings and the simple operation mechanism

Isı ile Aktifleşen Termoplastik Polimerler Mikroenkapsülleme

(Heat-activated Thermoplastic Polymers)

Bu tipteki Kendi-Kendini İyileştiren/Tamir Eden Boyalar Ve Kaplamalar 2 alt sınıfa ayrılmaktadır:

1. Şekil-Hafızalı Polimerler - ŞHP (Shape Memory Polymers -SMPs)
2. Tersinir Polimerler (Reversible Polymers)

1. Şekil-Hafızalı Polimerler (Reversible Polymers)

Birçoğumuz Şekil-Hafızalı malzemeleri günlük hayatımızda sıkça kullanırız ancak farketmeyiz. Örneğin Nitonoldan (Nikel-Titanyum) yapılmış gözlüklerimizin, ne kadar eğsek büksek de eski formuna/şekline geri geldiğine şahit olmuştuzdur. Genellikle, Şekil-Hafızalı Polimerler çok daha karmaşık (ve son derece ilginç) şekilde çalışmaktadırlar. Ancak biz bu detaylara girmeyeceğiz. (Merak edenler yazı sonudaki linki inceleyebilir¹.)

Burada önemli olan, bu tür Şekil-Hafızalı Polimerlerin yapısı gereği esnek olmaları ve hasar-öncesi duruma gelebilmeleri için mutlaka bir ısı veya enerji kaynağına ihtiyaç duymalarıdır. Örneğin, birçok otomotiv ana üreticisi ve bu üreticiler için boya üreten tedarikçi firmalar, bu teknolojiye sahip boyaları araç üzerindeki boya sisteminin son katı olan Vernik-Kat (Clear-coat) içerisinde kullanmaktadır. Böylelikle, boya çizildikten sonra basit bir ısı verici cihaz ile bu çiziklerin giderilmesi mümkün olmaktadır.

Şekil 5: Araç üzerinde çizilen boyanın üzerine ısı uygulanarak boyanın kendi-kendini iyileştirmesi / tamir etmesi

2. Tersinir Polimerler (Reversible Polymers)

Bu tipteki kendi-kendine iyileştirebilen boyalar/kaplamalarda Isıl-Tersinir (Thermoreversible) kimyaya sahip Furan ve Maleimide fonksiyonel grupları gibi polimerler kullanılır. Bir hasar sonrasında yüzeye uygulanacak ısı veya ısı üretebilecek enerji ile, Diels-Alder (DA), retro-Diels-Alder (RDA) gibi özel tersinir kimyasal tepkimeler sayesinde, bu tersi-

Heat-Activated Thermoplastic Polymers

Self-healing / repairing paints and coatings of this type are divided into 2 subclasses:

1. Shape Memory Polymers-SMPs
2. Reversible Polymers

1. Shape-Memory Polymers SMPs

Many of us use Shape-Memory materials frequently in our daily lives, but we really do not notice. For example, our glasses made of Nitonol (Nickel-Titanium), you may have witnessed that it is returning to its former form / shape no matter how much twisted or bend! Generally, Shape-Memory Polymers work in a much more complex (and extremely interesting) manner. However, we will not go into these details¹. What is important here is that such Shape-Memory Polymers are inherently flexible and require a heat or energy source to be able to return to its initial undamaged state. For example, many automotive manufacturers and suppliers that produce paints for these manufacturers use the paints with this technology in Clear-Coat, which is

the last layer of the paint system on the vehicle, and after scratching the paint, these scratches are healed with a simple heat transmitter.

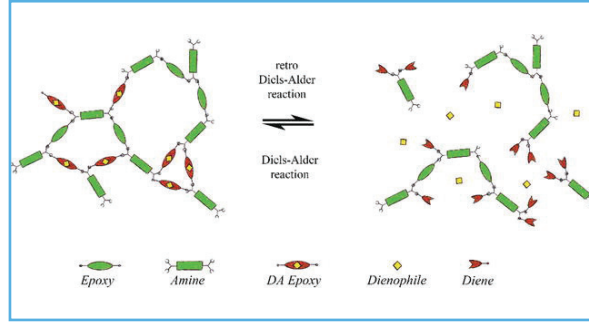


Figure 5: Self-healing / repairing of the paint by applying heat to the scratched paint on the vehicle

2. Reversible Polymers

Polymers with thermoreversible chemistry, such as furan and maleimide functional groups, are used in this type of self-healing paints / coatings. These reversible polymers can be returned to their original Un-Damaged state by means of special reversible chemical reactions such as Diels-Alder (DA), retro-Diels-Alder (RDA) with energy that can generate heat or heat to be applied to the surface after a damage. The most important feature of these polymers is that the ends of their polymeric structures are very active; In case polymers are damaged with a mechanical damage coming

nir yapıya sahip polimerler eski orijinal hasarsız durumlarına dönebilmektedir. Bu polimerlerin en büyük özelliği, Polimerik yapılarının uçlarının oldukça aktif olmasıdır; polimerler dışarıdan gelecek bir mekanik hasar ile parçalara ayrılrsa dahi, eski hallerine dönmek için miknatis gibi birbirlerini çekme potansiyellerine sahiptir.



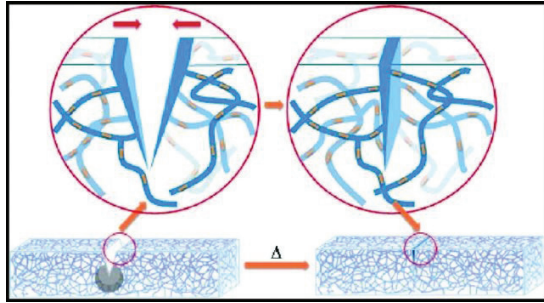
form outside, they have the potential to attract each other to revert themselves into original forms like magnets!

Figure 6: Shape-memory Polymers (SMPs) and the Diels-Alder (DA) / retro-Diels-Alder reactions

Şekil 6: Şekil-hafızalı Polimerler (ŞHP) ve Diels-Alder (DA) ve retro-Diels-Alder reaksiyonlar

3. Nanoteknoloji ile İlişkisi

Nanoteknoloji, yani metrenin milyarda biri (1/1,000,000,000 metre) olan nanometre ölçüsünde icra edilen bilim, mühendislik ve teknolojiler, günümüzde ilaç sanayinden inşaatla hemen hemen tüm sektörleri etkilemektedir. Özellikle mikroenkapsülasyon yoluyla üretilen Kendi-Kendini İyileştiren/Tamir Eden Boyalar ve Kaplamalar sınıfında, nanoteknolojinin kullanımı zorunludur. Zira, nano ölçekteki kapsüllere konulmuş özel formülize edilmiş kimyasallar, sıradan bir boyayı, dışarıdan bir darbe aldığı anda içindeki kimyasalı kontrollü bir biçimde salacak bir Kendi-Kendini İyileştiren / Tamir Eden boyaya dönüştürebilmektedir. Bununla beraber, yukarıda bahsedilen Şekil-Hafızalı-Polimerler'in üretiminde de nanoteknoloji yoğun biçimde kullanılmaktadır.



Şekil 8: Şekil-hafızalı polimer yoluyla kendi-kendini iyileştirme
Figure 8: Self-healing via shape-memory polymers

4. Problemler ve Dezavantajları

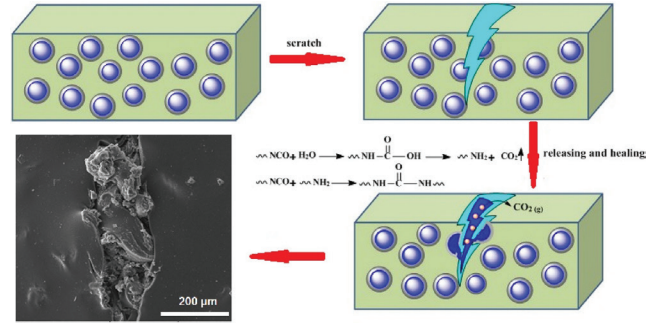
Ana tiplerini incelediğimiz bu teknolojik boya ve kaplamalar ile ilgili en sık karşılaşılan problemler ve dezavantajları 4 ana maddede özetlenebilir:

I. Çoğu mikrokapsül, sadece mekanik hasar nedeniyle oluşmuş kusurları tamir edebilmektedir, metallerin korozyon gibi doğal paslanma sürecine karşı açıktır. Henüz bu boyalar/kaplamalar korozyon gibi elektrokimyasal süreçleri önceden tespit edip, buna göre önlem alamamaktadır.

II. Mikroenkapsülasyon yöntemi sırasında kullanılan kapsüller çok küçük (nanometre boyutunda, daha büyük olursa boya kimyasal yapısında zayıflıklara neden olabiliyorlar) oldukları için, taşıyabilecekleri iyileştirme ajanları/kimyasalları sınırlıdır. Bu nedenle, çoğu zaman bu kapsüller aynı yerde hasar oluşturduğunda sadece bir veya birkaç kez iyileştirme

3. Correlation With Nanotechnology

Nanotechnology, which is the science, engineering and technology, dealing with nanometers measuring one billionth of a meter (1 / 1,000,000,000 meters), is revolutionising every aspect of our lives from pharmaceutical industry to construction. Especially for self-healing / repairing paints and coatings produced by microcapsulation, the use of nanotechnology is mandatory! Because, standart paints and coatings can be transformed into Self-Healing / Self-Repair paints and coating by the use of nano scale capsules that contains special healing chemicals. Besides, nanotechnology is also extensively used in the production of the above-mentioned shape-memory polymers.



Şekil 7: Mikrokapsüller yoluyla kendi-kendini iyileştirme
Figure 7: Self-Healing via microencapsulation

4. Problems ve Drawbacks

The most common problems and drawbacks associated with these technological paints and coatings, of which the main types have been examined, can be summarized in 4 main items below:

I. Most microcapsules are vulnerable to the natural corrosion process of metals such as corrosion; can only repair defects caused by mechanical damage. These paints / coatings cannot detect electrochemical processes such as corrosion in advance and take precautions accordingly.

II. Since the capsules used during the microencapsulation method are very small (nanometer size, they can cause weakness in the paint chemical structure if they are larger), the healing agents / chemicals they can carry are limited. Therefore, most of the time, these capsules are able to repair & repair only once or a few times times when they cause damage in the same

ve tamir edebilmektedirler. (İyileştirme güçleri son derece sınırlıdır denebilir.)

III. Mikroenkapsülasyon yöntemi sırasında iyileştirme için gerekli olan katalist ve iyileştirme ajanı kimyasallarının çoğu zaman ayrı ayrı saklanması ve sonrasında boya içine iyice karıştırılması gerekmektedir. Hasarın nerede oluşacağı önceden bilinmediğinden, eğer bu iki farklı malzeme yeterince homojen olarak karıştırılmamış ise, birbirlerine yeterince yakın olamayacakları için iyileştirme etkisi göstermeyebilir.

IV. İyileştirme kimyasal ajanları son derece kararsızdır; su ve oksijen ile hemen tepkimeye girebilirler. Bu yüzden, raf ömürleri oldukça kısadır ve depolama koşullarına dikkat edilmesi gerekmektedir.

5. Yeni Gelişmeler ve Trendler

Yukarıda bahsedilen problemler ve dezavantajları ortadan kaldırmak için, dünya üzerinde çok sayıda üniversite ve araştırma merkezinde çalışmalar sürmektedir. Örneğin, BATTELLE Memorial Institute araştırma merkezindeki bilim insanları, korozyon oluşumunu önceden tespit-edecek ve iyileştirebilecek tek-bileşenli akıllı bir tanecik üzerinde çalışmaktadır. (Battelle Smart Corrosion Detector® bead) Bu küresel taneciklerin 30 ila 50 mikron çapında kürecikler olup, kütle halinde beyazımsı toz gibi görüldüğü belirtilmektedir. Böylelikle, metal yüzeylerinde oluşacak korozyon oluşumları için erken uyarı sinyali vererek, kendi-kendine iyileştirme/tamir işlemine başlanması öngörülmektedir. Mikroenkapsülasyon tekniği ile bakteri ve mikropları hedefleyen dış-uyarıcılara tepki veren boyalar ve kaplamalar geliştirilmesi de sözkonusudur. Mikrokapsüller tarafından tespit edilen bakteri ve mikropların üzerine kapsüllerin içerisindeki zehirli kimyasal ajanların gönderilmesi hedeflenmektedir. Tetikleme mekanizması olarak örneğin bakterilerin hücre duvarlarındaki spesifik bir proteinin uyarıcı olarak kullanılabilirdiği, literatürde belirtilen bir teknik gerçektir. Son dönemde popüler olan bir diğer yaklaşım da, yukarıda ana tipleri anlatılan teknolojik metodların birlikte kullanılarak melez kendi-kendini tamir eden boyalar/kaplamaların üretilme çalışmalarıdır. Örneğin hem mikroenkapsülasyon hem de tersinir kimyasal reaksiyonlar teknolojilerine sahip dual-aksiyonlu (hatta diğer teknolojilerden biri de kullanılırsa triplex-aksiyonlu) Kendi-Kendini Tamir Eden Boyalar/Kaplamalar üretilmesi, üzerinde çalışılan konulardan biridir. Bu teknoloji her ne kadar boya ve kaplamaların iskeletini oluşturan polimer yapılarda daha kolay uygulanabilmekteyse de, metal, seramik, çimento ve hatta asfalt malzemelerinde de inovatif çözümler geliştirmek için dünya üzerindeki farklı ülkelerde çalışmalar yürütülmektedir. Bu konuda daha geniş bilgileri şu linkteki makaleden okuyabilirsiniz²:

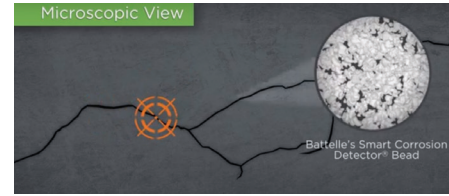
location. (Their healing powers are extremely limited.)

III. During the microencapsulation method, the catalyst and curing agent chemicals required for curing often need to be stored separately and then thoroughly mixed into the paint. Since it is not known where the damage will occur, if these two different materials are not mixed homogeneously enough, they may not have a healing effect since they cannot be close enough to each other.

IV. Healing chemical agents are extremely unstable; they can react with water and oxygen immediately. Therefore, shelf life is very short and storage conditions need to be carefully monitored.

5. Trends and Recent Advances

In order to eliminate the aforementioned problems and drawbacks, studies are going on in many universities and research centers around the world. For example, scientists at the BATTELLE Memorial Institute research center are working on a one-component intelligent particle that can predict and improve the formation of corrosion. (Battelle Smart Corrosion Detector® bead) These beads are spheres of 30 to 50 microns in diameter and appear to be whitish powder in bulk. Thus, giving early warning signals of corrosion in the metal surfaces, self-improvement / repair process is expected to begin.



Şekil 9: BATELLE Akıllı Korozyon Detektörü Tanecikleri
Figure 9: BATELLE Smart Corrosion Detector Beads

It is also possible to develop paints and coatings that react to external stimuli targeting bacteria and microbes by microencapsulation technique. Once Microbes and Bakteria detected, it is aimed that toxic chemicals inside microcapsule are released onto them. As an example of a trigger mechanism, a specific protein in the cell walls of bacteria can be used as stimulus and it is a well-known fact in the literature. Another popular approach in recent years is the production studies of Hybrid Self-Repairing Paints / Coatings using the 2 or more technological methods together described above in the main types. For examples, one of the topics studied is producing dual action (or even triple action) self-healing / self repair paints having microencapsulation and reversible chemical reactions and/or other technologies mentioned above. Although this technology can be applied more easily in polymer structures that form the backbone of paints and coatings, studies are being carried out in different countries around the world to develop innovative solutions for metal, ceramic, cement and even asphalt materials. You can read more about this in the following article².

6. Sonuç

21.yy'da yaşanan endüstriyel ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak, yenilikler sürekli olarak hayatımıza girmektedir. Kendi-Kendine İyileşen/Tamir eden Boyalar/Kaplamalar, 21.yy'da yaşanan endüstriyel ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak hayatımıza girmekte olan inovatif yeniliklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Akademik alandaki bilim-insanları, araştırmacı akademisyenler ve endüstriyel Ar-Ge merkezi uzmanları aslında, biz insanlar gibi yaşayan organizmaların, Kendi-Kendini Tamir Etme Mekanizmalarını taklit ederek daha uzun süre dayanacak inovatif boya ve kaplamaları geliştirmektedir ve böylelikle bu boya ve kaplamalar korudukları zeminlerin hizmet ömürlerini giderek arttırmaktadır. Henüz bebek adımlarını atan bu inovatif teknolojiye, Biomimetics olarak da bilinen canlı organizmaların yaşamsal işlevleri örnek alınarak, daha yüksek performanslı ve daha az dezavantaja sahip gelişmiş tiplerin üretilmesi mümkün olacaktır. Giderek akıllılaştan teknolojilerle çevrili 21. ve 22. yüzyıl dünyamızda, Kendi-Kendini Tamir Eden Boyalar/Kaplamalar kavramı sürekli gelişen bir teknoloji olacaktır. Bu teknolojiyi ileride daha da sık duyacağımız ve günlük hayatta daha çok kullanacağımız su götürmez bir gerçektir.

6. Conclusion

As a result of the industrial and technological developments in the 21st century, innovations are constantly entering our lives. Self-Healing / Repairing Paints and Coatings is one of the innovative innovations that come into our lives due to industrial and technological developments in the 21st century. The aim of scientists, researchers, research academics, and industrial R&D center experts in this field is, in fact by mimicking the Self-Healing/Self-Repair mechanisms of living organisms like us human-beings. Hence, more durable innovative paints and coatings can be applied onto the surfaces and thus the service life of the substrates they protect will be gradually increased. This innovative technology, which is still taking baby steps, will be able to produce advanced types with higher performance and less drawbacks by taking the vital functions of living organisms, also known as Biomimetics. In our 21st and 22nd century worlds surrounded by technologies getting increasingly smarter, the concept of Self-Healing / Self-Repairing Paints / Coatings is a constantly evolving technology, and it is an indisputable fact that we will hear about these materials more and more frequently in the future!

1. <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/sekil-hafizali-yeni-polimerler>

2. https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/282975_ANL_V2011-10%20AgentschapNL%20IOP%20Self-healing%20materials%20A5%20C.pdf

Referanslar / References

1. Self Healing materials – concept and applications, Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation, NL Agency Second edition – 2011
2. Self-Healing Coatings For Textile I. De Vilder 1 and M. Vanneste 1
3. <https://www.slideshare.net/LakshiNandanBorah/self-healing-of-composite-material>
4. <https://www.forbes.com/sites/fionamcmillan/2017/12/21/the-rise-of-self-healing-materials/#66cd943f64c3>
5. <https://www.explainthatstuff.com/self-healing-materials.html>
6. https://www.researchgate.net/publication/283550665_Self-healing_materials_A_review_of_advances_in_materials_evaluation_characterization_and_monitoring_techniqueshttps://www.oceanit.com/products/healable-nano-coating
7. <https://www.pcmag.com/articles/101732-the-science-of-corrosion-busting-smart-coatings>
8. <https://www.corrosionpedia.com/definition/1480/self-healing-coating>
9. <https://www.compositesaustralia.com.au/the-reality-of-self-healing-polymers/>
10. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsami.8b06985>
11. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/TA/C3TA13389C#divAbstract>
12. <https://www.graphene-info.com/northwestern-team-develops-graphene-based-self-healing-coating>
13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5510056/>
14. <https://www.wikizero.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpd2kvU2V5Zi1oZWZsaW5nX21hdGVyaWFs>

- Kumlayın
- Boyayın
- İşlem Tamam!

Yağlı bir iş parçası mı kumlanacak?



Elbette PantaTec ile!



Su testi - Yüzey temiz.



**PantaTec kumlama katkısı-
Onunla yağdan kurtulun!**
www.pantatec.com

BVA Müessilik Makina San. ve Tic. Ltd. Şti.
Bayar Cad. Gülbahar Sok. No:15/9 34742
Kozyatağı / İstanbul
T: +90 (216) 658 8005
+90 (216) 410 8272
F: +90 (216) 658 8006
info@bva.com.tr

