
DERS 14

**ELEKTROMETAL KAPLAMA
TEKNIĞİ**

İçindekiler

| | |
|---|----|
| Kaplama Çökeltilerinin Kontrolü..... | 1 |
| Çökeltilerin Özellikleri (Nitelikleri) Sayılardır..... | 1 |
| Sayılar Nasıl Elde Edilir veya Herşey Boyutlara Sahiptir..... | 3 |
| Kalınlık Birimleri..... | 4 |
| Çökeltinin Kalınlığı..... | 5 |
| Çökeltinin Direkt Ölçümü..... | 6 |
| Mikrometre..... | 6 |
| Taksimatlı Okülerli Mikroskop..... | 6 |
| Enterferans (Girişim) Metotları..... | 8 |
| Endirekt Metotlar..... | 8 |
| Melse Kiriş Metodu..... | 8 |
| Nokta Kazıma..... | 9 |
| Hidroklorik Asit Nokta Testi..... | 12 |
| Fiziksel Özellik Metotları..... | 14 |
| Manyetik Kalınlık Kontrolü..... | 14 |
| Endüksiyon Akımlı Kalınlık Test Edicileri..... | 14 |
| Termoelektrik Masdar..... | 14 |
| Radyasyon (Işınım) Metotları..... | 15 |
| Beta Işını Geri-Saçılması..... | 15 |
| X-Işını Metotları..... | 18 |
| Ortalama Değer Kalınlık Testleri..... | 19 |
| Ortalama Alan-Ağırlık Metodu..... | 19 |
| Çökelti Yoğunluğunun Bilindiği Durumda Ortalama Kalınlık..... | 23 |
| Kazıma Metodu..... | 25 |
| Tartım Metodu..... | 25 |
| Yapışma Testleri..... | 26 |
| İdeal Yapışma Testleri..... | 27 |
| Keski veya Çakı Testi..... | 28 |
| Bükülme veya Esneme Testi..... | 29 |
| Isıtma Testi..... | 29 |
| Perdahlama Testi..... | 29 |
| Taşlama Testi..... | 30 |
| Konserve Açacağı Testleri..... | 30 |
| Yapışkan Şerit Testi..... | 31 |
| Kolay Biçimlendirilirlik..... | 31 |
| Kupa Test Edicisi..... | 31 |

İçindekiler

| | |
|--|----|
| Mikrometreli Bükme Testleri..... | 32 |
| Kaplamaların Gerilme Direnci..... | 32 |
| Kaplamanın Sertliği..... | 34 |
| Standart Eğe Testi..... | 34 |
| Mohs Kazıma Testi..... | 34 |
| Elmas Uçlu Kazıyıcı Test Edicisi (Mikrokarakter Kazıma Testi)... | 34 |
| Vickers Dişleyicisi Testi..... | 35 |
| Aşındırıcı Testler (Aşınma Testleri)..... | 35 |
| Kalıntı Gerilme..... | 36 |
| Çökeltinin Pürüzsüzlüğü | 38 |
| Porozite (Gözeneklilik) Testi..... | 38 |
| Elektrografik Porozite Testleri..... | 39 |
| Sıcak Su Testi..... | 40 |
| Diğer Porozite Testleri..... | 40 |
| Buhar Metotları..... | 40 |
| Kromat Finisajlar..... | 40 |
| Pasifleştirilmiş Çelik..... | 41 |
| Anodize Dolgu Uygulaması..... | 41 |
| Nitrik Asit Testi..... | 41 |
| Korozyona Uğrayabilirlik..... | 41 |
| Tuz Sprey Testi..... | 41 |
| CAASS Testi..... | 42 |
| Corrodkote..... | 42 |
| Terleme Testleri..... | 42 |
| Kaplama Süreçlerinin İstatistiksel Kontrolü..... | 43 |
| Basit Bir Deneyim..... | 43 |
| Belirlenen Sınırlar Nasıl Çalışırlar?..... | 47 |
| İşlenmemiş Problemlerin Yanıtları..... | 51 |
| Seçilen Referanslar..... | 52 |
| Ders 14, İnceleme..... | 55 |

Kaplama Çökeltilerinin Kontrolü (Özellikli Kaplama)

Şimdiye dek kaplama ve yüzey işlem banyolarına, bunların nasıl formüle edildiklerine, nasıl kullanıldıklarına ve nasıl kontrol edildiklerine ilişkin kapsamlı bir öğrenim süreci geçirdiniz. Başlangıç aşaması hariç, bu sürecin tüm aşamalarında, bu banyoların ürünü olan **çökelti** konusunda pek fazla bir şey anlatmış değilim. Evet, artık zamanı geldi...

Kaplamaların önemli bir bölümünü **dekoratif** kaplama oluşturmaktadır. Geçmişte bir dekoratif kaplamanın kabul görmesi için gerekli en önemli kriter görünüşünün güzel olup olmadığı idi. Bu sebeple, tüketici görünüşünü güzel bulduğu müddetçe, kaplamacı için bu kaplamaların fiziksel ve elektro-kimyasal özellikleri pek fazla bir önem taşımıyordu. Ancak, devir değişti! Günümüzde kaplamaların dış görünüşünün de ötesinde, özelliklerine daha fazla ilgi gösterilmektedir! Doğal olarak bu ilgi, gelişmiş kaplama özelliklerinin gerekli olduğu **mühendislik** amaçlı kaplamalarda çok daha büyük önem taşımaktadır. Peki ya dekoratif kaplamada? Hiç sormayın! Günümüzün dekoratif kaplama müşterisi, artık kalite konusunda oldukça bilinçli. Kaplamanın göze hoş görünür olmasının yanı sıra, diğer özellikler arasında, kalınlığının ne kadar olduğunu, ne kadar dayanacağını ve korozyona uğrayıp, uğramayacağını da, haklı olarak bilmek istiyor. Bunların da ötesinde, resmi kuruluşlar ve özel şirketler gibi büyük ölçekli kaplama kullanıcıları, kaplamaların zorlu özellikleri karşılama istemekte ve hatta önemle beklemekteler. Hiç kuşku yok ki bu eğilim zaman boyu sürüp gidecektir. Her ne kadar bu beklenti, sadece batırma ve daldırma yapmaya alışmış eski günlerin bazıları için sevimsiz görünebilse de, uzun vadede kaplamacılık sanayii için bütünüyle olumlu bir ivmedir. Yüzey işlemler alanına kalite standartlarının ve özelliklerinin getirilmesi, sanayiın bütününe yardımcı olamaz ancak genişleyerek, yayılmasını ve değerini yükseltmesini sağlar. Bu nedenle size elektrolitik kaplamaların kontrolü ve özellikleri hakkında bilgi vermek istiyorum.

Özellikli kaplama gerçekleştirebilmek, yani belirli **özellikleri** karşılayan kaplama çökeltileri elde edebilmek ve bu özellikleri karşılayıp karşılamadıklarını anlamak için, kaplama çökeltilerini **ölçümlemeniz** veya **kontrol etmeniz** gereklidir. Bu derste size bu işlemleri nasıl gerçekleştirebileceğinizin bilgi temelini aktarmak istiyorum. İlk olarak size yapmanız gereken çeşitli testler hakkında bilgi verecek ve bu testleri nasıl yapacağınızı göstereceğim. Ardından üretim sürecinde en az gayret sarfederek özellikleri idame ettirebilmeniz için, kalite kontrol hakkında bazı bilgiler vereceğim. Bu ders sizlerin gecenin geç saatlerine dek çalışmanıza ve kontrol konusuna ilişkin **5. Ders'e** tekrar başvurmanıza vesile olacaktır. **Özellikli kaplama** işte burada ve kullanılması da gerekli. Daha fazlasını söylememe gerek var mı?

Kaplamaların Özellikleri (Nitelikleri) Sayılardır

Bir kaplama özelliğinden söz edildiğinde temelde bir sayı söz konusudur.

Bir kaplamanın en sıklıkla ölçümlenen özelliği **kalınlığı**'dır. Bunu örneğin şöyle ifade ediyoruz: "Bu nikel kaplamanın kalınlığı 40 mikrondur."

Sıklıkla söz edilen bir diğer özellik de, **yapışma gücü**`dür. Bu özelliği de şöyle ifade ediyoruz: "Bu sert krom kaplamayı, altında bulunan çelik katmanından ayırmak için 45.000 psi (pound/inçkare) güç uygulamamız gerekir." Krom kaplamanın **yapışma gücü** 45.000 psi`dir.

Sıklıkla ölçümlenen bir diğer özellik de **artık gerilme**`dir. İfade biçimi: "Bu altın kaplamanın **dahili çekme gerilmesi** 14.000 psi`dir." Veya: "Bu çinko kaplamanın **dahili sıkıştırma gerilmesi** 2.000 psi`dir" şeklindedir.

Yüzey pürüzlülüğü de bir diğer ilginç özelliktir. Bu da şöyle ifade edilebilir: "Bu bakır kaplamanın **pürüzlülüğü** 0,4 mikrondur.

Bu yukarıdakiler yalnızca bazı örneklerdir.

Bir **özellikten** söz edebilmek için buna bir **sayı** tahsis edilebilmesine gereksinim vardır. Herhangi bir özellik yalnızca öznel olarak ifade edilmekte ise (yani buna bir sayı tahsis edilmemişse), her ne olursa olsun bu bir özellik değildir! Yani, yıllar önce altın kaplamalar yalnızca ve birincil olarak dekoratif amaçlarla kullanılıyor iken, altın kaplamanın **renği** önemli bir özellikti (doğal olarak dekoratif kaplamada bu durum hala geçerlidir). O dönemlerde renkleri tanımlamak için, **Rus altını, Hamilton altını**, vb.gibi ifadeler kullanılmaktaydı. Ancak böylesi ifadeler sayı değildirler. Bir müşteri, bir **Hamilton altını** örneği ile eşleme isteğinde bulunabilir, bir diğeri de buna kendi **Hamilton altını** versiyonunu getirebilir. Her iki örnek yan yana konduğunda, renklerin birbirinden farklı olduğu hemen görülür. İnsan gözü ile ölçümlenen **renk** yalnızca öznedir. Renk, yalnızca bir **renk sayısı** veya bir **sayılar seti** olarak tanımlandığında bir **özellik** niteliği taşır.

Tüm bunları akılda tutarsak, **özellikli bir kaplama** gerçekleştirmek demek, **sayıları eşleştirmektir**. Bunu gerçekleştirebilmemiz için müşteriniz tarafından size bir **numaralar seti** verilmiş olmalıdır. Kaplamayı gerçekleştirdikten sonra, kaplama testinden elde ettiğiniz **sayı**, müşteriniz tarafından size verilen **sayıyla** eşleştiği takdirde, **başarılı olarak özellikli bir kaplama yapmış olursunuz**.

Buraya dek tüm anlatılanları özetleyecek olursak:

1. **Bir sayıyı bir diğer sayıyla eşleştirebilmemiz gereklidir.**¹
2. **Elde ettiğiniz sayı size verilen sayı ile eşleşmediği takdirde, bunu sağlayacak şekilde kaplama koşullarınızı ayarlayabilmeniz gereklidir.**
3. **Doğru eşleşme sağlandığında, aynı sayıyı devam ettirecek şekilde kaplama koşullarınızı değiştirmeksizin uygulamayı sürdürebilmeniz gereklidir.**

İkinci adımla ilgili ayrıntılar, **6,7,8 ve 9. Derslerde** açıklanan kaplama banyoları bölümünde ve **Kaplama Banyolarının Kontrolü** ile ilgili **5. Derste** açıkça tanımlanmış bulunmaktadır. Aynı şekilde, **5.Ders, özellikli kaplamanın** 3.adımı için gereken ayrıntıların önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Burada özellikle vurgulanması gereken, ölçümleri yapabilmemiz için gereken sayıları nasıl elde edeceğinize ilişkin olan 1. adımdır. Kalite kontrolüne ilişkin bazı malzemelerin katılması, 2. ve 3.

¹ Tabii ki, önerilen sınırlar içerisinde.

adımları gerçekleştirmenize yardımcı olacak ve böylece özellikli bir kaplama yapabilmek için gerekli olan her şey tamamlanmış olacaktır.

Sayılar Nasıl Elde Edilir, veya, Her Şey Boyutlara Sahiptir

Hiç kuşku yok ki hayatta bir kez bir **şerit metre** kullanmışsınızdır. Örneğin sizden bir masanın uzunluğunu ölçmeniz istenmiştir. Örneğin bu ölçümü yaparak, söz konusu uzunluğun 85 cm olduğunu belirlediniz. Bunu yaparak **en temel boyutlardan birini, uzunluğu** ölçmüş oldunuz. Bu ölçümü yapmak için kullandığınız **gereç** bir **şerit metre** olmuştur.

Dün, bazı kimyasalları bir **terazi** üzerinde tarttınız. Bu işlem sayesinde **temel** bir boyut olan **kütleyi** veya **ağırlığı²** ölçmüş oldunuz. Bunu yapabilmek için de kullanmış olduğunuz **gereç** bir **terazi** olmuştur.

Belki de bir piknikte, bir çuval yarışının **zamanını tutmuşsunuzdur** veya çuvalın içerisinde değilseniz bir at yarışında zaman tutmuşsunuzdur. Bu amaçla bir **saat** veya bir **kronometre** kullanmışsınızdır ve böylece **temel bir boyut** olan **zaman aralığını** ölçmüşsünüzdür. Bu durumda kullanmış olduğunuz **gereç** bir **kronometre** olmuştur.

Bugün, bir termometre kullanmak sureti ile bir kaplama banyosunun **sıcaklığını** ölçeceksiniz. **Sıcaklık** da bir **temel boyuttur** ve bunu bir **termometre** ile ölçebilirsiniz.

Kaplama banyosunun içerisindeki **gerilimi** bir **voltmetre** ile ölçülür. **Potansiyel farkı** (voltaaj) **temel bir boyuttur** ve ölçülmesi için bir **voltmetre** kullanılması gerekir.

En karmaşıkları bile olsa tüm özellikler ve nitelikler, bu temel boyut terimleri ile tanımlanabilirler.

Doğal olarak en karmaşık özellikler veya bunlara tahsis edilen sayısal değerlerin çoğu bir cetvel, bir saat ve bir terazi ile ölçülemez. Bu özellikleri, gerekli ölçümlenmeleri bir arada yapan bir **gereçle** ölçebilirsiniz. Böylesi **gereçler**, bu temel boyutların birleşimlerinden oluşan sonuç sayısını size temin etmek için daha karmaşık yöntemler kullanmaktadır.

Size şöyle bir örnek vermek isterim: Otomobilinizi sürerken, hız ölçme göstergenizin (kilometre göstergesi) doğru ölçüm yapıp yapmadığını kontrol etmek isteyebilirsiniz. Böylesi bir kontrol oldukça kolay olmakla birlikte, belirli koşullar altında otomobilinizin **hızının** ölçülmesi gene de karmaşık bir **gereç** sayesinde gerçekleştirilir. Bununla beraber bu **gereç** hatalı olabilir. Böylece, otoyol üzerinde otomobilinizi ölçülmüş bir mil uzunluğunda bir parkur üzerinde, hız göstergesini sabit olarak örneğin 90 km/saat üzerinde tutarak sürersiniz. Parkur başlangıcından çıkış yaptığınız anda siz veya yanınızdaki arkadaşınız, bir kronometre veya bir kol saati kullanmak sureti ile **zamanı** ölçmeye başlarsınız. Parkur sonunda kronometrenin veya kol saatinin gösterdiği süre 60 saniye yerine 62 saniye ise, **hız ölçerinizin** 90 km/saat göstermesi durumunda taşıdığı kusur, tam doğruluktan yaklaşık olarak %3 oranındaki noksanlığıdır. Demek ki **hızölçer** üzerinde görmeniz gereken doğru hız

² Deniz seviyesinde kütle ve ağırlık aynı sayısal değer ile ifade edilir.

yaklaşık olarak 87 km/saat olmalıdır. **Soru:** Bu sonuç nasıl elde edilmiştir?

Bir otomobilin bir diğer ilginç özelliği hızlanmasıdır (ivme). Bazı otomobil üreticileri durur haldeki araçlarının hareket ettikten 15 saniye sonra 90 km/saat hızına eriştiğini açıklamaktadırlar. Bu aracın bir özelliği veya bir karakteristiğidir. Hızlanma olarak nitelendirdikleri bu karakteristik, hızın değişme oranıdır. Bu hızlanma karakteristiğini ölçümlemek için kullanılan **ivme ölçer** normal olarak yalnızca uçaklarda bulunan bir göstergedir. İvme, hızın değişiminin zamanın değişimine oranıdır. Bunu ölçümleyebilmek için otomobilinizi hareket ettirmekle eşzamanlı olarak kronometrenizi çalıştırmaya başlamanız gerekir. Bu durumda, 5 saniye sonra hız ölçerinizin gösterdiği değeri okuyunuz ve 5 saniye sonra yeniden aynı gösterge değerini alınız. İlk 5 saniye içerisinde otomobilinizin hızı 0 km/saat konumundan 30 km/saat konumuna yükselmiş ise, bu süre içerisindeki ortalama hızlanmanız (ivmeniz) $30.00 / 5 = 6$ km/saniye düzeyinde olmuştur. İkinci 5 saniyelik süre sonunda hızınız 30 km/saat düzeyinden 60 km/saat düzeyine yükselmiş ise bu aşamadaki hızlanmanız (ivmeniz) yine $(60-30)/5 = 6$ km/saniye olmuştur. Otomobiliniz bir hızölçerle donatılmamış olduğu takdirde, hızlanmanızı, uzunluğu önceden ölçümlenmiş bir parkur üzerinde zamanlama tespiti yapmak sureti ile belirleyebilirsiniz. Bu sayede önce iki işaret arasındaki ortalama hızınızı ve sonra da belirli bir zaman süresi boyunca ortalama hızınızdaki değişikliği hesaplamak sureti ile ortalama hızlanmanızı (ivmenizi) belirleyebilirsiniz.

Bütün bu uzun soluklu giriş bölümünün amacı, sizin ilgi alanınıza giren pek çok kaplama özellikleri gibi diğer her şeyin de, bir zamanlayıcı, bir ölçü metresi ve bir terazi sayesinde ölçümlenebileceğini anlamanızdır.

Tabii ki, elektrometal kaplamaların daha karmaşık bazı karakteristikleri uygulamada doğrudan doğruya herhangi bir ölçü metresi, bir saat ve bir terazi ile ölçümlenemez. Her ne kadar bu teorik olarak mümkünse de, uygulanması pratik bir yöntem değildir.

Bu gereçler size, söz konusu ölçümlerin bir kombinasyonunu temsil eden **sayıyı** verecek şekilde temel ölçümlenmeleri daha karmaşık bir yöntemle kombine edecek şekilde belirleyerek sağlayabilirler. Burada ne demek istediğimi açıklamak amacı ile, kaplamacılar için birinci ve olasılıkla en önemli özellik olan **kaplama kalınlığını** anlatmakla işe başlayacağım.

Kalınlık Birimleri

Ölçü birimleri konusu 1. Derste ele alınmıştı ancak bu bilgileri tekrar gözden geçirmeyi özellikle yararlı buluyorum. **Tablo-1** çok kullanılan bazı kalınlık ölçü birimlerinin aralarındaki ilişkiyi vermektedir.

Tablo-1. Bazı Sık Kullanılan Kalınlık Ölçüsü Birimleri ve Dönüştürme Faktörleri (katsayıları)

| Metrik Birimler | İngiliz/Amerikan Sistemi |
|--|--------------------------|
| 1,00 santimetre (cm) | 1,00 inç |
| 1,00 milimetre = 0,01 cm | 1,00 mil = 0,001 inç |
| 1,00 mikron (μ) = 0,0001 cm | (mil: binde bir inç) |
| 1,00 mikrometre (μ m) = 1,00 mikron | |
| 1,00 Angström (Å) = 1×10^{-8} cm | |
| Dönüştürme Faktörleri (katsayıları) | |
| 1,00 santimetre = 0,394 inç | |
| 1,00 milimetre = 0,0394 inç | |
| 1,00 mikron = 0,0000394 inç | |
| 1,00 Angström = $3,94 \times 10^{-9}$ inç | |
| 1,00 inç = 2,54 santimetre | |
| 1,00 mil = 0,00254 cm = 25,4 mikron | |

Kaplama Kalınlığı

Kaplama kalınlığı açıkça bir **uzunluktur**. Buradaki sorun, bu uzunluğu ölçmek için hangi gereci kullanacağımızdır. Bir şerit metre ile bu işlemin yapılmasına imkan yoktur çünkü ölçümlenecek uzunluk çok küçüktür. Başarılı bir ölçümleme yapabilmek için böylesi küçük bir ölçümü direkt olarak yapabilecek bir gereç kullanmamız gereklidir. Bu sağlanmadığı takdirde, **bilinen bir yöntem** ile, **uzunlukla** doğrudan veya dolaylı ilişkisi olan bir diğer özellik araştırmamız gerekir. Bu özelliği belirli bir yöntemle ölçeriz ve sonrada bilinen ilişkiden yola çıkarak bu uzunluğu belirleyebiliriz. Bu ikinci yaklaşım, uzunluğu **doğrudan** ölçümlenemediğimiz için **dolaylı bir yaklaşımdır**. Bir çok özellik ölçümü **dolaylı** olarak yapılabilmektedir.

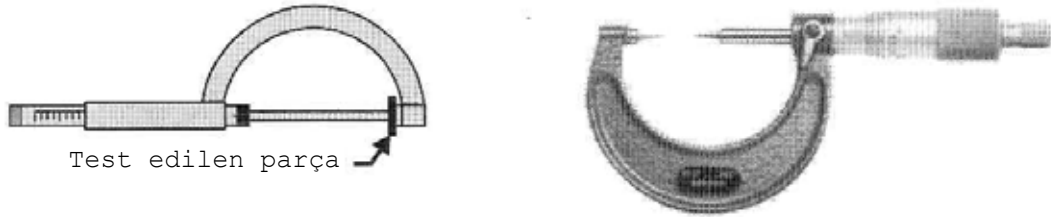
Devam etmeden önce **tahrip edici** ve **tahrip edici olmayan** test fikri üzerinde düşünmemiz gerekir.

Yapacağınız testlerden bazıları, üzerinde test uyguladığınız numunenin **tahrip olmasına** neden olacaktır. Kaplanacak parçalar çok fazla pahalı olmadığı takdirde bu durum pek fazla önem taşımaz. Diğer taraftan, parçaların yenileriyle değiştirilmesi fazla pahalıya gelecek olursa, test neticesinde istenen **sayı** elde edilse bile, parçanın tahrip olmasına müşteri tarafından tolerans gösterilemeyebilir. Örneğin üretim aşamasında tahrip olmasına neden olmayan bir test **tahrip edici olmayan bir testtir**. Böylesi testlerin başarılması zordur ve genellikle daha pahalı donanımlar kullanılmasına gereksinim gösterir. İleride göreceğimiz gibi, her zaman olmasa da, sıklıkla bu durumla karşılaşacağız.

Kalınlığın Doğrudan Ölçülmesi

Mikrometre

Elektrometal kaplamanın kalınlığı bir mikronun yüzde birinden yüzlerce mikron ve daha ötesi düzeylere dek olabilir. Kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 25 mikron ve daha fazlası olduğunda, kaplama kalınlığının bir mikrometre kullanılarak daha doğrulukla belirlenebilme imkanı vardır. Bu gereç, özellikle düz yüzeyli parçaları veya düzlenmeye elverişli alanları olan parçaları kaplarken kullanılmaya elverişlidir. Basit bir mikrometre Şekil-1'de görülmektedir. Büyük ihtimalle bu gereci tanımaktasınız. Eğer durum böyle değil ise, iş yerinizdeki bir teknisyenden size bu gerecin kullanılması konusunda yardımcı olmasını isteyebilirsiniz. Bu gerecin kullanılması sureti ile kaplama kalınlığı belirleme durumunda, yüzey pürüzlülüğünün ölçümü daima etkileyeceğini akılda bulundurmanız gerekir. Mikrometre ile yapılacak olan ölçüm, kaplama öncesinde temizlenmiş düz yüzeyin bir noktasının mikrometrenin sabit tabanı ile hareketli ucunun arasına yerleştirilmesi ve ölçünün alınması, daha sonra da kaplamanın yapılmasını takiben yine aynı noktanın mikrometrenin sabit tabanı ile hareketli ucunun arasına yerleştirilmesi sureti ile tekrar ölçümünün yapılmasından ibarettir. En büyük doğruluğun elde edilmesi için bu aynı noktada çok sayıda ölçüm yapılması ve ölçüm sonuçlarının ortalamasının alınması gereklidir.



Şekil 1. Mikrometre

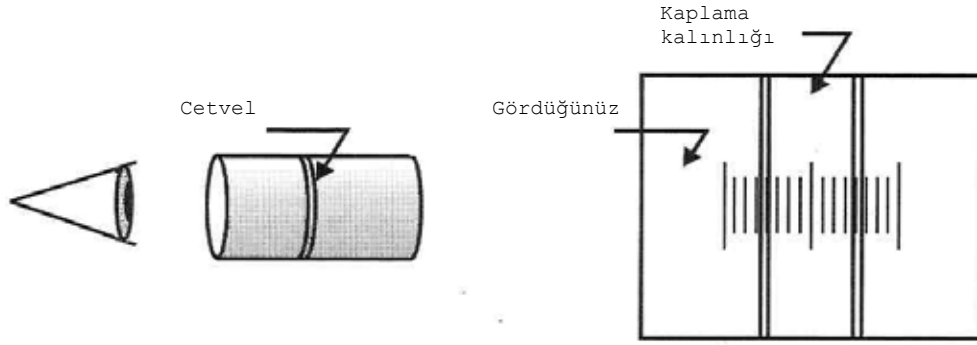
Bu durumda kaplama kalınlığı ikinci yapılan okuma değerinden, ilk yapılan okuma değerinin çıkarılması ile elde edilir.

Örneğin, söz konusu noktada ikinci yapılan okuma değeri 6391 μ ve ilk yapılan okuma değeri 6370 μ ise, o noktadaki kaplama kalınlığı (6391 μ - 6370 μ) yani 21 μ 'dur. Kaplama kalınlığı 25 μ 'dan (0.001" den) fazla olduğu takdirde ve ölçümü dikkatle, kaliteli bir mikrometre ile gerçekleştirmişseniz, elde edeceğiniz yaklaşıklık derecesi %10 civarındadır (yaptığınız ölçüm doğru değerin ± 10 'udur. Daha duyarlı ve daha doğru bir ölçüm yapabilmek için bir **elektronik mikrometre** kullanabilirsiniz ancak, bu durumda da mikrometre uçlarına temas eden yüzeylerin düz yapıda olması gereklidir. Burada değinmek istediğim nokta, yapılan ölçümün numune üzerinde herhangi bir tahribat oluşturmamasıdır. Bununla beraber, ölçüm yaptığınız alanı testere ile kesmek sureti ile mikrometre uçları arasına yerleştirmeniz durumunda, yapılan ölçüm tahrip edici bir ölçüm niteliği kazanır.

Taksimatlı Okülerli Mikroskop

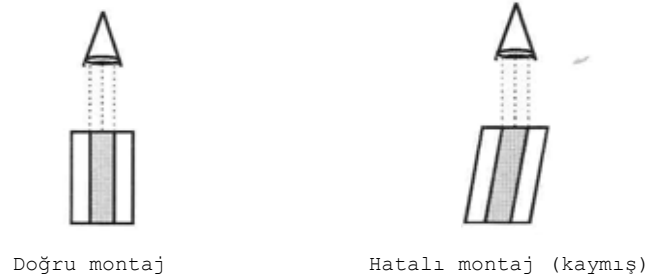
Değeri okumanın bir mikroskopla yapılmış olması dışında, bu da doğrudan yapılan bir uzunluk ölçümüdür. Bu gereç, taksimatlı bir okülerle donatılmış metalürjik mikroskop olarak tanımlanır. Metalürjik mikroskopta, direkt olarak ışıklandırılmış biyolojik mikroskobun aksine,

ölçümlenen parça yansıtılmış bir ışıkla aydınlatılmaktadır. Bu gerecin de kullanılması oldukça kolaydır. Kaplamanın bir yüzeyi mikroskopun okülerindeki ince taksimatın bir çizgisi ile çakıştırılır. Bundan sonra, kaplamanın diğer yüzeyi aynı simetrik taksimat çizgisi ile çakıştıncaya dek mikroskop üzerindeki küçük bir vidayı çevirmeniz gerekir (Şekil-2'ye bakınız). Bu durumda vida kafası üzerindeki ölçekli kabze üzerinde bulunan cetvelden kaplamanın kalınlığını okuyabilirsiniz. Bu yöntem, 2,5 μ (0.0001") düzeyinden daha ince kaplama kalınlıklarının ölçülebilmesini, en mükemmel ve en doğru sonucu vermesini sağlar. Ölçmenin yapılması kolaydır, ne var ki ölçme için hazırlık pek kolay değildir.



Şekil 2. Taksimatlı Oküler

Böyle bir ölçümün yapılabilmesi için ölçümlenecek noktayı içeren örnek alanının, yüzeyleri arasındaki açıklığın ölçümlenebilmesine olanak verecek şekilde kesilerek, kaplanan parçadan ayrılmasına gereksinim bulunmaktadır (tahribat oluşturmucu yöntem). Bu örnek, üzerine bir diğer koruyucu kaplama kaplandıktan sonra, plastik bir montaj içerisine yerleştirilir. Yani, ölçümlenmesini istediğiniz kaplama, bir dilimi taban metal yüzeyi ve diğer dilimi de koruyucu kaplama yüzeyi olan bir sandviç arasındaki et parçası gibi olur. Bunu amacı, mikroskopik tetkik için örnek parça perdahlandığında, kaplama yüzeylerinin yuvarlaklaşmasını veya kaymasını önlemektir. Kayma, örneğin ölçüm tabanına kusurlu biçimde oturmasına neden olacağından ölçüm sonucunun doğruluğunu olumsuz biçimde etkileyecektir.³ Şekil-3'te görüldüğü gibi, örneğin dikey açı konumunda sapsması, kaplamanın aslında olduğunda daha kalın bir görüntü vermesine neden olacaktır.



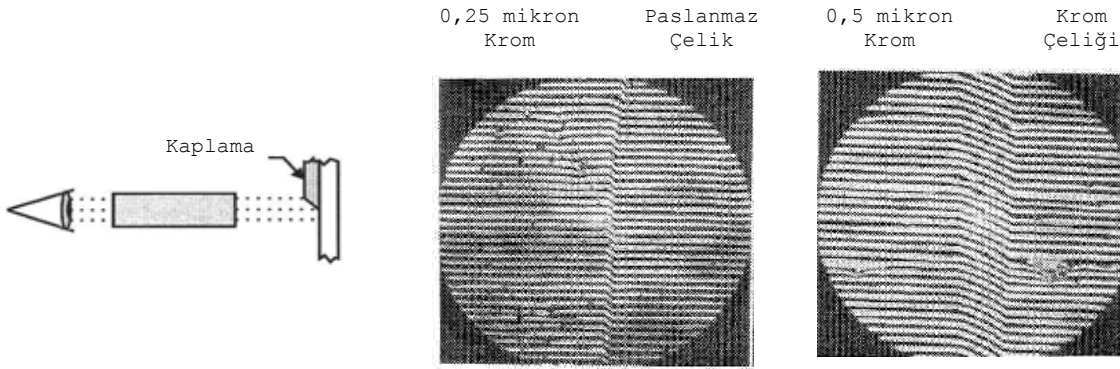
Şekil 3. Örneğin kaymasından kaynaklanan hata

Bu nedenle, böyle bir ölçüm yapmanızı önermiyorum. Hazırlık aşaması oldukça zaman alıcı ve sıkıntı vericidir. Böyle bir test bir metalurjist tarafından yapılmaya bırakılmalıdır. Bunu siz yapmak istediğiniz takdirde, elinizde taksimatlı okülerli bir mikroskop varsa, bu teknikle ilgili olara bu dersin sonunda verilen örneğe bakınız.

³ Kayma, %20 veya daha büyük ölçüm hatasına neden olur.

Girişim Yöntemleri

Esas olarak bir direkt ölçüm tekniği olan diğer teknik de girişim mikroskopunun kullanılmasından ibarettir. Bu teknik uygulandığında, küçük bir kaplama parçası üzerine kaplandığı tabandan soyulur ve özel mikroskop, kaplama yüzeyi ile taban metal yüzeyi arasına odaklanır. Tabandan yansıyan ışık, kaplama yüzeyinden yansıyan ışıkla farklı fazdadır. Bu durum, mikroskop altında Şekil 4' te görülen bir hafif dalga girişimi oluşturur. Dalga boyu bilinen, genellikle bir talyum kaynağından elde edilen ışık kullanılır veya bilinen bir derinlik için kalibrasyondan, belirli bir test noktasındaki kaplama kalınlığı kolaylıkla hesaplanabilir. Bu yöntemle en iyi sonuç 0,025 μ (0,00001") ilâ 2,5 μ (0.0001") kalınlık arasında elde edilir. Bu kademe yukarısında yapılan ölçümler doyurucu sonuç vermez. Soyulan kaplama alanı çok küçük olduğu takdirde bu metot mükemmeldir ve hemen hemen hiç tahripkâr değildir.



Şekil 4. Girişim yöntemi ile kaplama kalınlığı ölçümü

Kaplama kalınlığının ölçülmesi için kullanılan yukarıda açıklanmış üç yöntem doğrudan yöntemler olarak anılır. Şimdi dolaylı yöntemleri ele alacağız.

Dolaylı Yöntemler

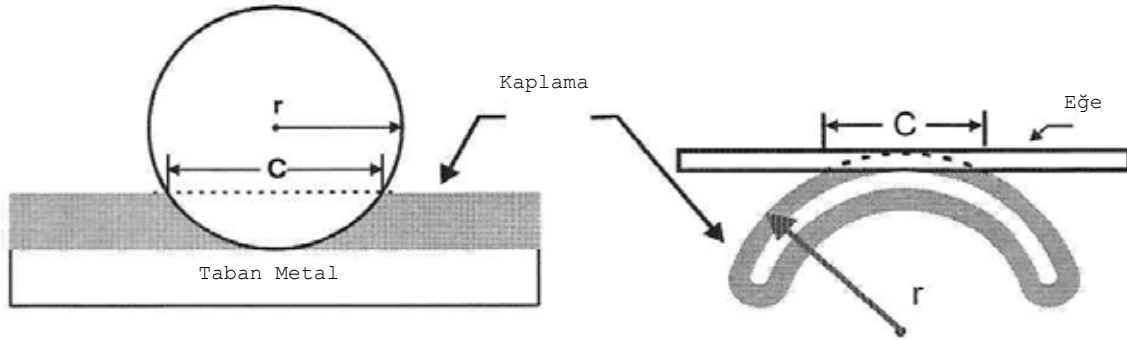
Mesle Kiriş Metodu

Söz konusu metaller göreceli olarak sert olduğu ve ölçümlenecek kalınlık en az 75 mikron (0,003") düzeyinde olduğu takdirde bu metot hemen hemen doğru sonuçlar (yaklaşık olarak %12 düzeyinde hatalı) verecektir. Bu yöntemin uygulanmasında, incelenecek parça düz olduğu takdirde hassas bir taşlama çarkı altına yerleştirilir ve taban metal yüzeyi açığa çıkıncaya dek kaplama dikkatle taşlanır. Şekil-5'de görüldüğü gibi bu durumda taşlanan kalınlık aşağıdaki formülden hesaplanır :

$$T = C^2 / 8r$$

Burada **T** inç cinsinden kalınlığı, **C** taban metalin açığa çıktığı kesimin uzunluğunu ve **r** taşlama çarkının yarıçapını temsil etmektedir. Bu metot, düz bir frezeci eğesi dikkatle ve dikey konumunda uygulanarak taban metalin açığa çıkartılması durumunda, bir kaşık tabanı gibi kavisli yüzeyler üzerinde de aynı etkinlikle uygulanabilir. Bu durumda, yukarıda

görülen formül yine uygulanabilir ancak bu kez r , Şekil 5'te görüldüğü gibi taşlanan yüzeyin bükülme yarıçapını temsil edecektir.



Şekil 5. Mesle Kiriş metodu

Taşlama çarkının yarıçapı ne denli büyük olursa, belirli bir kaplama kalınlığı için C kesim alanı da o denli büyük olacak ve böylece büyük çaplı bir taşlama çarkının kullanılmış olması sonucunda daha doğru bir ölçüm elde edilmiş olacaktır. Ayrıca, taban metale erişildiğinde bir renk değişikliği sağlayan bir reaktifin kullanılması da ölçümün daha bir doğrulukla yapılmasına olanak sağlayacaktır. Açıkça görülmektedir ki bu yöntem, tahripkâr bir yöntemdir.

Örnek # 1: Taban metal açığa çıktığında kesit alanının genişliği 1/4" tir. Taşlama çarkının yarıçapı da 8" olduğuna göre, kaplama kalınlığı nedir? $T = (1/16)/(8 \times 8) = 0,00098"$.

Problem # 1: taban metal açığa çıktığında 12" yarıçaplı bir taşlama çarkının açtığı kesit alanı 1/2" ise, kaplama kalınlığı ne kadardır?

Nokta Kazıma

Faraday Yasası'na göre, ortamdan geçen her kulomb elektrik için belirli bir metal miktarı birikimlenebilir ya da çözünebilir. Amaca uygun bir elektrolitik içerisinde bilinene bir alan yüzeyinin küçük bir kısmı bir anot gibi etkileşimle karşı karşıya bırakıldığında ve bu alanı kaplamadan arındıran kulomb miktarı sayıldığında, bu alan üzerinden sıyrılan kaplamanın kalınlığı hesaplanabilir. Böylece, kalınlık direkt olarak ölçülmemiş olur. Bu durumda kalınlığı ölçmek yerine, kaplama plakasını çözüdüren kulomb sayısı ölçümlenmekte ve bu ölçüm sonucu kaplama katmanının kalınlığı ile ilişkilendirilmektedir.

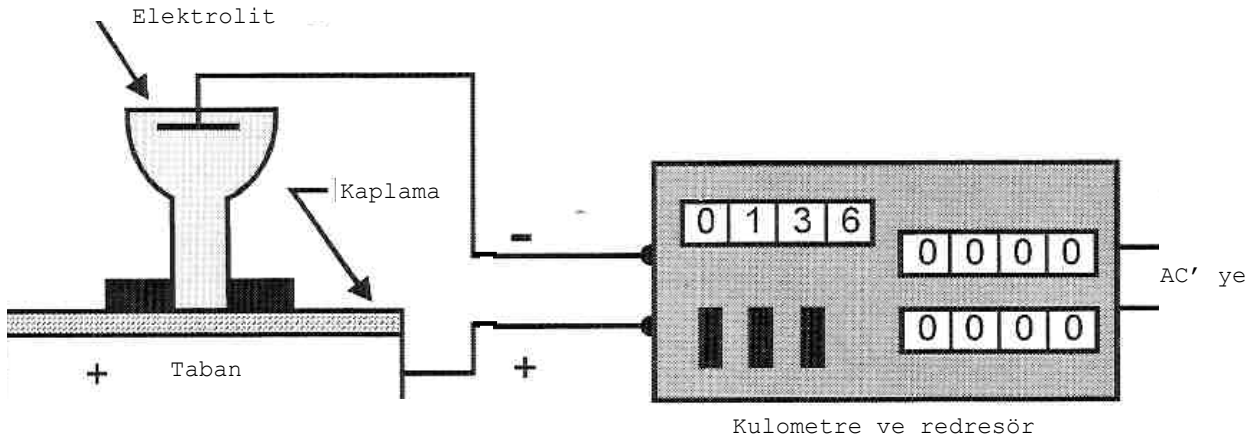
Daire kesitli alanın yarıçapı r santimetre olduğunda ve bu noktadaki kaplama kalınlığı t santimetre düzeyinde bulunduğu, kaldırılan noktanın ağırlığı $\pi r^2 t \rho$ olur ve burada ρ kaplanan metalin özgül ağırlığını temsil eder.

Faraday yasası'na göre $W = KITE$ veya KQe dir ve burada $Q = IT$ olup, kullanılan kulomb sayısını, K Faraday sabitesini ve e anot etkinliğini temsil etmektedir. Buna göre:

$$t = KITE/\pi r^2 \rho$$

bu denklemin sağ tarafında bulunan tüm değerler, IT veya Q hariç olmak üzere sabittir ve bu nedenle denklemi $t = CQ = CIT$ olarak sadeleştirebiliriz ve burada C kaplanan belirli bir metalin bütünsel sabitesini temsil eder. Genel olarak Q direkt olarak ölçülmez, buna karşılık zamanı temsil eden T , I sabit akım şiddeti altında ölçülür ve böylece kaplama kalınlığı, sabitlenmiş koşullar altında kaplamanın sıyrılması için geçen zamana göre ölçülebilir. Bir elektronik kulometre kullanmak suretiyle kalınlık kulomb ölçütüne göre ölçülebilir.

Bu yöntem genellikle iyi bir metot olarak kabul edilir ve uygulanabilmesi için gerekli özel gereçler piyasada bulunmaktadır. Bu özel gereçler, kaplama tabakası sıyrılarak temizlendiği anda zamanlayıcıyı otomatik olarak durdururlar.⁴ Kullanılan sıyırma çözeltilerinin bilinen anodik etkinlikleri olduğu takdirde, özellikle gereç kalınlıkları bilinen kaplamalarla kalibre edilmiş ise, çoğu durumda %5 veya daha az hata paylı sonuçlar alınmasına olanak sağlar. (Kalınlığı bilinen kaplamalarla kalibrasyon, elektrolizle birikimlenen metallerin özgül ağırlığı, taban metalin özgül ağırlığından büyük ölçüde farklı olabileceğinden, tercih edilerek kullanılan bir yöntemdir.) Bu metot, 0,25-50 mikron (0,00001-0,0002") ve daha kalın kalınlıkların ölçülmesi için elverişlidir.



Şekil 6. Elektrokimyasal Sıyırma

Kalınlık testlerinin yapılabilmesi için çok sayıda kimyasal metot uygulanabilir.

Temel bir metot, özellikle bu amaç için tasarlanmış bir kimyasal reaktifi damla damla küçük bir sabit kaplama alanı üzerine damlatmaktır. Taban metalin açığa çıkması için geçecek zaman, kaplama kalınlığının bir ölçüsüdür.

İkinci bir metot, yukarıda anılan birinci metodun biraz değişikidir ve burada, teste tabi tutulacak parçanın belirli bir alanı üzerine bir kimyasal reaktif basınçlı olarak püskürtülmektedir. Taban metal açığa çıktığında reaktifin püskürtülmesi durdurulur ve geçen zaman veya kullanılan reaktif miktarı tespit edilerek, kaplama kalınlığı ölçümlenmiş olur.

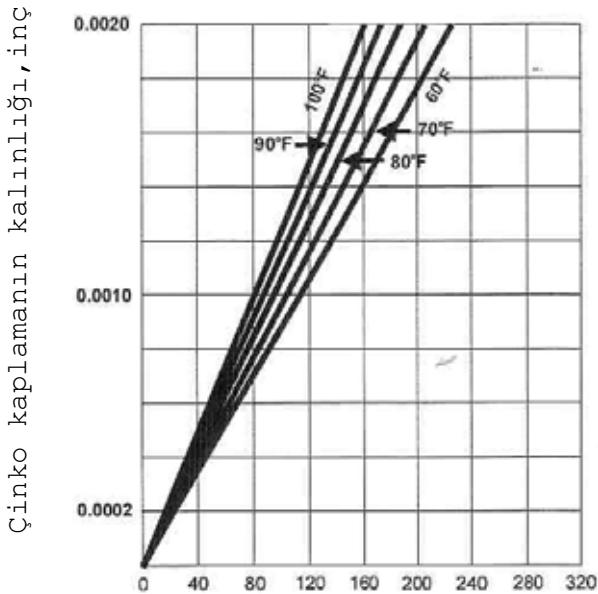
⁴ Tam otomatik bir gereçte, taban metal ortaya çıktığında zamanlayıcının kapatma düzeneği etkin kılınır ve akım (veya gerilim) aniden tırmanış sergiler. (Neden?) Gösterge ibresinin aniden hareket ettiğini gördüğünüzde, yarı otomatik modda da zamanlayıcıyı siz durdurabilirsiniz.

Bu amaçla kullanılan çözeltilerin doğrulukla hazırlanması ve kontrol edilmesi zorunlu olduğundan, günümüzün çoğu kaplamacıları, referanslar altında listesi açıklanan üretici şirketler tarafından hazırlanan standart kılınmış test donanımlarını kullanmayı tercih etmektedir. Bu şirketler, hem damlatma hem de püskürtme uygulamalı kimyasal reaktifleri üretmektedirler. Bu metotla uygulanan testler \pm %10-15 hata paylı kalınlık ölçümü sonuçları sağlamaktadır. Bununla beraber, tipik bir damlatma metodu hakkında size bir fikir vermek için demir veya çelik üzerine yapılan bir çinko kaplamanın kalınlığının ölçülmesini ele aldığımızda, kullanılacak reaktifin bileşimi aşağıdaki tabloda görülmektedir:

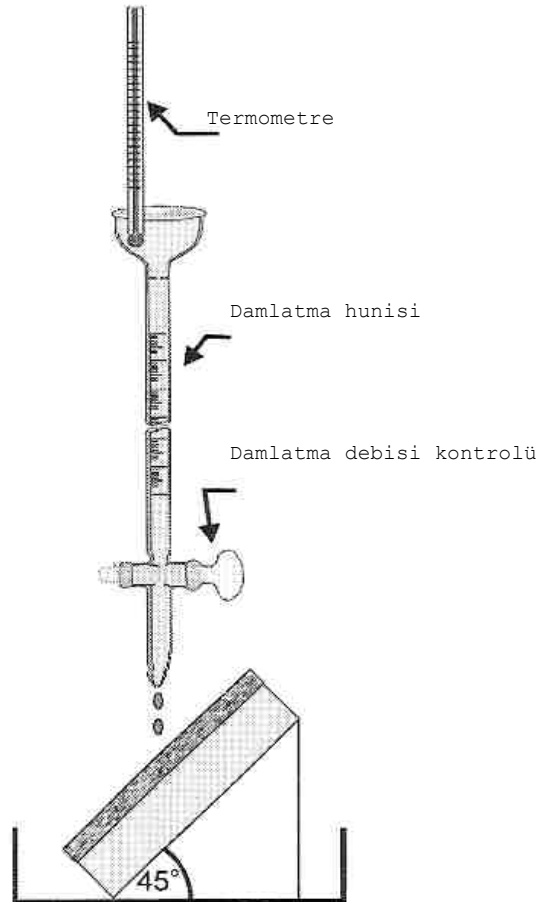
| Reaktif | Konsantrasyon |
|-----------------------------|---------------|
| Kromik asit | 200 gr/lt |
| Sülfürik asit (S.G. - 1,84) | 50 gr/lt |

Bu testte, test paneli veya parça, yüzeyi damlatma hunisinin $\frac{1}{2}$ " altında kalacak ve damlatma hunisi dikey eksenini ile 45° 'lik bir açı yapacak şekilde konumlandırılmalıdır. Bu durumda damla yüzeye değdiğinde, ayrılan parça yüzey üzerinden süpürülmektedir.

Dakikada 100 ± 5 damla hızında damlatılmalıdır. Gerek kaplama gerekse reaktif için sıcaklık $21-27^\circ\text{C}$ arasında olmalıdır. Koyu renk oluştuğunda bitim noktasına erişilmiş olduğu anlaşılır.



Nüfuz (penetrasyon) zamanı, saniye
Damlatma testi ile çinko kaplamanın kalınlığını belirleme diagramı



Şekil 7. Çinko damlatma testi

Kalibrasyon eğrisi 5 ayrı sıcaklık için verilmiştir. Böyle bir uygulama gereklidir çünkü kimyasal reaksiyon hızları sıcaklığın artmasıyla yükselmektedir. **Bunun anlamı, bu tip testlerin tümünün yapılmasında, sıcaklığın sabit düzeyde tutulmasının zorunlu olmasıdır**

Hidroklorik Asit Nokta Testi

Dekoratif krom kaplamanın kalınlığının belirlenmesi için standart olarak ve pratik biçimde uygulanan bir diğer test de, hidroklorik asit nokta testidir

Yöntem: krom kaplama yüzeyini ince bir magnezyum oksit macunu ve suyla temizledikten sonra iyice durulayınız ve kurutunuz. Bundan sonra yüzey üzerine, bir asetat kalemi ile yaklaşık olarak $\frac{1}{4}$ inç çapında bir daire çizin ve bu daire içerisine 1.180 özgül ağırlıklı bir damla hidroklorik asit uygulayınız. İlk köpürme anını bekleyiniz ve bu andan itibaren tabandaki nikel yüzeyin açığa çıkmasına kadar geçen süreyi bir kronometre ile belirleyiniz. Bu zaman değerinin Tablo-2'de verilen ilgili faktörle çarpımı, bir inç in yüz binde biri cinsinden krom tabakasını kalınlığını verecektir. Daha yüksek sıcaklık düzeyinde doğruluk kaybı olduğunda, bu testi daima 75°F düzeyinde veya daha düşük sıcaklık altında gerçekleştiriniz. Reaksiyon çok yavaş ilerlediği takdirde, başlatmak için nokta üzerine bir nikel telle dokunabilirsiniz.

| | | | | |
|---------------------|------|-------|-------|-------|
| Sıcaklık, °F | 68 | 70 | 72 | 75 |
| Faktör | 0.08 | 0.084 | 0.087 | 0.093 |

Tablo-2. Krom Kalınlık Faktörleri

Örnek # 2: 70°F sıcaklık düzeyinde krom kalınlık testi 10.5 saniye sürmektedir. Kaplama kalınlığı ne kadardır?
Yanıt: $10.5 \times 0.084 = 0.883$ veya 0.0000883 "

Diğer metaller için uygulanan başka nokta testleri de vardır ancak bunlardan hiç birisi standart kılınmamıştır ve bu basit nokta testinin sahip olduğu doğruluğa (yaklaşık %20) sahip değildir. Bu testleri, bu dersin sonunda verilen referanslar listesinde görebilirsiniz.

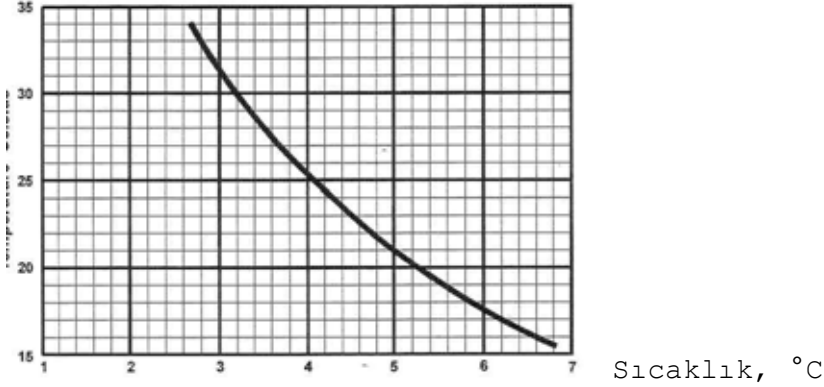
Basit bir püskürtme testi için örnek olarak nikel kalınlık testini ele alalım. Çözelti, 300 g/L demir klorür ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ile 100 g/L bakır sülfattan oluşmaktadır. Testin uygulanmasında, tıpkı damla testlerinde olduğu gibi reaktifin sabit bir hızla uygulanmasına olanak sağlayan bir termometre ile donatılmış bir huni ve bir kılcal boru kullanılmaktadır.

Yüzey, tıpkı damlama testinde olduğu gibi püskürme eksenine 45°'lik açısız konumda bulunmaktadır ve püskürtme sabit bir debi altında uygulanmaktadır. Geçen her birkaç saniyelik süre sonunda, uygulama noktasının etkilenme durumunun izlenmesi için püskürtme "durdurulmalıdır". Çelik üzerine nikel kaplanmış olduğu takdirde, tabana erişildiğinde kırmızı bir bakır noktası görülecektir. Uç noktaya (kırmızı nokta) erişmek için geçen saniye sayısını kullanmak sureti ile, nikel kaplamanın kalınlığı belirlenebilir. Şekil-7'de sıcaklık ve süre cinsinden kalibrasyon görülmektedir. Bu metot özellikle doğru sonuç vermektedir, çünkü yüzey etkilenme hızı yalnızca çözeltinin sıcaklığı bağlamında

değişken olmayıp, nikel kaplamanın yapısı bağlamında da değişkendir. Parlak nikel mat nikelere göre daha hızlı çözünmektedir (**neden?**)

Örnek 3: Bir püskürtme nikel testi 20°C sıcaklık altında kaplamaya nüfuzun 20 saniye sürdüğünü göstermektedir. Nikel kaplamanın kalınlığı inç cinsinden ne kadardır?

Yanıt: kalınlık = $20/5.2 \times 0.0001 = 0.000385''$. 5.2 değeri şekil-8'den alınmıştır.

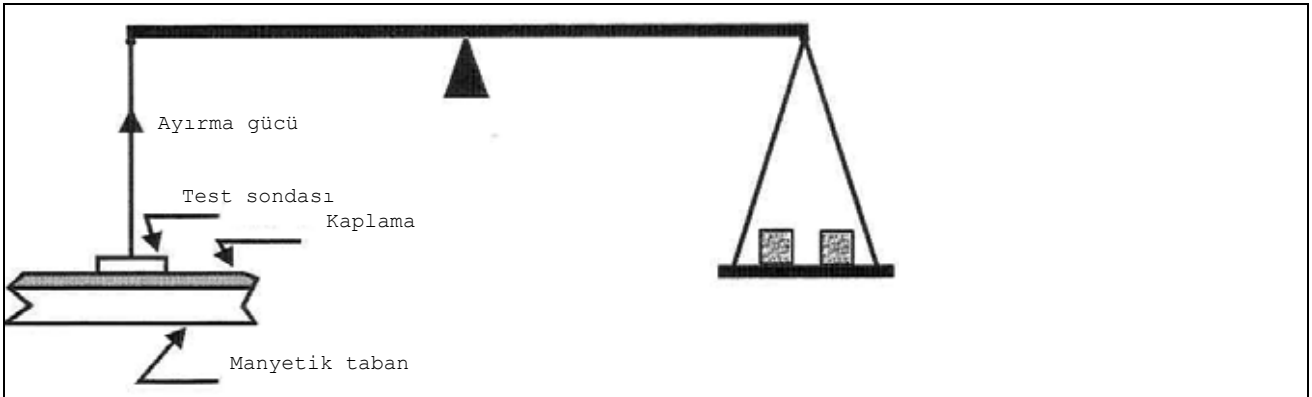


Not: bu testin uygulanması için özel bir huni kullanılmalıdır. Şekil-7'ye bakınız

0.0001" nüfuz için süre, saniye

Nikel kaplama kalınlığının püskürtme metodu ile belirlenme diyagramı

Şekil-8. Nikel Kaplama İçin Püskürtmeli Kalınlık Testi



Şekil-9. Manyetik Kalınlık Testi (Şematik)

Fiziksel Özellik Metotları

Manyetik Kalınlık Testi

Elektrolizle kaplanan metallerin kaplama kalınlığı manyetik metotlarla kolaylıkla belirlenebilir. Buradaki temel fikir, mıknatısla taban metal arasındaki manyetik çekim gücünün, taban metal çelik olduğu takdirde, kaplamanın kalınlığından etkilenmesidir. Taban metal manyetik olmadığı ve kaplama da nikel olduğu takdirde, söz konusu manyetik çekim gücü, nikel kaplamanın kalınlığı bağlamında etkilenecektir (Şekil-9). İdeal koşullar altında bu metodun doğruluğu yaklaşık olarak $\pm\%10$, diğer koşullar altında ise $\pm\%15$ 'tir. Piyasada bu tür gereçlerin pek çok

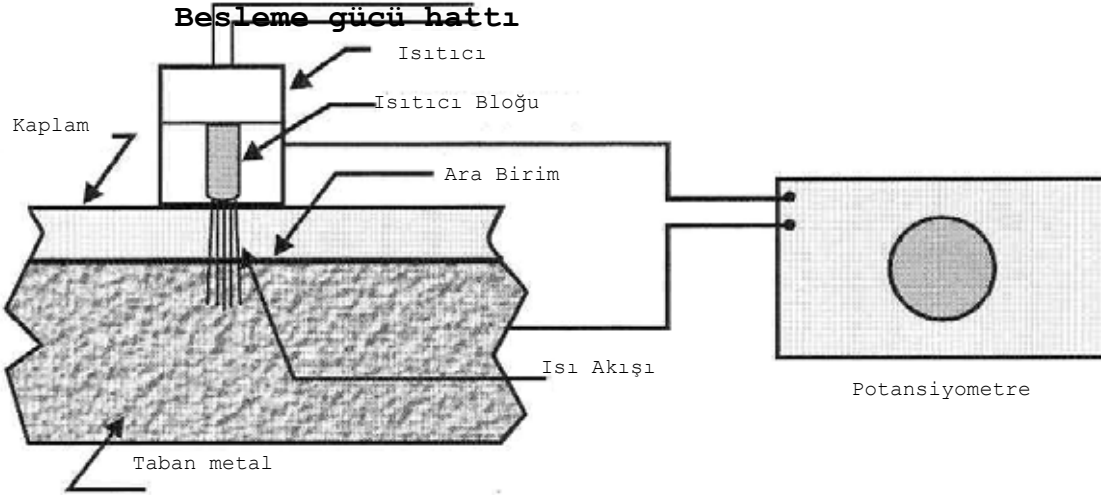
çeşidi bulunmaktadır. Bu konuda söylenebilecek en iyi şey, özel bir kaplama için amaca uygun bir kalibrasyon bir kez yapıldıktan sonra bu metodun hızlı olması ve tahripkar olmamasıdır. Bu metotlar yüzeyin kavisinden, pürüzlülüğünden, titreşiminden ve bazı durumlarda taban metalin kalınlığından etkilenmektedir. Örneğin, taban metal 0.015"ten daha ince olamaz. Gerek kaplama gerekse taban metal bazı manyetik özelliklere sahip olduğu takdirde uygulanabilir metot sayısı sınırlanmaktadır.

Endüksiyon Akımlı Kalınlık Test Edicileri

Endüksiyon akımlı kalınlık test edicileri, yüksek frekanslı elektrik akımının birincil olarak iletkenlerin yüzeyi üzerinden iletilmesi etkisine ("deri" etkisi) bağlı olarak işlevsellik gösterirler. Bir elektromanyetik sonda bobini sayesinde, kaplama katmanı içerisinden yüksek frekanslı bir endüksiyon akımı geçirmek sureti ile kaplama kalınlığı endüksiyon akımı sayesinde belirlenebilir. Ancak, kaplamanın ve taban metalin elektriksel geçirgenlikleri bir birinden farklı olmalıdır. Bu durumda endüksiyon akım şiddeti birincil olarak kaplamanın kalınlığı ve elektriksel geçirgenliği bağlamında bulunacaktır. Kaplama komfigürasyonunun çeşitliliği nedeni ile tüm durumların hesaba katılması için bu geçlerin çeşitli versiyonları ve çeşitli sondalar geliştirilmiştir. Çeşitli kaplama ve taban metal kombinasyonları ile kalibrasyon yapmak sureti ile çok kapsamlı amaçlı bir gereç geliştirilmiştir. Yüzeyin kavis ve kaplamanın elektriksel geçirgenliği doğruluk üzerinde belirli bir etki oluşturmaktadır, ancak genel anlamda bu gereç bir iş yerinde kullanılmak için oldukça pratiktir. Bu metot hızlıdır, tahripkar değildir ve göreceli olarak doğru sonuç ($\pm \%10$) verir.

Termoelektrik Master

Bu gerecin çalışma ilkesi birbirine bağlanan ve birbirine benzemeyen iki metalin ısıtılmalarında bir termoelektrik potansiyel oluşturmalarına dayanmaktadır. Tüm diğer hususlar eşik olmak üzere ve taban metalinin dış tarafını "soğuk" bağlantı olarak kullanmak sureti ile belli bir sıcaklıkta, doğrudan ölçü ucu altında bulunan kaplama ile taban metal arasında bir sıcaklık farkı oluşacaktır. Arayüzey ezerindeki sıcaklık da dengedeki sıcaklık lineer olarak (yaklaşık) kaplamam kalınlığına göre düşeceğinden, kaplama kalınlığına göre değişme gösterecektir. İşte bu sayede kalınlık ölçülebilmektedir. Şekil-10'da bu metodun temeli açıklanmıştır. Kalibrasyon yapılması sureti ile doğruluk $\%10$ 'dan daha iyi düzeyde devam ettirilebilir



Şekil-10. Termoelektrik Masdar

Radyasyon (Işınım) Metotları

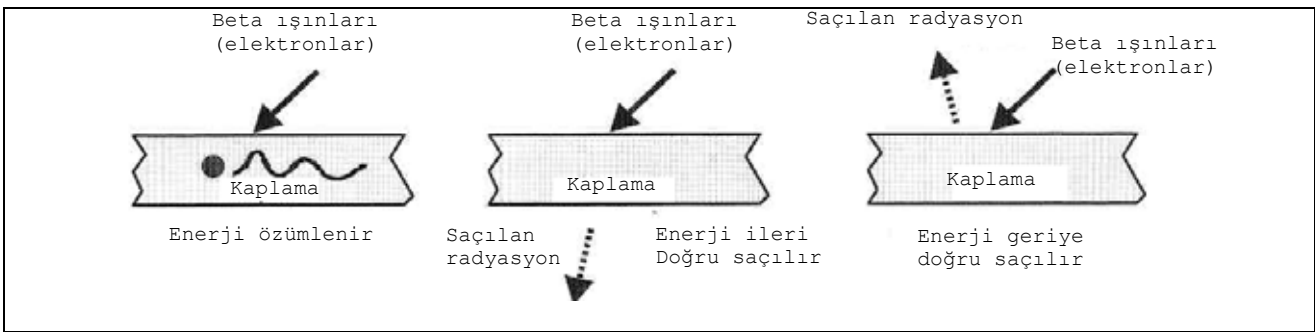
Beta Işını Geri-saçılması

Bu teknik, kaplama kalınlığının ölçülmesi için yaygın biçimde kullanılmaktadır. Karmaşık dallanmalar sergileyen basit bir fikir temelinde tasarlanmıştır. Radyoaktif atomlar (bazı izotoplar) kararsız atomlardır (**2. Derse** bakınız). Diğer hususların aynı sıra, kararlılıklarını yitirdiklerinde **beta ışınları** olarak anılan ve hızlı hareket eden elektronlardan ibaret olan bir ışın yayarlar. Bu yayılmaya ışınım denmesinin nedeni aynen ışıkta olduğu gibi ışınan bir enerji oluşturmalarıdır. Bu ışınlar bir elektrolitik kaplama biçimindeki bir diğer maddeye çarptıklarında, **beta partiküllerinin** kaplamayı oluşturan atomlara çarpmalarına ilişkin bir olasılık bulunmaktadır. Bu durumda, şekil-11'de görüldüğü gibi bu kaplamayı ele alacak olursak (taban metalin varlığını göz ardı ederek), aşağıdaki üç durumdan birisi gerçekleşecektir:

1. Elektronlar kaplamanın atomları ile çarpışacaktır. **Beta ışın demetinin** izlediği patikada ne denli fazla atom bulunursa, o denli fazla çarpışma olasılığı olacaktır.
2. Bu çarpışmalardan bazıları zorunlu olarak hızlı hareket eden elektronların tüm enerjisini özümleyecektir. Kaplama tabakası çok ince olduğu takdirde, başlangıçta sahip oldukları enerjiden daha az enerjili bazı elektronlar yüzeyin diğer tarafından dışarı çıkacaktır. Bununla beraber, belirli bir kalınlık düzeyi ötesinde böylesi bir dışarı çıkma mümkün olamayacaktır.
3. Bazı çarpışmalar, bazı hızlı hareket eden elektronları geldikleri yöne doğru geri gönderecektir. İşte bu olaya **geri-saçılma** adı verilmektedir.

Yukarıdaki birinci ilke doğrultusunda çarpışan elektron sayısı, beta ışınlarının izlediği patika üzerinde mevcut atom sayısı bağlamında bulunacağından, ikinci aşamada geri-saçılma miktarı da belli bir şekilde kaplama tabakasının kalınlığı bağlamında olacaktır (yani, geri-saçılma kalınlığın bir fonksiyonudur).

Doğal olarak belirli bir kaplama kalınlığının ötesinde (**doyma kalınlığı**), beta ışınının geri-saçılmasının yoğunluğunda bir değişme oluşmayacaktır ve böylece bu noktanın ötesinde kalınlık artık ölçülemez durum gelecektir. Talih eseri, çoğu metalin normal kaplama kalınlıkları için böyle bir engel bulunmamaktadır.



Şekil-11. Beta Partiküllerinin Olası Akıbeti

Bu doyma kalınlığı, tek bir materyal için, kaplama tabakası atomunun atomik numarası bağlamında bulunacaktır.

Şimdi bir karmaşa gündeme gelmektedir. Buraya dek verilmiş olan ham açıklama, elektrolitik kaplamanın kendiliğinden oluşan nüfuz edilirliliğine (penetrasyon) dayanmaktadır. Bir de taban metal söz konusu olduğunda ne olacaktır?

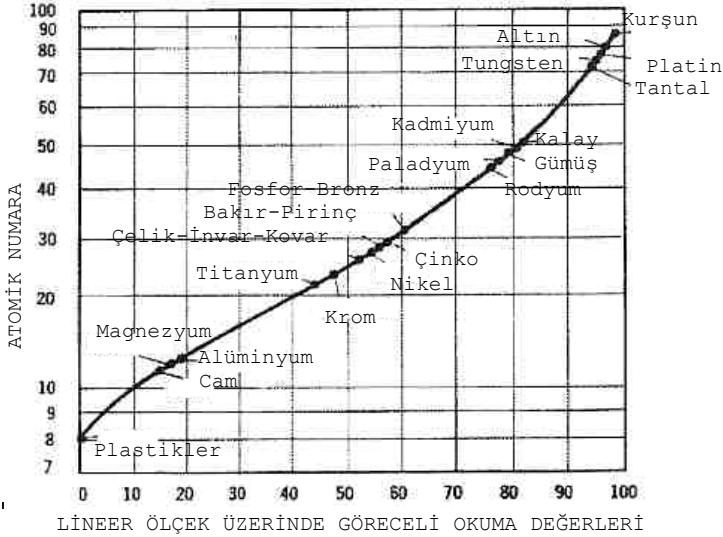
Taban metalin yeterince büyük bir atomik numara farkı bulunduğu (örneğin, bakır üzerine altın kaplanmış ise bu fark 29 ile 79 atomik numaraları arasında oldukça büyüktür) ve taban metalin kalınlığı kaplama kalınlığından daha fazla ise (normal durum) taban metalden geri-saçılma doyması bir sabite olur ve sonucu etkilemez.

Çeşitli üreticiler tarafından üretilen çok sayıda böylesi gereç halen başarılı olarak, özellikle çeşitli taban metaller üzerine ve elektronik devre bordu gibi metalik olmayan yüzeyler üzerine yapılan ince kıymetli metal kaplamalarının tahripkâr olamayan ölçümünde kullanılmaktadır. Bu gereçlerin öğeleri aşağıda görülmektedir:

1. Temasın önlenmesi için iyice korunmuş, kobalt 60 izotopları veya stronsiyum 90 izotopları gibi bir beta ışınları kaynağı

(son derece küçük miktarlarda ve kaynağın güvenli olarak kullanılabilmesi için güçlü koruyucu ekran altında).

2. Geri-saçılmanın tespit edilmesi için Geiger-Muller tüpü gibi bir radyasyon detektörü.
3. Geri-saçılma radyasyonunun yoğunluğunun belirlenmesi için bir radyasyon sayacı veya "ölçeği".



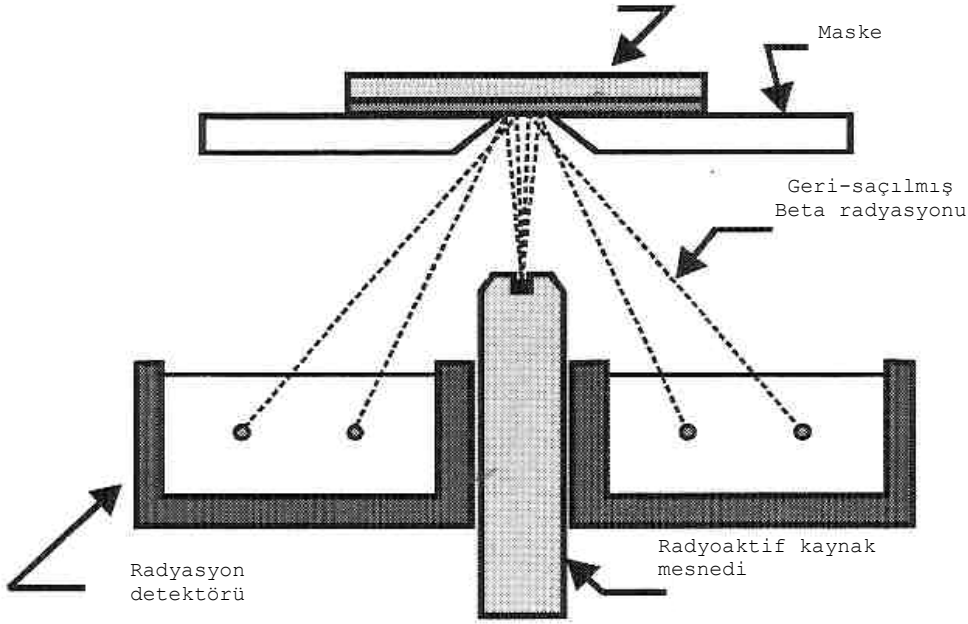
Sol taraftaki tablo hangi taban metal üzerinde hangi metal kaplamanın kalınlığının ölçülebileceğini göstermektedir. Doğru sonuçların elde edilmesi için atomik numaralar arasında en az 10 fark bulunmalıdır. Örneğin, bu yöntemle bakır (29) üzerinde nikel (28) kaplama doğrulukla ölçümlenemez.

Şekil-12. Beta Geri-saçılma Metodu ile Kalınlık Ölçümü Yapılan Metaller.

1. ile 3. arasında ve bunları örnekle aralarında kesin bir geometrik ilişki bulunmalıdır.

Taşlama testi için normal işlevinde bu metodun doğruluğu yaklaşık olarak %15'tir. Hızlıdır ve tahripkar değildir. Şekil-13'de gerecin basit şematik görüntüsü verilmiştir.

Kaplanmış örnek



Şekil-13. Beta Geri-saçılma Gerecinin Şeması

Doğruluğu etkileyen çok sayıda faktör bulunmaktadır ve kıymetli metal kaplamalarda olduğu gibi daha büyük bir doğruluk istendiğinde, olasılıkla bu faktörlerin en önemlisi kaplamanın özgül ağırlığı olacaktır.

İkinci Derste öğrenmiş olduğumuz gibi, özgül ağırlık bir nesnelin birim hacimdeki kütlesidir. Tüm saf maddeler için bu değer sabittir. Örneğin 24 krat saf altının özgül ağırlığı 19.32'dir (19.32 g/cm^3). Bununla beraber elektrolizle gerçekleştirilen altın kaplamanın özgül ağırlığı bu değerde olmayabilir. Kaplamanın özgül ağırlığı olasılıkla %1 ila 8 oranında daha düşük olacaktır. bu durum, kaplama içerisinde birikimle nen ve özgül ağırlığı altından daha düşük olan yabancı maddelerden ve kaplam süreci aşamasında işe aralık verilmesinden ve bu aralık dönemlerinde altın atomlarının kaplamaya yerleşmelerinin gerekli olmasından fakat yerleşememelerinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda özgül ağırlık azalmaktadır.

Durum böyle olduğunda, bir beta masdarı doğru özgül ağırlığa sahip saf külçe altının kalınlığının ölçülmesi için kalibre edildiğinde, elektrolitik olarak yapılan kaplamanın ölçülenmesinde doğru sonuç alınamayacağı açıkça bellidir. Bunun nedeni geri sıçrama yoğunluğunun, kaplamanın birim hacmindeki atom sayısı bağlamında değişken olmasıdır. Özgül ağırlığı etkileyen hacim birimindeki atom sayısı, altın kaplama üzerinde, külçe altında olduğundan daha düşük olacağından sonuçta büyük bir hatayla karşılaşılacaktır.

Böylesi durumda $\pm 15\%$ doğruluğunu daha hassas kılmak için kullanılacak gereç, belirli bir altın banyosunda belirli ve değişmez çalışma koşulları altında yapılmış olan altın

kaplamalarına göre kalibre edilmelidir. Bunun anlamı, altın kaplamasının kalınlığı başlangıçta bir diğer yöntemle doğrulukla ölçülmesine ve bir beta masdarından değer okunmasına ve böylece bir kalibrasyon eğrisinin elde edilmesine gereksinim olmasıdır. Alternatif olarak belirli bir altın kaplamam banyosunda ve mevcut koşullar altında yapılan altın kaplamamın özgül ağırlığı belirlenmeli ve kalibrasyonda gerekli bir düzeltme yapılmalıdır. Kaplamaların özgül ağırlığı çok kısaca açıklanacak olan basit bir metotla belirlenebilir. Bu durumda her şey aynı kalsa bile %2 kadar büyük doğruluk dereceleri elde edilebilir. Bu husus küçük bir yüzdesel değerdeki doğruluk farkının binlerce dolar kaybına yol açacağı kıymetli metal kaplamalarında son derece önemlidir.

X-Işını Metotları

Kaplama kalınlığının, elektromanyetik radyasyonun bir diğer biçimi olan X-ışınları sayesinde ölçülmesi de mümkündür. Bu ışınlar beta ışınlarına göre daha enerjetiktir. Bunların kullanılması için 3 ayrı yöntem bulunmaktadır:

1. Bir X-ışını demeti, metal içerisinden geçirilir ve diğer tarafta bulunana bir sayaç, demetin maruz kaldığı zayıflamayı ölçer. Bu yöntem, birincil olarak üretilen tabaka metalin kalınlığının otomatik olarak kontrolüne gereksinim olan haddehaneler için amaca elverişlidir. Aynı zamanda şerit üreten haddehanelerde, kalay kaplamamın kalınlığının kontrolü için de kullanılması mümkündür.
2. İkinci yöntem, kaplamadan geçtiklerinde zayıflamaya uğrayan taban metali **flüoresansını (flüoresans ikincil X-ışınları oluşturmak demektir)** uyarma bağlamında bulunmaktadır.
3. Üçüncü yöntem, bizzat kaplamamın **flüoresansını** uyarma bağlamında bulunmaktadır. **Flüoresans**, kaplamam kalınlığı ile beraber artmaktadır.

Bu üç metot'tan yalnızca son ikisi bir kaplamam atölyesinde yapılan kaplamamın kalınlığının ölçülmesi için kullanılabilir. X-ışını flüoresansının ölçülme donanımları, halen kolaylıkla çok sayıda üretici tarafından temin edilmektedir. Kullanılan donanım tezgah alanı üzerinde çok küçük bir alan kaplamaktadır ve kullanımı kolay ve güvenlidir. Ayrıca, X-ışını flüoresansı, küçük alanlardaki kaplamaların (elektronik devre kutupları) kalınlığının ölçülmesi için idealdir.

Ortalama Değer Kalınlık Testleri

Buraya dek açıklanan tüm kalınlık testleri belli bir nokta veya kaplama alanı üzerindeki kalınlığın ölçülmesine dayanmaktadır. Şimdi, göreceli olarak daha geniş bir alan üzerinde, ortalama bir kaplama kalınlığını belirlemek için "ortalama" kalınlık metotları üzerinde çalışacağız.

Doğal olarak, kaplama kalınlığını elde etmek için bir örneğin tahrip edilmemesi sureti ile kaplama kalınlığının ölçümlenebilmesinin avantajı bulunmaktadır ve bu nedenle öncelikle bu metotları ele alacağız.

Ortalama Alan-Ağırlık Metodu

Bu metot, kaplamanın ortalama kalınlığını belirlemek için kullanılabilecek tüm metotların olasılıkla İngiliz veya ABD sistemine göre ölçüm yapıldığında, kaplama ile kaplanan alanın fiili hacmi ($a \times a \times T$) veya a^2T 'dir. Tanımı itibari ile bir maddenin özgül ağırlığı, birim hacimdeki ağırlığı olduğundan

$$d = W / a^2T$$

ve

$$T = W / a^2d$$

Olur.

Aynı şekilde, bir tarafı kaplanmış r yarıçaplı bir disk için

$$T = W / 3.14r^2d$$

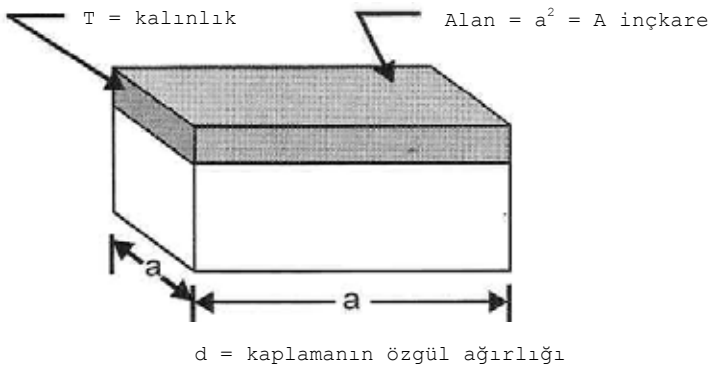
Veya

$$T = W / (A \times d)$$

Olur.

Şekil-14'de görüldüğü gibi bir kenarı a olan ve bir yüzü yaklaşık olarak T kalınlıkta bir kaplama ile kaplanmış kare biçiminde bir metal plaka düşününüz. Kaplamanın özgül ağırlığının da d ons/inç² olduğunu kabul ediniz.

(1) Bir birincil radyasyon kaynağı (bu durumda x-ışınları) üzerinde ölçümleme yapılan materyalin elektronlarını daha yüksek bir enerji durumuna tetiklediğinde flüoresans oluşur. Bu tetiklenmiş olan elektronlar daha sonra başlangıçtaki düşük enerji durumuna geçerler. Bunun yapılma prosesi aşamasında x-ışınları emisyonu olur. Bu, flüoresans prosesidir. Periyodik tabloda bulunan her elemanın kendi karakteristik x-ışını paterni bulunmaktadır. Ayrıca, flüoresans miktarı konsantrasyonla ilişkilendirilebilir (bu durumda kalınlıkla).



Şekil-14. Ortalama Kalınlık

Problem #2: Her iki tarafı da kaplandığında, bir kenarı a olan bir karenin ortalama kalınlığı nedir?

Yanıt: $w / (2a^2d)$

Metot, (1) kaplanacak nesnenin alanını bildiğimize, (2) alanın kolayca hesaplanabileceğine, (3) kaplayacak olduğunuz metal veya alaşımın özgül ağırlığını bildiğimize ve (4) tüm nesne üzerindeki kaplamam kalınlığının aynı olacağını bildiğimize dayanan varsayımlar üzerinde geliştirilmiştir.

2. Derste verilen alan tabloları, ilgilendiğiniz nesnenin alanının hesaplanması için yararlı olacaktır. Tablo-3'de bazı bilinen metallerin özgül ağırlıkları verilmiştir.

| Metaller | Ons/inçküp (oz/in ³) | Gram/santimetreküp (g/cm ³) |
|----------|-------------------------------------|--|
| Kadmiyum | 4.98 | 8.65 |
| Krom | 4.10 | 7.10 |
| Bakır | 5.15 | 8.93 |
| Altın | 11.15 | 19.30 |
| İndiyum | 4.22 | 7.31 |
| Demir | 4.54 | 7.87 |
| Kurşun | 6.55 | 11.35 |
| Nikel | 6.13 | 8.90 |
| Paladyum | 6.57 | 11.40 |
| Platin | 12.40 | 21.45 |
| Rodyum | 7.6 | 12.40 |
| Gümüş | 6.06 | 10.50 |
| Kalay | 4.22 | 7.30 |
| Çinko | 4.12 | 7.14 |

Tablo-3. Bazı Bilinen Metallerin Özgül Ağırlıkları

Taban metali çözündürerek (kaplamaya zarar vermeksizin) ve kuru kaplamayı önce havada sonra da saf suda oda sıcaklığı altında (20°C) tartarak bir elektrolitik kaplamanın özgül ağırlığını belirleyebilirsiniz. Şekil-15'e bakınız.

Kaplamanın özgül ağırlığı aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$[(\text{Havada Ağırlık/Suda Ağırlık}) / (\text{havada ağırlık/suda ağırlık}) - 1]$$

veya

$$\rho_{dep} = [(Ağ \cdot havada / Ağ \cdot suda) / (Ağ \cdot havada / Ağ \cdot suda) - 1]$$

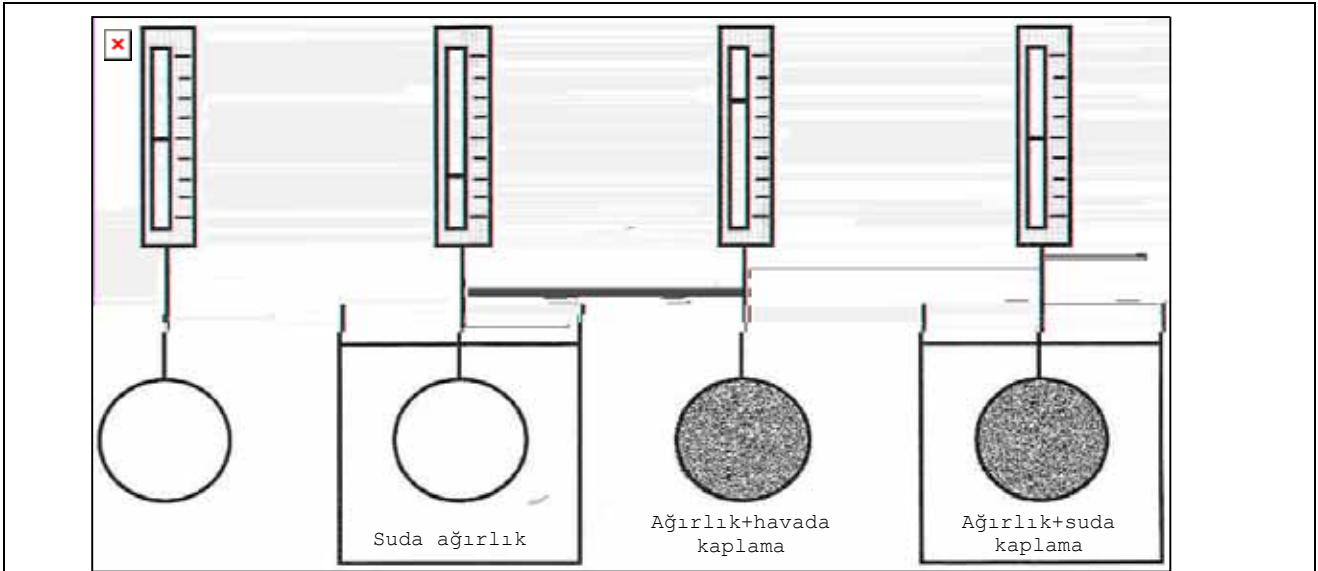
Örnek #4. 20°C sıcaklık ortamında, havadaki ağırlığı 1.050 gram ve sudaki ağırlığı 0.995 gram olan bir altın kaplamanın özgül ağırlığı nedir?

Yanıt: $\rho = (1.050/0.995) / [(1.050/0.995) - 1] = 19.00 \text{g/cm}^3$

Örnek #5. İçi boş ve 2" çapında bir bakır küre, gümüşle kaplanmadan önce 4.25 ons ağırlığa sahiptir. Gümüşle kaplandıktan sonraki ağırlığı 4.39 ons olmuştur. Gümüş kaplamanın ortalama kalınlığı ne kadardır?

Yanıt: Kürenin çapı 2" tir ve bu durumda toplam yüzey alanı $3.1 \times 2 \times 2 = 12.4$ inç kare'dir. Kaplamanın ağırlığı $4.39 - 4.25 = 0.14$ ons olur. Bu nedenle bu küre üzerindeki gümüş kaplamanın kalınlığı $T = (0.14) / (12.4 \times 6.06) = 0.00186$ " olur.

Problem #3. 4" x 2" kenar boyutlarına sahip bir dikdörtgen parçanın her iki yüzü de indiyum metaliyle kaplanmıştır. Kaplama öncesi parçanın ağırlığı 100.25 gramdır. Kaplama yapıldıktan sonraki ağırlığı 101.50 gram olduğuna göre, kaplamanın ortalama kalınlığı inç cinsinden ne kadardır?

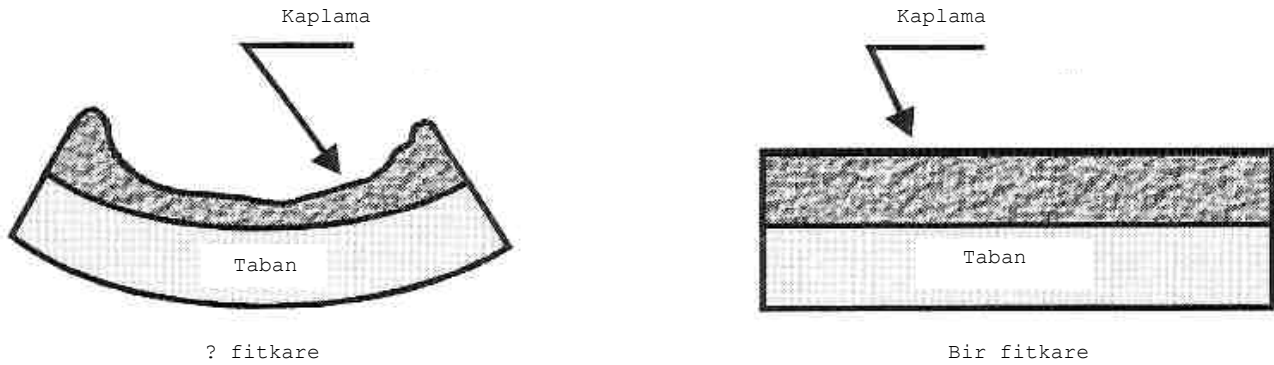


Şekil-15. Özgül Ağırlık Ölçümü

Kaplanacak cismin çeşitli değişik noktalarındaki kalınlığın eşit olması için yüzeyin pürüzlülüğü önemli bir faktördür. Şekil 16 da görüldüğü gibi kaplanacak nesnenin geometrik alanı zorunlu olarak gerçek bir alan olmayabilir. Gerçek alan, kaba kaplamaların durumda olduğu gibi geometrik alandan daha büyük olduğunda, alan

birimi başına ortalama kalınlık, geometrik alanda hesaplanan değerden daha az olur.

Bu metodun kullanılmasındaki en büyük mahzur, düzgün şekel sahip olamayan parçalarda alanın hesaplanmasının güç olmasından da öte kalınlığın da hesaplanmasının güç olmasıdır çünkü düşük fırlatma gücü yüksek ölçüde değişkendir. Örneğin, bir parça tam olarak aşağıdaki boyutlara sahip olduğunda ve şekilde görüldüğü gibi bükülerek bir kavis verildiğinde ve aynı ağırlıkta indiyumla kaplandığında bu yöntemle aynı ortalama kaplama kalınlığını verecektir. Fiilen bu ortalama kalınlık değeri aşağıdaki kesitte de görüldüğü gibi önemli ölçüde hatalı olacak ve bu yöntemle elde edilen ortalama, olması gerektiğinden daha çok veya daha az olabilecektir. Kaplanan alanın büyük bir kısmının kalınlığının ortalama değerden daha az veya daha çok olması nedeni ile, bu yöntemle elde edilen ortalama gerçek bir ortalama gibi kabul edilemez.



Şekil -16. Geometrik alan

Kaplamanın Özgül Ağırlığı Bilinmediğinde Ortalama Kalınlık

Bu metodun bir varyasyonu, kaplamanın özgül ağırlığını bilmediğinizde yararlı olur ve **bir akışkan içerisine daldırılan bir katı cisim yer değiştirmesine neden olduğu suyun ağırlığına eşit bir güçle yukarı kaldırılır** ilkesinde ifade bulan **Arşimet prensibinden** yararlanılır. Bu metod yalnızca basit şekle sahip nesnelerin kaplanması durumunda kullanılır ve aşağıdaki yöntemle uygulanır.

Nesne, kaplanmadan önce, önce havada ve sonra da su içerisinde tartılır. Bundan sonra kaplama yapılır ve tekrar kuru olarak havada ve sonra da su içerisinde tartılır.

Bu durumda nesnenin hacmi,

$$V = (W_a - W_w) / d$$

Olur.

Burada; W_a havadaki ağırlığı, W_w sudaki ağırlığı ve d suyun özgül ağırlığını temsil etmektedir. **Birimler metrik sisteminde** suyun özgül ağırlığı, bir santimetreküp su bir gram olduğunda bire eşittir. Bu durumda gram ve cm^3 kullandığımızda.

$$V = W_a - W_w$$

Olur.

Aynı şekilde kaplamadan sonra da katod hacmi V_p olur.

$$V_p = W_{ap} - W_{wp}$$

Metrik birimler sistemi kullanılmıştır.

Burada; W_{ap} kaplamadan sonra havadaki ağırlığı, W_{wp} kaplamadan sonra sudaki ağırlığı temsil etmektedir.

Nesnenin kaplamadan önceki ve kaplamadan sonraki hacimlerini biliyorsanız, kaplamanın fiili hacmi iki hacmin arasındaki farka yani $V_p - V'$ ye eşit olur, böylece

$$\text{Kaplamanın hacmi} = (W_{ap} - W_{wp}) - (W_a + W_w)$$

olur.

Kaplamanın hacmi alanının ortalama kalınlığı ile çarpımına eşit olduğundan (yani AT)

$$AT = (W_{ap} - W_{wp}) - (W_a + W_w)$$

ve

$$T = [(W_{ap} - W_{wp}) - (W_a + W_w)] / A$$

Olur.

Büyük miktarlarda küçük farklar kullanmanız büyük sonuç vereceğinden böyle bir metodun kullanılmasında tartı işlemleri çok büyük dikkatle yapılmalıdır.

Örnek #6: ½' çapına sahip küçük katı küreler bir kovan içerisinde pirinç kaplanmıştır. Bunlardan 10 tanesi kaplanmadan önce havada tartılmış ve ağırlıklarının 654.6 gram olduğu anlaşılmıştır. Aynı 10 kürenin su tartımının sonucu 643.45 gram olmuştur. Kaplamadan sonra aynı 10 kürenin havadaki ağırlığı 660.7 gram ve sudaki ağırlığı da 649.45 gramdır. Pirinç kaplamanın ortalama kalınlığı inç cinsinden ne kadardır?

Yanıt: bir kürenin cm^2 cinsinden yüzey alanı $3.14 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 6.45 = 5.066 \text{ cm}^2$ 'dir (burada 6.45, inçkareyi santimetrekareye dönüştürme faktörüdür). Bu nedenle

$$T = [(660.7 - 649.5) - (654.6 + 643.5)] / 10 \times 5.066 \\ = 0.1 / 50.66 = 0.00197 \text{ cm veya } 0.00197 \times 0.039 = 0.000769 \text{ inç}$$

olur.

Metodun fiili doğruluğu ikinci ondalık hanesinde daha öteye gidemeyeceğinden, kaplamanın kalınlığı 0.00077 inç olarak alınmalıdır.

Kaplanacak parçalar küçük ve birbirine benzer olduğunda, yukarıda açıklanan bu iki metodun kullanılması parçalar bir defada tartıldığında ve ortalama değer alındığında, daima daha doğru bir sonuç verecektir.

Kazıma Metodu

Bu, ortalama değer testinin **tahripkar** biçimidir. Burada ne olduğu kolaylıkla anlaşılabilir. Parça kaplandıktan sonra kurutulur ve tartılır. Küçük miktarlar tartıldığında ve terazi **çok fazla duyarlı olmadığında**, tümünün birbirine özdeş olmasına dikkat ederek, çok sayıda nesnenin birlikte tartılması önerilir. Bundan sonra yapılamış olan kaplama, taban metali etkilemeksizin kaplamayı çözüdüren bir çözelti kullanılarak kazınmalıdır. Kaplamanın kazınmasında elektro-kimyasal metodlar uygulayabileceğiniz gibi, kimyasal metotlar da kullanabilirsiniz. Esas olan taban metalin herhangi bir etkileşime uğramamasıdır. Kazıdıktan, yıkadıktan ve iyice kuruttuktan sonra parçayı veya parçaları tekrar tartınız. Kaplanmış ve sıyrılmış örnekler arasındaki farktan, her parça için ortalama kaplama ağırlığını elde edersiniz. Bilinen alan yüzeyi ve ortalama kaplama ağırlığı değerlerinden yola çıkarak, ortalama kaplama kalınlığını hesaplayabilirsiniz.

Tartım Metodu

Kaplanacak parçalar özdeş biçimde olduğu takdirde, kaplamadan hemen önce temizlendikten ve kurutulduktan sonra bir veya birden

çok sayıda parça doğrulukla tartılabilir. Parçalar, bir kafes içerisinde kaplandığı takdirde, tartılan parçalar raf üzerinde özel bir konumlandırma veya tanımlama yaparak seçilebilir olmalıdır. Kaplandıktan, yıkandıktan ve kurutulduktan sonra aynı parçalar tekrar tartılır. Bu durumda kaplamanın kalınlığı aşağıdaki verilerden yola çıkılarak elde edilebilir:

$$\text{Kaplamanın Ağırlığı} = \text{Sonraki Kalınlık} - \text{Önceki Kalınlık}$$

$$\text{Parça Başına Kaplamanın Ağırlığı} = (W_a - W_b) / n$$

olur.

Burada n tartılan parçaların sayısını temsil etmektedir.

Tek bir parçanın inçkare veya santimetrekare gibi amaca elverişli birimlerle ölçülen alanını A olarak kabul edelim.

Böylece; T ortalama kaplama kalınlığı çarpı ortalama kaplama özgül ağırlığı (hesaplama bir sabite olarak kabul edilecektir) x kaplama alanı, kaplamanın $(W_a - W_b) / n$ ağırlığına eşittir veya

$$T = (W_a - W_b) / nA_p$$

bu metodun kullanılmasındaki önemli husus, söz konusu parçanın alanının yeterli doğrulukla belirlenmemiş olmasıdır. Bu durum bazı hallerde büyük bir hüner gerektirir. Bununla beraber, alan doğrulukla belirlenebildiği takdirde, kaplama alanını ortalama değeri daha iyi bir biçimde tespit edilebilir.

Burada da, bu yöntemle elde edilen kalınlığın yalnızca bir **ortalama** kalınlık olması söz konusudur. Nesne üzerindeki belirli noktalarda, bu kalınlık, söz konusu noktadaki gerçek kalınlıktan %100 veya daha çok oranda fazla veya noksan olabilir.

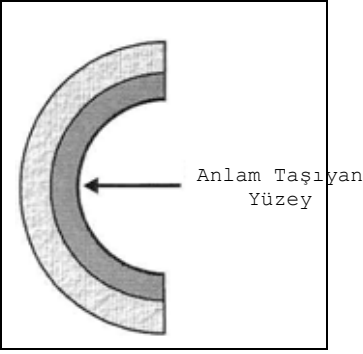
Nesne çok fazla düzgün bir biçime sahip olmadığı takdirde hata küçük olacaktır. Buna karşılık nesnenin keskin köşeleri ve derin yarıkları bulunması durumunda, hata daha da büyük olacaktır.

Diğer sözcüklerle bir ortalama kalınlık size kaplanan parçanın herhangi bir bölgesindeki gerçek kalınlık hakkında ancak yaklaşık bir fikir verebilir. Bir defada, tam olarak kaplama sözcüğü ile isimlendirilen her nesne için kaplama alanları başına çok sayıda gram biçiminde sonuç alınabilir. Düzgün parçalar için bu durum doğal olarak belirli bir kaplama kalınlığının daha sonra, x santimetrelilik bir ortalama kalınlığı karşılamak için bazı spesifikasyonlar değiştirilmiştir. Ancak çağdaş trend, **öneme sahip** alanların kaplama kalınlığının belirlenmesi yönündedir.

Öneme sahip alanların ne anlama geldiği, bir yansıtıcı üzerine yapılan ve şekil 17'de görülen gümüş kaplamanın durumudur. **Öneme**

sahip yüzey, görüldüğü gibi çukur kabın tabanıdır. Burası, genel olarak kaplamanın en ince olduğu yerdir. Aşınma, az veya çok bu en ince kaplama alanının aşınma süreci bağlamında değişken olacaktır ve doğal olarak bu alan bir **önemli alan** niteliği kazanacaktır.

Bu nedenle, seçilen alan kalınlık testleri veya **nokta** kalınlık testleri, kaplama hakkında daha spesifik bilgi sağladıklarından, ortalama alan testlerine tercih edilmelidirler. **En fazla sayıldığı noktalarda kaplama kalınlığının ne kadar olduğunu bilmektesiniz.**



Şekil-17. Lokalize Ölçüm

Bildiğiniz gibi, kaplama kalınlığı kaplamacı tarafından karşılanması gereken en önemli spesifikasyon olduğundan, kalınlık ölçümleri konusuna büyük bir zaman tahsis ettik. Murphy'nin Üçüncü Yasası olarak anılan mizahlı bir uyarı büyük bir gerçeği yansıtmaktadır, "denetleyici daima ilk olarak en küçük kalınlığı bulur."

Ancak kalınlık spesifikasyonlara göre kontrol edilmesi gereken tek şey değildir. Sizin başınızı ağrıtabilecek daha pek çok kaplama özellikleri bulunmaktadır, işte bunlardan diğer bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Yapışma Testleri

İstenen amaçlar doğrultusunda, taban metal ile kaplama arasında yeterli bir yapışmanın olması gerek dekoratif gerekse endüstriyel kaplama için oldukça önemlidir. Dekoratif kaplamada, nesne üzerine bir çeşit hafif gerilim uygulandığında kaplamanın yerinde tutulmasına yeterli bir yapışma yeterlidir. Endüstriyel kaplamada ise kaplamanın yoğun gerilim altında yerinde tutulması gereklidir.

Yapışma testleri size kaplama ile taban metal arasındaki yapışma bağının ne denli güçlü olduğunu gösterecektir. Yapışma aşınmaya ilişkin olarak önemli bir özelliktir, çünkü, kaplama güçlü biçimde

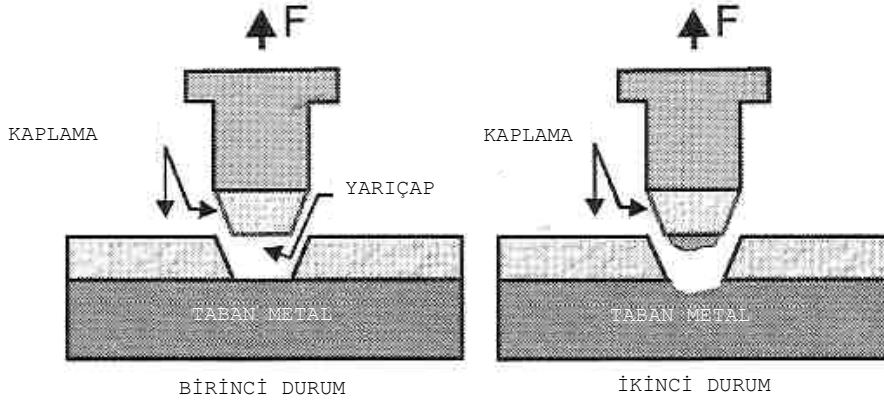
tabana yapışmadığı takdirde, günlük olağan kullanımda rastlandığı gibi küçük gerilmelerin sıyrılmaya ve soyulmaya neden olacağı açıkça belirgindir. Sert krom kaplamada 40.000 psi düzeyinde bir yapışma gücü istenebilir, plastikler üzerine yapılan kaplamada ise 20 psi düzeyinde bir yapışma gücü doyurucu olabilir. Doğru nicel sonuçlar verebilecek olan bir ideal kolay yapışma testi halen çoğu metal test laboratuvarlarını ciddi ve samimi arzudur ancak öyle görülmektedir ki, bazı kez bu arzu yitirilebilir. İdeal teste yaklaşabilen bazı testler olabilir, ancak bunlar için bulucuların bunların kullanılmasına ilişkin talepleri olmasına karşın, yapılmaları öylesine güç ve zaman alıcıdır ki, böylesi bir olumsuzluğu normal bir kaplama atölyesinin kaldırabilmesi pek mümkün gözükmemektedir. Bu nedenle ideal bir test hakkında daha fazla bir şey söylemek istemiyorum. Bunun yerine, kaplamacıların çoğu için bir boşluğu dolduracak ve pratik olarak uygulanabilecek bazı basit testleri açıklamakla yetineceğim. Yapışma spesifikasyonlarını elde edebilmek için tam doğru değerlere gereksinim duyduğunuz takdirde, ayrıntılar için listesini vermiş bulunduğum referansların bazılarına başvurabilirsiniz.

İdeal Yapışma Testleri

İdeal yapışma testi Şekil-18'de açıklanan testin bir benzeri olabilir. Kesik alanı bilinen küçük bir çubuk, taban metal üzerindeki kaplamanın bitişme gücünden daha büyük bitişme gücüne sahip bir majik yapıştırma macunu ile kaplama alanının üzerine yapıştırılır. Yapışma tam olarak gerçekleştikten sonra çubuk kaplama yüzeyi üzerinden yukarı doğru çekilir ve bu çekiş için uygulanan kuvvet ölçümlenir. Çubuğun kaplamaya yapışma gücünün, kaplamanın taban metale yapışma gücünden daha büyük olduğu varsayılırsa, aşağıdaki 3 olaydan birisi olasılıkla gerçekleşecektir:

1. Kaplama katmanlar halinde parçalanır.
2. Kaplama taban metalden ayrılır.
3. Taban metal kırılır.

Bir nicel yapışma testinde, bilinen kaplama alanı normal yönde (dik açı konumunda) taban metalden kaplamaya doğru olan düzlem üzerinde çekilir. Kaplamanın çekilmesi için gereken gücün, test alanına bölünmesi, **yapışma gücünü** verir. Kaplama taban metalden açık biçimde ayrıldığında, sonuç, kaplamanın yapışma gücünün, kaplamanın altında yapılmış bulunduğu spesifik koşullar için belirli bir taban metal üzerine yapışma gücüdür.



Şekil-18. İdeal Yapışma Testi

Üzerinde test uygulanan kaplama alanının yarıçapı r inç ve kaplamanın taban metalden ayrılması için uygulanan kuvvet paund cinsinden F pound olduğu takdirde, kaplamanın taban metal yüzeyine yapışma gücü (A.S.) aşağıdaki denklemden elde edilebilir :

$$A.S. = F / (\pi r^2)$$

Birinci durumda kaplamanın yalnızca kırılma gücünü (kohezyon gücünü) bilmektesiniz, ancak taban metale yapışma gücünü bilmemektesiniz.

Diğer taraftan, kaplama bir kısım kendi katmanları ile taban metalden ayrıldığı takdirde, **kaplamanın yapışma gücü** bilinemez. Tüm bildiğiniz, ilk kırılma gösterdiği için, taban metalin **kohezyon gücüdür**. Bununla beraber böylesi bir durumda kaplamanın **yapışma gücü** açıkça daha doyurucu düzeydedir.

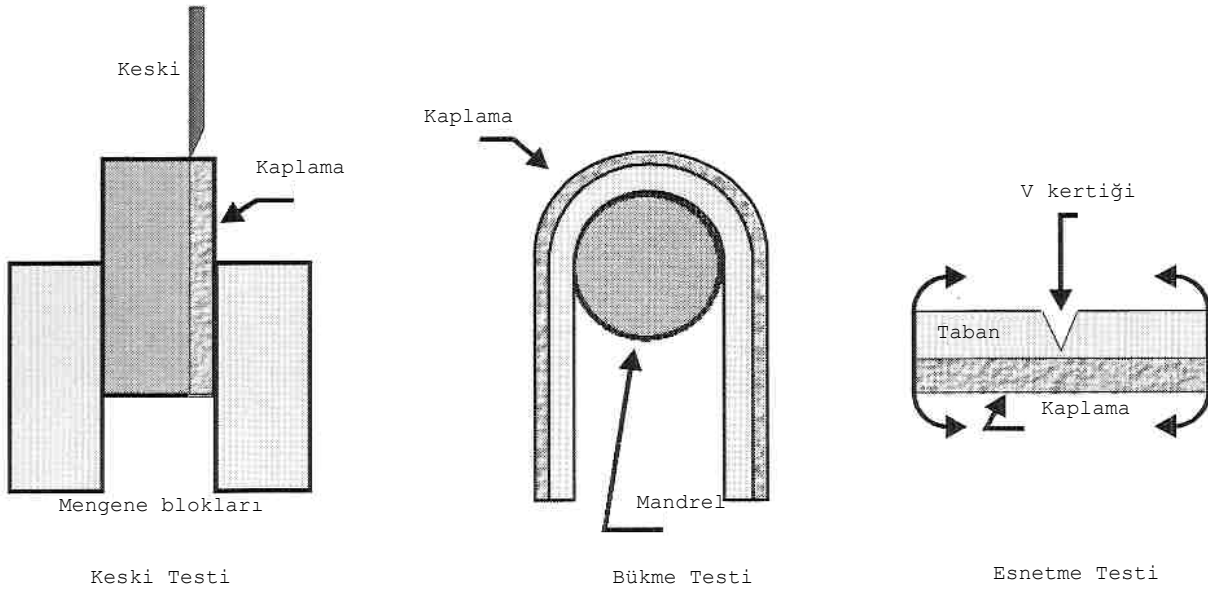
Bir el kitabını tetkik ederek teste kullandığınız özel bir taban metal için kırılma (veya gerilme) gücünün ne olduğunu bulabilirsiniz. Örneğin, nikel kaplı son bakır üzerinde bakır yırtıldığı takdirde, nikelin bakır üzerindeki yapışma gücünün 32.000 Psi'den (yaklaşık olarak saf bakırın gerilme gücü) daha büyük olduğunu söyleyebilirsiniz.

Durumların çoğunda basit bir nitel test yeterli yapışma olup, olmadığını açığa çıkartabilir. Bu "kaba ve kolay" testler gelecek bölümde tartışılacaktır.

Keski veya Çakı Testi

Eğer çalışılan parçanın açık bir kenarı varsa, önce kaplamayı metalin kenarından ayırdıktan sonra, kaplama ile taban metal arasına bir çakı ağzı yerleştiriniz. Kaplamayı çakı ile yerinden kaldırmanın nedenli güç olduğu bağlamında, yapışmayı çok kaba bir biçimde ölçümleyebilmiş olursunuz.

Alternatif olarak, Şekil-19'da görüldüğü gibi yüzey üzerine bir keski uygulayınız. Kaplama, yeterince güçlü çekiç darbeleri altında yerinden kalkmadığı takdirde amaca uygun bir yapışma olduğunu anlayabilirsiniz. Bu doğal olarak yüksek ölçüde nitel bir metodun ve yalnızca kişisel deneyiminize göre yapışmanın gücünü değerlendirebilmenizi mümkün kılar.



Şekil-19. Nitel Yapışma Testleri

Bükme veya Esnetme Testi

Yüksek ölçekte nitel olan bir test de örneği, Şekil-19'da görüldüğü gibi sabit bir mandrel çevresinde sürekli bükme veya alternatif olarak, örneği üst üste 180° esnetme sureti ile gerçekleştirilebilir. Uygulamadan sonra örneğin durumu, kaplamanın yapışma gücünün yeteli olup olmadığını gösterecektir. Sonuçları yorumlamakta tedbirli olunuz, zira arızı olarak hafif bir kaplama böylesi bir esnetme son unda kırılacaktır ve sanki yapışması yetersizmiş gibi bir izlenim yaratacaktır. **Bu nedenle, kırılma tek başına bir yapışma göstergesi değildir.** Plakayı, ancak taban metalinden ayırmak sureti ile yapışma gücü hakkında bir kanaate varabilirsiniz.

Isıtma Testi

Yapışma için iyi bir nitel test de, kaplanmış örneğin ısıtma ve soğutmak döngülerine tabi tutmaktır. Bu maçla örnek 250°F düzeyine dek ısıtılmalı ve sonra 40°F sıcaklığında suya daldırılarak soğutulmalıdır. Bu test, çinko boyalı döküm durumunda olduğu gibi, kaplama aşamasında gaz absorbe etme eğilimi olan taban metal üzerine yapılan kaplamanın yapışma gücünün belirlenmesi için etkindir. Yapışma gücü yeterli, olmadığı takdirde, genel olarak kaplamada kabarcıklar bulunacaktır. Bir diğer alternatif uygulama, plastikler üzerine yapılan kaplamaların yapışma güçlerinin değerlendirilmesi için amaca elverişlidir.

Perdahlama Testi

Oldukça güçlü bir basınçla yumuşak bir perdahlama aletinin kaplama boyunca ileri ve geri hareket ettirerek sürtmek sureti ile yapışma gücü değerlendirilebilir. Bu test, bakır, gümüş ve altın gibi yumuşak metal kaplamalarının yapışma güçlerinin değerlendirilmesi için amaca elverişlidir.

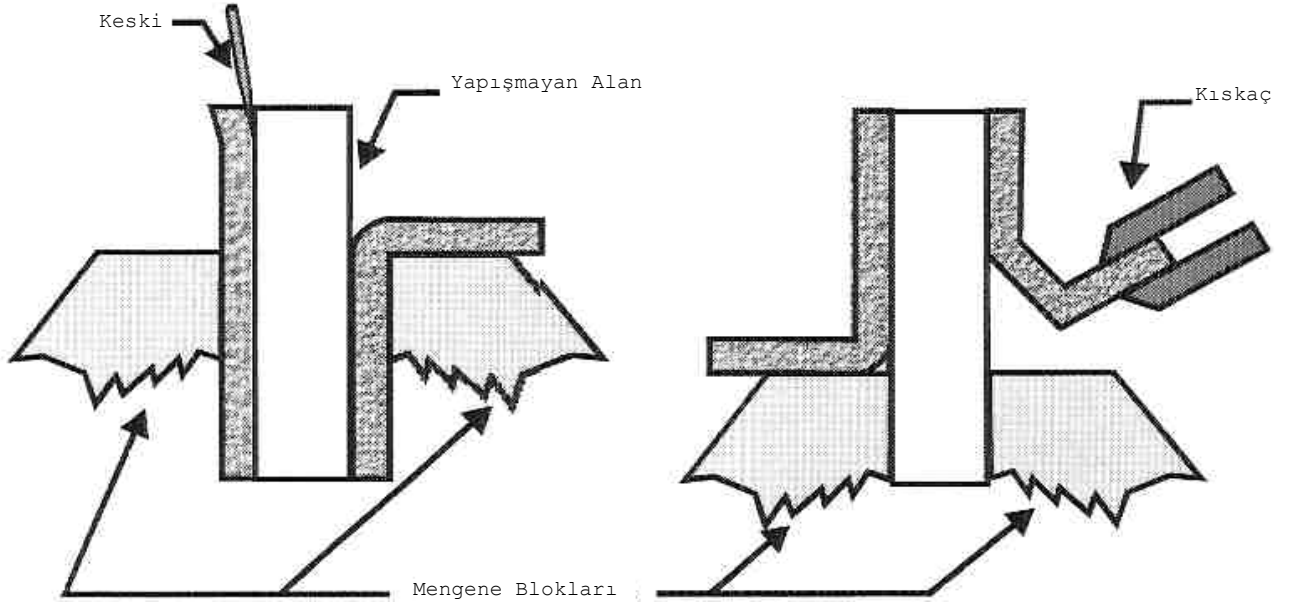
Taşlama Testi

Yapışma gücünün değerlendirilmesi için bir diğer nitel test de, parçanın bir bölümünü, taşlama etkisi yönü taban metalden kaplamaya doğru olacak şekilde bir taşlama çarkına tutmaktır. Yapışma gücü zayıf olan bir kaplama bu yöntemle kolaylıkla taban metalden ayrılır.

Konserve Açacağı Testleri

Sayılar verebilecek olan bir diğer basit test de, karşılaştırma için kullanılabilir ancak biraz daha amaca elverişlidir. Bu test, "konserve açacağı" testi olarak adlandırılan bir Ceket (giydirme) testidir.

Bu teste, şekil-20'de görüldüğü gibi, standart temizleme ve hazırlık yöntemi ile kaplama taban metalden 2" çekilerek sıyrılır. Bununla beraber sıyrılan parçanın üsteki yarım inç bölümü kaplamadan önce bir kromat çözeltisine veya amaca elverişli bir diğer ortama (Elektrolitik Depo bölümüne bakınız) daldırılır. Kaplama işleminden sonra, kaplama, taban metal ayırıcı bir ortama daldırılmamış olduğu takdirde, sağlam biçimde taban metale yapışır. Kaplamanın bu alanı taban metalden kolaylıkla ayrılır ve testin uygulanması için yeterli bir parça oluşur.



Şekil-20. KONSERVE AÇACAĞI TESTLERİ

1" Genişliğinde bir şerit, yaklaşık olarak 3" kadar taban metalden çekilerek ayrılır. Bu durumda kaplama şeridi, bir kıskaçla veya uygun bir düzenele, ölçülebilir bir kuvvetle taban metalden çekilir. Bu amaçla yaylı bir terazi kolaylıkla kullanılabilir. Kaplamanın taban metalden ayrıldığı anda cetvel üzerinde okunacak değer, kaplamanın yapışma gücünü sayısal olarak gösteren değer olacaktır.

Bir diğer alternatif bir yarığı bir cıvata başı ile bir silindirik pin içerisine yerleştirmek, ve vidalamak sureti ile (sardalye kutularını açarken yaptığımız gibi) kaplamayı taban metalden ayırmaktır. Bu amaçla vidalama işi bir tork anahtarı ile yapıldığı takdirde, kaplamanın taban metalden ayrıldığı anda anahtarın kadranında okunacak olan değer kaplamanın yapışma gücünü sayısal olarak gösteren değer olacaktır.

Bu yöntemlerden hiç biri size Psi cinsinden tam ve doğru kaplamanın u-yapışma gücünü vermez ancak size, gerektiği takdirde doğru yapışma testlerinde ve benzer örnekler üzerinde kalibre amacı ile kullanabileceğiniz göreceli bir sayı verirler. Gerçekte, belli bir maharetiniz varsa, kendiliğinden yapacağınız alternatif bir uygulama ile bu alanda ün ve zafer kazanabilirsiniz (ancak pek az para kazanırsınız).

Yapışkan Şerit Testi

Yapışkan şerit testi, film tabakalarını çeşitli katmanlar üzerine yapışma gücü hakkında nitel bilgi edinmek amacı ile kullanılır. Bu testin uygulanması çok basit bir ilkeye dayanır tipik olarak kaplama (bir elektro kaplama, veya boya veya bir diğer materyal) bir X veya çapraz çizgi ile yarıılır. Kesme işlemleri yapıldıktan sonra özel bir yapışkan şerit kesit alanına uygulanır ve kaplamanın kaldırılması için hızla çekilir. Kaplamanın yapışma gücü, kalkarak ayrılan kaplama miktarı sayesinde değerlendirilir. Gördüğümüz gibi sonuçlar doğaları itibarı ile niteldir ancak yararlıdır. Yapışma testi ile ilgili ilave ayrıntılar için bu dersin sonunda verilen referanslara bakınız.

Kolaylıkla Biçimlendirilirlik

Kaplamanın nasıl aşınacağını ilişkin olarak, kaplamanın bir diğer özelliğinin de bilinmesi bazı durumlarda özel bir önem taşır. Bu özellik kolay biçimlendirilirlik (veya zıt özellik olan **kırılabilirlik**) niteliğidir. Kolaylıkla işlenebilir bir kaplama hiçbir arıza belirtisi göstermeden akılcı miktarlarda bükülme ve gerilme mukavemeti taşımalıdır. **Kolay biçimlendirilemeyen** veya **kırılğan** bir kaplama belirli bir esneme veya biçimlendirme koşulları altında kırılır veya parçalanır.

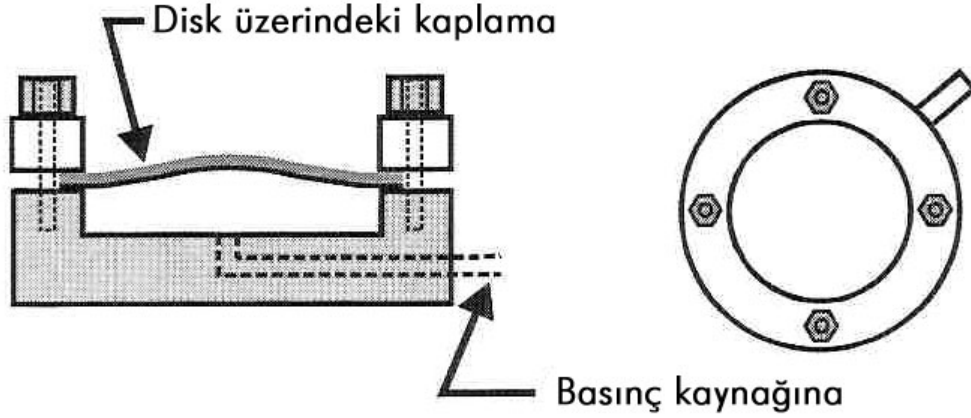
Bir örnek olarak, önce nikelle kaplanan ve sonrada çeşitli nesnelere üzerine tespit edilen bir çelik sacın durumunu düşününüz. Nikel kaplama kırılğan olduğu takdirde, keskin açılı bir bükülme kırılma sonucunu doğurur.

Bir kaplamanın kolaylıkla biçimlendirilebilirliği, kaplamanın herhangi bir bozulma göstermeden, esnemeye, bükülmeye veya biçimlendirilmeye yatkınlığının bir ölçüsüdür. Bu özellik, kaplamanın yapıldıktan sonra böylesi gerilmelere maruz kalmasının istendiği durumlarda özel bir önem kazanır. En basit nitel testler, yapışma testi ve sabit mandrel çevresinde bükme testi başlıkları altında açıklanmış olduğu gibi, parçanın 180° bükülmesi sureti ile gerçekleştirilirler. Kaplamanın bir kırılma göstermeden önce maruz kaldığı bükümlerin sayısı, kolay biçimlendirilebilme niteliğinin kaba bir nitel ölçüsüdür. Daha doğru ve nicel test, özel bir gereç olan ve üreticisinin spesifikasyonlarına göre kullanılan bir **kapsül test edicisinin** kullanılması sureti ile gerçekleştirilir ve kaplamanın bu niteliğinin ölçüsünü verir. Bu tip gereçlerin iki örneği Erichsen ve Olsen test edicisidirler.

Kupa Test Edicisi

Kupa test edicisi şu ilkeye göre çalışır : kolay biçimlendirilebilirliği test edilmiş bir metalle kaplı bir disk, Şekil- 21'de görülen gerece yerleştirilir. Hidrolik olarak uygulanan bir basınç diskin bir kupa gibi kabarmasını sağlar. Test, kaplamada çatlama oluşuncaya dek sürdürülür. Uygulanan

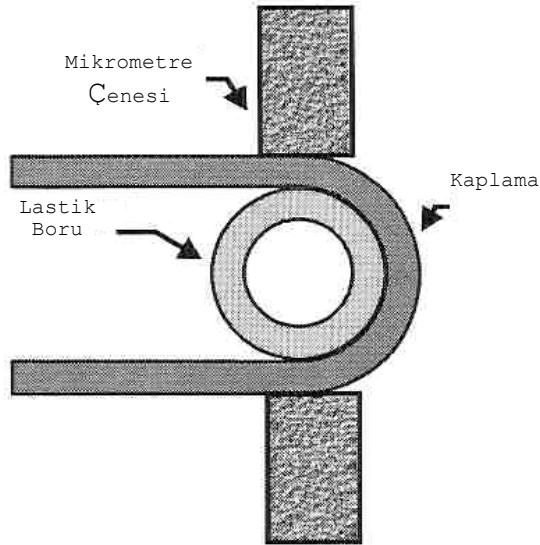
basıçtan ve bir denklemden elde edilen değer, elde edilebilir kolay biçimlendirilebilmenin yaklaşık bir ölçüsüdür. Nicel türden başka kolay işlenebilirlik testleri de vardır ve bunlar referanslarda belirtilmiştir.



Şekil-21. Kupa Test Edicisi

Size sayısal bir değer verebilecek olan basit ve kolay işlenebilirlik testi aşağıda açıklanmıştır.

Mikrometrelili Bükme Testleri



Şekil-22. Bükme Testi

Basit bir mikrometrenin kullanılması sureti ile yapılan aşağıdaki test yarı-nicel bir test olarak kabul edilebilir.

1. Sıyırma bölümünde tanımlananlar gibi amaca elverişli bir yöntem uygulayarak veya parlak paslanmaz çelik üzerine bir "soyucu" kaplayarak, kaplamayı taban metalden sıyırarak ayırınız.

2. Temiz bir kaplama şeridi alınız ve bunu 4"x2" boyutlarında bir kurdele biçiminde kesin ve bir ¼" çapında boru etrafında, Şekil 22'de görüldüğü gibi bükünüz.
3. Şimdi, sonda ile örs arasına bir mikrometre yerleştiriniz ve ölçüyü alınız. Bu ölçüyü M_s olarak kayıt ediniz, lastik boruyu ileri doğru kaydırınız.
4. Şimdi mikrometrenin vidasını, tüm kaplama boyunca ilk çatlama belirtisini izleyerek, bükümü sıkıştırınız. Çatlama oluşur oluşmaz mikrometre kadranındaki değeri okuyunuz ve bu değeri M_f .

Kırılma Sayısı (KS) $M_s - M_f / T$ ($M_s - M_f$) denkleminde elde edilir, burada T kaplamanın kalınlığıdır, M_f son mikrometre okuma değeridir ve M_s ilk mikrometre okuma değeridir. Çoğu durumda (kaplamanın kolay işlenebilir olmadığı durumlarda), son mikrometre okuma değeri küçük olacak ve bu nedenle M_s ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir olacak ve yukarıdaki denklem şu şekilde basitleştirilebilecektir:

$$KS = M_f / T$$

Bu metodun bir varyantı, bükülmüş şeridi şekil 22'de görüldüğü gibi mikrometrenin çeneleri arasına yerleştirmek ve bükümü çeneler arasında tutarak mikrometreyi yavaşça kapatmaktır. Kaplama çatlayıncaya veya kırılıncaya dek çeneler sıkıştırılır. Kaplamanın çatladığı anda mikrometre değeri R ise uzama yüzdesi değeri (**biçimlendirilebilirlik sayısı, d**), t'nin kaplama kalınlığının temsil ettiği aşğıdaki denklemden elde edilebilir :

$$d = 100t / (R-t)$$

Bu ölçekte bir 2 değeri, en az **kırılabilirlik** ve en çok **kolay biçimlendirilebilirlik** düzeyini ifade eder.

Örnek 7: Kaplama şeridinin kalınlığı 0.001" dir, $M_f = 0.02$, $M_s = 0.25$ 'tir. KS nedir?

$$KS = (0.25 - 0.02) / 0.001 = 21.7$$

Veya kısa denklemden :

$$KS = 0.25 / 0.001 = 250$$

2'den 10'a kadar KS sayıları çok iyi biçimlendirilebilirliği, 10'dan 50'ye kadar KS sayıları orta düzeyde iyi biçimlendirilebilirliği, 50'den 100'e kadar KS sayıları zayıf ölçekte biçimlendirilebilirliği ve 100 sayısı biçimlendirilebilirlik niteliği yokluğunu temsil ederler.

Kaplamaların Gerilme Direnci

Bir zamanlar özel mühendislik uygulamalarında, müşteriye en az düzeyde **gerilme direnci** olan kaplamaların temin edilmesi istenirdi. Bunun anlamı basit olarak, **alan birim üzerinde kaplamanın yırtılarak ayrılması için uygulanacak kuvvet** demektir.

Bu tip bir test en iyi biçimde bir Instron veya aynı tip bir gereçle yapılabilir. Genellikle uygulanan yöntem alüminyum boru veya pirinç boru üzerine, bilinen bir akım şiddeti altında ve parçanın kaplanması aşamasında var olan koşullar altında test edilecek metali kaplanmasıdır. Kaplama, eş biçimli bir kaplama kalınlığı elde edilinceye dek sürdürülür. Bundan sonra metal, ince duvarlı bir elektro-plaka borusu bırakıncaya dek çözündürülür. Uçların parçalanmasının önlenmesi için boru özel kısıkaçlarla kavranarak, kırılma oluşuncaya dek bir gerilme direnci makinesinde çekilerek gerilmeye maruz bırakılır. Boruda meydana gelen ilk çatlak için gereken kuvvet, borunun başlangıçtaki kesit alanına ($2\pi rd$) (burada d kaplama kalınlığını göstermektedir), bölündüğünde kaplamanın kırılma gerilme direnci (kuvvet/birim alanı) elde edilir.

Kaplamanın Sertliği

Kaplamanın **aşınma** davranışına ilişkin olarak **sertlik** özelliği çok önemlidir. Bir kaplamadan daha **sert** olan bir kaplama, diğer her şey eşit olduğunda daha uzun süre boyunca aşınma direnci gösterecektir. Bu nedenle, sizden belirli sertlik derecesine sahip bir kaplama oluşturmanız istenebilir. Size doğru değerleri verecek olan sertlik testleri daha sonra açıklanacaktır. Öncelikle nitel olan veya yaklaşık değerler veren testler açıklanacaktır.

Standart Eğe Testi

Örnek bir mengeneye tutturulur ve sertlik derecesi bilinen bir çelik eğe ile ve yüzeye paralel olarak dikkatle törpülenmeye başlanır. Yapılan kesitin derinliğinden ve inilen derinliğin genel "hissedilişinden" kaplamanın sertliği hakkında belirli bir fikir edinilebilir. Bu doğal olarak tam anlamıyla bir nitel testtir. Bununla beraber aşağıdaki fikirleri işlevsel kılmak sureti ile bu testi biraz olsun nicel kılabilirsiniz :

1. **Kalınlığı** bilinen bir kaplama kullanarak, taban metalin yüzeyini tam ortaya çıkarmak için uygulanan eşbiçimli eğe hareketi sayısını **sayınız**. Sertlik dereceleri aynı olan kaplamalar için bu size yarı-nicel bir sayı verecektir.
2. Mekanik uygulama yapmaya eğiliminiz varsa bir gereç sayesinde eğeyi standart ağırlık yükü altında yüzeye

sürtecek şekilde ve eğe hareketi sayısını sayacak bir sayaç kullanarak bu testi uygulayabilirsiniz.

Mohs Kazıma Testi

Bu, çok basit bir testtir ve size bir yarı-nicel sertlik değeri verecektir. Basitçe kaplama yüzeyini, giderek sertliği artan materyallerle kazıyınız. Standartlardan birisinin kazımayı gerçekleştirdiğini saptadığınız anda, kaplamanın sertlik derecesi, bu kazımayı oluşturan standardın **Mohs** sayısı ile, kazımayı en son olarak oluşturmamış olan standardın **Mohs** sayısı arasındaki aralık kademesi içerisinde bulunmaktadır. İyi bir standartlar koleksiyonuna sahip olduğunuz takdirde, lineer bir ölçekte olmamaları kaydı altında, oldukça doğru bir sayı elde etme olanağınız olacaktır. Bununla beraber, bu sayı karşılaştırma amaçları için oldukça iyi bir ölçüt olacaktır.

Kesin sertlik sayılarının elde edilmesine elverişli çok sayıda enstrüman bulunmaktadır.

Elmas Kazıyıcı Test Edicisi (Mikrokarakter Kazıma Testi)

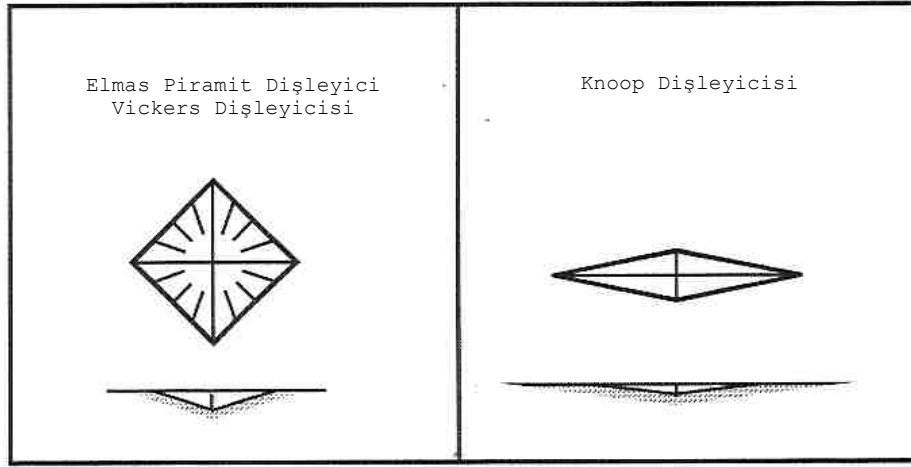
Bu, bilinen bir geometriye sahip olan ve belirli bir sabit ağırlıkla yüklenmiş olarak, mekanik biçimde kazınacak olan kaplama yüzeyi üzerinde hareket eden, elmas uçlu bir enstrümandır. Bu durumda yapılmış olan kazımanın **genişliği**, bir optik mikroskop sayesinde ölçümlenebilmekte ve kazıma **genişliğini sertlikle** ilişkilendiren bir tablodan istenen **sayı** bulunmaktadır. Açıkça belirgindir ki en yumuşak materyal durumunda en geniş kazıma genişliği elde edilecektir.

Vickers Dişleyicisi

Bu, ters döndürülmüş **piramit** biçimli elmas ucun, teste tâbi tutulan noktada **sabit bir yük** altında kaplama yüzeyine doğru bastırıldığı **Wilson Yüzeysel Sertlik Test Edicisi**'nin bir ek parçasıdır. Bu enstrümanla uygulanan testte, mikroskopik bir ölçümle belirlenen L **dalma derinliği** (büyütülmüş olarak Şekil-23'te görülen), kaplamanın **sertliği** ile ilişkilendirilmektedir. Bu test edici enstrüman ve diğer varyasyonları, kaplamanın kalınlığı göreceli olarak kalın olduğunda (0.0005" veya daha fazla) mükemmel sonuçlar vermektedir, ancak açıkça anlaşılabilir nedenlerle, daha ince kaplama kalınlıkları üzerinde elde edilebilen sonuçlar doyurucu değildir.

Ayrıca, farklı tasarımda biçimlendirilmiş bir elmas dişleyicinin (Şekil-23) kullanılması temelinde, bir elmas piramit **Knoop** sayısı da elde edilebilmektedir. Bu son anılan uygulama

çoğunlukla ince film katmanlarının sertliğinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır.



Şekil-23. Dişleyici Uç Geometrisi

Gerek Mikrokarakter kazıma test edicisi, gerekse Yüzeysel Sertlik test edicisi, Knoop ve Vickers Dişleyicisi ile donatılmış olarak, temin edilmesi pahalı enstrümanlardır. Sertlik testlerinin sıklıkla uygulanma durumu dışında, alışlagelmiş alışlagelmiş olağan kaplama işleri için bunlara yatırım yapılması önerilmemektedir. Bu son durumda böylesi testleri uzman laboratuvarlarda yaptırtmak en iyi çözüm olacaktır.

Aşındırıcı Testler (Aşındırma Testleri)

Bazı durumlarda bir aşındırma testi, fiili bir sertlik testinin yerine kullanılabilir. Bu tip bir testte, kaplanmış alan yüzeyi, bilinen ve sabit bir hızda üzerine sürtünerek, ovalayan aşındırıcı bir materyalin etkisine maruz bırakılır. **Tabor Aşınma Testinde** aşındırıcı disk yatay düzlemde dönmekte ve kaplamalı alan yüzeyi bu diskle temasta tutulmaktadır. Taban metal açığa çıkıncaya dek diskin yaptığı dönü sayısı, kaplamanın **aşınabilirlik niteliğinin** ölçüsünü temsil eden **sayıdır** ve gerçek sertliğin fiili sayısal ifadesi değildir.

Kaplamanın aşınmasına ilişkin ilginç bir husus, **sertliğin**, aşınmada kesinlikle güçlü bir etken olmasına karşın, aşınmayla ilgili yegane etmen olmamasıdır. Kaplayıcı oluşturan öğelerden birisinin olası etkisi altında oluşan **yağlamanın** da aşınma üzerinde etkisi bulunmaktadır. Örneğin, **aşınma** ile ilgili olarak altın kaplamalar üzerinde yapılan bazı testler sonucunda, %1 oranında gümüş içeren kaplamanın sertliğinin, alaşım metali olarak kadmiyum içeren altın kaplamanın sertliğine hemen, hemen eşit

olduğu saptanmıştır. Gümüş içeren kaplama, kadmiyum içeren kaplamaya göre %600 oranında aşınmaya karşı dirençlidir⁶.

⁶ Aşınma testi, altın kaplı kürenin altın kaplama üzerinde sürtüldüğü bir küre bulunan, özel olarak tasarlanmış bir aparatla yapılmıştır. Kürenin 500 kez devretmesinden sonra altın kaplamanın uğradığı ağırlık kaybı, kaplamanın aşınabilirliğinin bir ölçüsü olarak alınmıştır.

Madde I. Kalıntı Gerilme

Kaplamacılar için son derece ilgi çekici olan bir diğer özellik de, **kalıntı gerilmedir**. Kaplama süreci aşamasında veya bu sürecin tamamlanmasından pek az sonra, çökelen kaplamada bir hacim değişikliği oluşur. Bu değişim, taban metal vela kaplanmış olan herhangi bir diğer katman tarafından sınırlanarak, durdurulduğu takdirde, kaplamada bir **gerilme** oluşmaktadır. Bu durumda çökelen kaplama çekilme gibi veya küçülme gibi bir davranış gösterecek olursa, **büzüşme gerginliği veya gerilme** gelişmektedir. Çökeltme kaplama üzerinde yayılmakta ise, **yayılma gerginliği veya sıkıştırma** gelişir.

Bu davranışın nedeni tam olarak aydınlatılabilmemiş değildir, ancak bu neden her ne olursa olsun, bu davranış kaplamacılar için son derece önemlidir. Bu önem aşağıda açıklanan gerekçelere dayalıdır :

1. Gerilme altındaki kaplama çökeltme katmanları, kırılmaya veya kaplamadan soyulmaya eğilimlidir.
2. Elektrolitik depo için kullanılan gerilmeli kaplama çökelmeleri, biçim ve toleranslarını koruyamazlar ve bir mandrelden çıkartılamayabilirler.
3. Gerilme altında bulunan kaplamalar daha hızlı biçimde korozyona uğrarlar.

Bu nedenle kaplama çökelmelerindeki gerilmeden sıklıkla söz edilmiştir ve gelecekte daha da sıklıkla söz edilmeye devam edilecektir.

Gerilme, fitkareye paund veya santimetrekareye kilogram olarak ifade edilir. Böylece, bir uzunluk alanı ile bölünen bir kuvvetin (ağırlık) (F/L^2) boyutlarına sahiptir. Doğrudan ölçülebilmesine olanak yoktur. Bu işin gerçekleştirilmesi için özel bir enstrümana gereksinim vardır. Bu amaçla kullanılan enstrümanlardan bazıları **Brenner Kontraktometresi** veya **Spiral Kontraktometre** ve **Arrowsmith Tensometresi**'dir. Bir diğer gereç olan **Kushner Stresometresi** artık piyasada bulunmamaktadır.

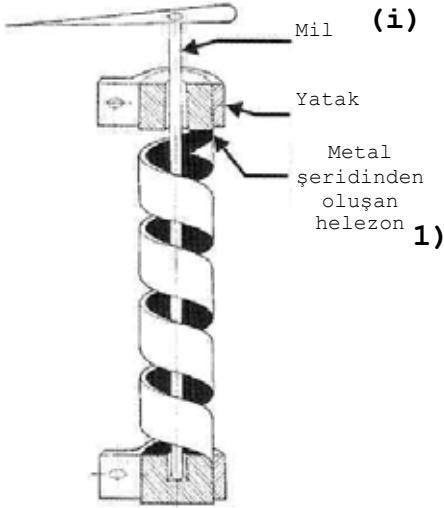
Kontraktometre, Şekil-24'te görüldüğü gibi, kaplamanın uzun bir esnek metal şeridin üstüne yerleştirilmesi ve kendi gerilme veya sıkıştırma gerginliğine göre değişken olacak şekilde, bu esnek metal şeridi bir veya bir diğer zıt yönde kavislendirmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Helezon biçimindeki esnek şeridin burulması

sureti ile, kavislendirme bir gösterge ibresinin, bir dişli takviye grubu sayesinde gerçekleşen dönel hareketine dönüştürülmektedir. Bir denklem sayesinde ıskala üzerinden alınan okuma değeri, kaplama kalınlığına bölündüğünde, o kalınlık için ortalama gerilme değerine dönüştürülmektedir.

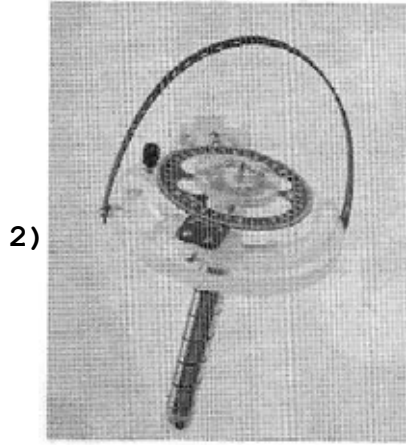
Tensometre ise biraz olsun farklı bir ilkeye göre çalışmaktadır. Şekil-24'te görüldüğü gibi, sabitleyici bir yapı içerisine tutturulan, bir yüzey alanı kaplamalı ince bir metalik şerit, manyetik etki altında her iki yöne doğru kavislenmekten engellenmiştir. Kaplamadaki gerilme ne denli büyük ise, kavislenmesinin önlenmesi için o denli büyük akım şiddetine gereksinim olacaktır. Böylece akım şiddeti, kaplama kalınlığına bölündüğünde ortalama gerilmeyi veya birim alanda kuvveti temsil eden, kuvvete dönüştürülmektedir.

Bir diğer test de, bir **Kabuk Hücre** içerisinde özel bir katodun kullanılması temelinde gerçekleştirilmektedir. Katod, ince bölmeler halinde keskin olarak dilimlenir. Her bölme farklı bir akım şiddetine maruz kalacağından, genellikle akım şiddeti bağlamında değişme gösteren gerilme veya sıkıştırma kuvveti, her bölme için farklı olacak ve her bölme farklı biçimde kavislenecektir. Fiili bir sayının veya bir sayılar serisinin elde edilebilmesinden önce, her şeridin üzerindeki kaplama kalınlığının ölçülmesi veya hesaplanması gerekeceğinden, bu aygıt **gerilmenin** kontrolü için yararlı olabilir ancak belirleyici bir test olarak yarar sağlamaz.

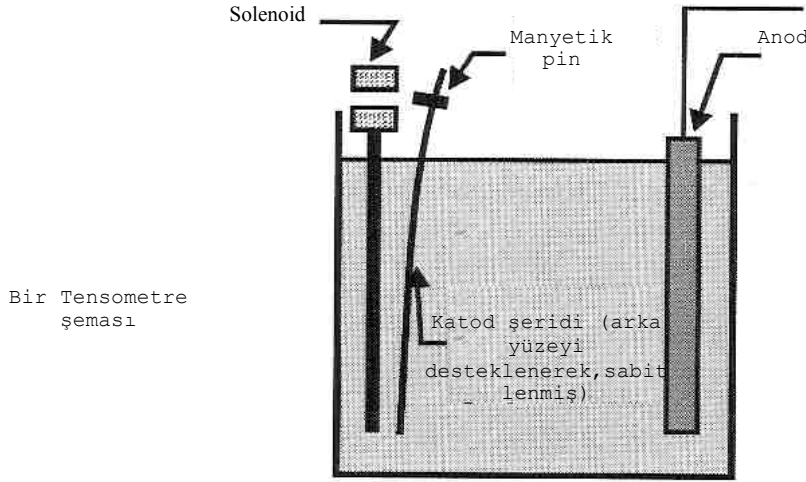
Bu enstrümanların tümü kolaylıkla kullanılabilir ve rahatlıkla piyasadan temin edilebilir. Ayrıntılı bilgi edinmek için referanslara bakınız.



Spiral Kontraktometre İlkesi



Modern Bir Spiral Kontraktometre



Şekil-24. Bazı Gerilme Ölçüm Gereçleri

Madde II. Kaplamanın Yüzeyinin Pürüzsüzlüğü

Karakteristiklerle ilgili bir spesifikasyon olduğu takdirde, kaplama yüzeyinin pürüzsüzlük karakteristiği, en iyi etkinlikle bir **profilometre** veya **Ders 3'**te açıklanmış olduğu gibi, bu amaçla kullanılan enstrümanlardan birisinin kullanılması sureti ile test edilebilir. Bu sayede, mikroinç cinsinden belirli bir **RMS** kabalık sayısı veya bir ortalama kabalık değeri elde edilebilecektir. Hızlı olarak nitel bir fikrin oluşturulabilmesi için, **parlaklığı, yüzey pürüzsüzlüğünün** bir ölçüsü olarak düşündüğünüz takdirde, ilgili kaplamayı iyice perdahlanmış ve ovalanarak parlatılmış ince çelik kuponlar üzerine yapabilirsiniz. Bundan sonra kaplanmış panoyu, bazı keskin çizimli paralel siyah hatları yansıtacak şekilde yerleştiriniz ve gözünüzle açık bir biçimde görüntüsünü değerlendiriniz. Görüntü ne denli bir ayna yüzeyi benzeri ise, kaplama yüzeyi de o denli parlak ve o denli pürüzsüzdür. Keskin biçimde odaklanmış siyah ve beyaz sonuç görüntüsü de, bu değerlendirme için yeterince yardımcı olacaktır.

Madde III. Porozite (Gözeneklilik) Testi

Bazı metaller, daha az asil seriden taban metaller üzerine kaplandığında, koruma esas olarak mekanik türdendir ve yüzeyleri üzerinde korozyon ortamının geçmesi için "giriş kapısı" açıldığında, korozyon oluşumu ile karşılaşılacaktır. Bu giriş kapıları, kaplama yüzeyi üzerindeki gözenekler veya çatlaklardır. Bu nedenle, böylesi "giriş kapılarının" varolup olmadıklarını ve var oldukları takdirde, ne kadar olduklarını saptamak önemlidir.

Demir taban metal üzerine yapılan nikel, bakır, krom, gümüş ve altın kaplamalarının bu karakteristik için değerlendirilmelerine olanak sağlayan test, **Ferroksil Test** olarak adlandırılmaktadır.

Ferroksil Kağıdı olarak bilinen ve özel olarak hazırlanan test kağıtları piyasadan temin edilebilir veya aşağıda açıklanacak yöntemle sizin tarafınızdan hazırlanabilir :

| Bileşim Ögesi | Konsantrasyon (g/L) |
|---------------|---------------------|
| Sodyum Klorür | 50 |
| Saf jelatin | 50 |

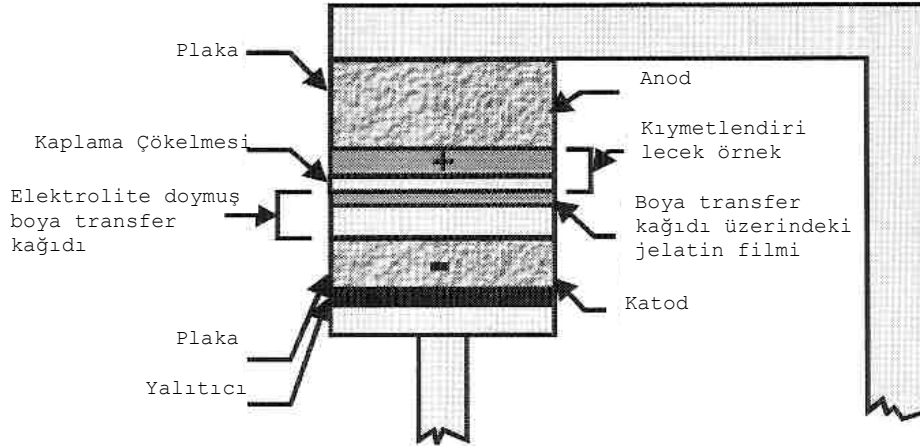
Bu çözeltiyi kağıt üzerinde kurumaya bırakınız ve sonra kağıdı amaca uygun şeritler halinde kesiniz. Kullanılmaya hazır olduğunda bir kağıt şeridini metal yüzey üzerine bırakınız, önce bir an için 50 g/L'lik sodyum klorür çözeltisi ile ıslatınız. Kağıt şeridi, sürekli olarak tuzlu çözelti ile ıslak durumda bulundurarak, 10 dakika süre boyunca kaplama yüzeyi ile temas halinde bırakınız. Bundan sonra kağıdı alınız ve bir an için 10 g/L'lik potasyum ferisiyanür çözeltisine daldırınız. Metal yüzeyi üzerinde her nerede gözenek veya kırık var ise, kağıt üzerinde **mavi lekeler** görülecektir. Kağıdı kurutunuz ve mavi lekeleri sayınız. Bu kağıt referans olarak saklanabilir.

Şekil-25'te görüldüğü gibi kaplama üzerinde "maskelenmiş" gözenekler bulunması olasılığı vardır. Bunlar zayıf noktalardır ancak tanımlanmış olan olağan gözeneklilik testinde görünmezler. Maskeli gözeneklerin varlığından kuşku duyduğunuz ve bunları teste tabi tutmak istediğiniz takdirde, aşağıdaki yöntem sizin için yararlı olacaktır.

Elektrografik Porozite (Gözeneklilik) Testleri

Kaplanmış örneğin elektrografik testinde, kaplanmış örnek anod yapılır ve bir alüminyum veya bakır (alüminyum tercih edilmelidir) plaka katod yapılır. Bu anaodla katod arasına istenen reaktifle işlenmiş bir filtre kağıdı veya bir kromatografi kağıdı yerleştirilir. 5 saniye boyunca düşük şiddette akım geçmesine izin veriniz. Bu anda mavi lekeler gelişmediği takdirde plakada normal

gözenekler bulunmadığından emin olabilirsiniz. Bununla beraber, akım geçişi 15 ila 30 saniye süreyi bulunca mavi lekeler izlendiği takdirde, kaplama üzerinde "maskelenmiş" gözenekler bulunduğu anlaşılır.



Şekil-25. Elektrografik Porozite Testi

Testlerin yapılması için yaklaşık olarak 0.1 ila 0.2 mm kalınlığında iyi kaliteli bir filtre kağıdı kullanılmalıdır. Ancak benim deneyimlerime göre orta veya hafif ağırlıklı bir kromotografi kağıdı kullanmak daha iyidir. Kağıdı reaktifle ıslatınız ancak görüntünün burkulmasına neden olacağından, fazla ıslanmasına izin vermeyiniz ve tam görüntü vermeyeceğinden de fazla kuru olmasına izin vermeyiniz. 5 ASF düzeyinden yüksek akım şiddeti kullanmayınız.

Tablo-4 Demir Taban Metal Üzerine Yapılan Metal Kaplamalardaki Gözenekler için Reaktif

| Reaktif | Konsantrasyon (g/L) |
|----------------------|---------------------|
| Sodyum Klorür | 50 |
| Jelatin | 50 |
| Potasyum ferisiyanür | 10 |

Kağıdı bu çözelti içerisinde ıslatınız ve kurumaya bırakınız. Test için hazır olduğunuzda kağıdı çözelti ile nemlendiriniz ve test edilecek yüzey alanı ile yakın temasa getiriniz (önce yüzeyi temizleyiniz).

5 Saniye akım geçmesine izin veriniz ve kontrol ediniz. Gözenek görülmediği takdirde 10 ila 25 saniye daha akımın geçmesine izin veriniz ve tekrar kontrol ediniz. Mavi lekelerin görüldüğü her noktada gözenekler bulunmaktadır.

Tablo-5 nikel taban Metal Üzerine Yapılan Metal Kaplamalarındaki Gözenekler için Reaktif

| Reaktif | Konsantrasyon |
|----------------|---------------|
| Sodyum Sitrata | 10 |
| Sodyum Klorür | 25 |
| Jelatin | 5 |

100 cm³ alkol içerisinde 1 gram dimetilglioksim eritiniz ve yukarıdaki reaktife katınız. Nikel kaplama üzerinde gözenek olan her alanda pembe veya kırmızı lekeler görülecektir.

Bu metodun uygulanması için spesifik sorunların çözüme kavuşturulması amacı ile özel reaktifler geliştirilebilir. Bu metodla ilgili daha fazla ayrıntı için bu **Dersin** sonundaki referanslara bakınız.

Sıcak Su Testi

Büyük parçaların porozite testine tabi tutulması için yukarıda açıklanan türden bir testin uygulanması pratik olmayacaktır. Böylesi durumlarda, taban metal demir olduğunda aşağıdaki test tüm gözeneklerin varlığını gösterecektir :

Örneği temizleyiniz veya direkt olarak kaplama banyosundan çıkartınız, iyice yıkayınız ve 180°F düzeyinde ısıtılmış sıcak su içeren normal kapaklı bir sıcak su tankı içerisine yerleştiriniz. Tank içerisinde karıştırma yapınız ve suyu küçük bir basınçlı gaz silindirinde besleyen karbondioksit gazı ile doyurunuz. Parçayı dışarı çıkarınız ve olduğu gibi açık havada kurumaya bırakınız. Gözenek bulunan her havada bir pas lekesi görünecektir.

Diğer Porozite Testleri

Literatürde bulunabilecek olan, ve tümü spesifik amaçlara uyumlu olan çok büyük çeşitli testler bulunmaktadır. Bunlarla ne yapılacağı hakkında genel bir fikir edinmeniz için bu testlerin bazı tipleri aşağıda açıklanmıştır.

Buhar Metotları

Bir kurutucu veya amaca uygun bir hücre içerisinde, nitrik asit buharı, kükürtdioksit gazı veya hidrojen sülfür gazı kaplanmış parçalarla temas ettirilir.

Kromat Finisajlar

Finisajı tamamlanmış parçayı, içerisine birkaç damla ıslatıcı öge katılmış olan bir seyreltilmiş kurşun asetat çözeltisi içerisine daldırmak sureti ile çinko veya kadmiyum taban metal üzerindeki kromat finisajının gözeneklilik (porozite) testi yapılabilir. Kromat finisajın 5 saniye boyunca bu işleme tabi tutulmasından sonra siyah bir renk gelişmemesi durumunda kromat finisaj genellikle doyurucu yapıdadır.

Pasifleştirilmiş Çelik

Fosfatla işleme gibi bir işleme ile pasifleştirilmiş içerik, bir bakır sülfat çözeltisine daldırılmak sureti ile aktif alanlar veya gözenekler varlığı konularında kontrol edilebilir. Aktif alanlar veya gözenekler bir bakır çökmesine neden olacaktır.

Anodize Sızdırmaz İşleme

Bir anodize sızdırmazlık işlemlerini bütünselliğini kontrol etmek için (*Ders-15'e* bakınız) sızdırmaz kılınmış anodik kaplama basit bir boya çözeltisine daldırılır. Kaplama amaca uygun biçimde sızdırmaz kılınmış olduğu takdirde boyayı emmez ve akarsu altında yüzeyindeki tüm boya akar. Boyanın toplandığı yerler sızdırmaz kılma işleminin bütünsel olmadığını veya bu noktalardaki düzensizlik varlığını gösterir.

Nitrik Asit Testi

Bu test altın kaplamalar için uygulanır. Kaplama üzerine bir damla konsantre nitrik asit konur ve kabarcıklanma başlangıcında ölçümlenir.

Korozyona Uğrayabilirlik

Bir kaplamanın ne kadar uzun süre dayanacağı, yalnızca nasıl **aşındığından** (sertlik, kalınlık, yağlama ve gerilme) değil aynı zamanda da **çevrenin** olumsuz etkilerine karşı direncinden anlaşılır. Çevrenin olumsuz etkilerine karşı direnç **Korozyona uğramaya** karşı direnci ifade eder. Bir örnek olarak saf altından oluşan bir altın kaplama hemen, hemen tüm koşullar altında okside olmayacak veya korozyona uğramayacaktır. Demir, nerede ise tüm koşullar altında çok kolaylıkla korozyona uğrar. **Korozyona uğrayabilirliğin** ölçülmesi basit bir konu değildir. Bu oluşuma kaplamanın **porozitesi**, fiziksel durumu ve bileşimi ile taban metalin yapısı ve bileşimi de katılır. Son olarak çevrenin doğası da korozyona uğrayabilirliği etkiler. Bazı test yöntemleri aşağıda açıklanacaktır.

Tuz Sprey Testi

Büyük babalarımızın tüm korozyon testlerinin yapıldığı dönemlerde bu test "klasik test" olarak bilinirdi. Bu test, test örneklerini, standart bir sıcaklık altında duman gibi bir karakter sergileyen atomize tuz spreyine maruz bırakmak sureti ile uygulanmaktadır. Örnekler, işlem başlangıcında kontrol edilebilir ve birkaç saat sonra örnek çatlamaya veya korozyona uğramaya başlar. Böylesi bir duruma gelmek için geçen zamanın uzunluğu, örnek kaplamanın korozyon direncinin bir ölçüsüdür. Çok sayıda karmaşa yaratıcı faktörler bulunduğundan, karşılaştırılabilir sonuçların elde edilebilmesi için çok sıkı standartlara sadık kalınmalıdır. Tuz testi kabinetlerinin üreticileri, bu dersin sonunda verilen üretici referansları bölümde bulunmaktadır.

Böylesi testlerin yapılmasında izlenecek yöntemler ve uygulanacak teknikler için bu üreticilere başvurulmalıdır.

Tuz sprej yönteminin çok sınırlamaları olmasına rağmen, hala doyurucu olduğu bilinen standartlarla karşılaştırılabilir sonuçların istendiği durumlarda hala güvenli bir biçimde kullanılabilirliği mümkündür. Bu yöntem, korozyon sorunlarının neye benzer olacağını anlaşıması konusunda size önceden bir fikir vermesi amacı ile salt bir birincil test olarak uygulanabilir.

"Eski moda" tuz sprej testi hala kullanılmaktadır ancak karışıklık yaratıcı sonuçlar ve bazen de yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Fiili hizmet ömrü ile gerçek bir ilişkisi olmayabilir ve bazı durumlarda uzun hizmet ömürleri ile ekstrapolasyon yapılabilecek sonuçların elde edilmesi çok uzun zaman alabilir. Fiili hizmet için korozyon etkisine ilişkin çok sayıda güçlük bulunması nedeni ile, çok sayıda daha yeni test tipleri geliştirilmiştir. Bu daha yeni testleri ikisi hakkında kısa bir açıklama yapacağım.

CASS Testi

CASS, bakırla hızlandırılmış tuz sprejini sözcüklerinin ilk harflerinden (İngilizce) oluşan bir akronimdir. Bir kabinet içerisinde olağan tuz sprejinin kullanılması yerine, korozyon reaksiyonlarını hızlandırmak amacı ile bakır klorür ve asetik asit içeren bir sprej kullanılmaktadır. Bu yöntem, göreceli olarak daha kısa bir sürede daha uzun hizmet süreleri için biraz daha iyi ilişki yansıtan sonuçlar vermektedir. Her ne kadar eski moda tuz sprejini testinden daha iyi olsa da, beklentilerin pek çoğuna tam anlamı ile yanıt vermemektedir.

Corrodkote

Bu test yönteminde, korozyona uğramış materyalden yapılan bir macun, kaplama örneği yüzeyine sürülür ve kurumaya bırakılır. Parça bu durumda yüksek nem ortamı içeren bir hücreye yerleştirilir.

Tahripkarlık etkileri anlamında yukarıda açıklanan testler en az tahripkar olanından itibaren başlayarak, aşağıdaki gibi sıralanırlar :

- **Tuz Sprejini**
- **Asetik Asit & Tuz Sprejini**
- **CASS**
- **Corrodkote**

Bu testlerle ilgili olarak size hiçbir ayrıntı vermedim. Bütünsel ayrıntıları ve bütünsel talimatları ASTM

Spesifikasyonlarının en son basımlı versiyonunda bulabilirsiniz. Bu spesifikasyonlar Test ve Materyaller Kurumundan satın alınabilir.

Terleme Testleri

Kaplamaların terlemeye karşı direncinin testi için daldırma veya sprey yöntemiyle uygulanabilecek %0.25 NaCl, %0.04 KCl, %0.09 laktik asit ve %0.034 üre içeren bir çözelti kullanılır.

İşte özelliklere ilişkin testler hakkında tüm gerekenleri anlattım. Bazı kaplama özellikleri tanımlamak için sayısal değerlerin önemi hakkında iyi bir fikir edinmiş olduğunuzu umarım. Şimdi aynı sayısal değerlerin fiili üretimde nasıl kullanılacağı konusuna geçeceğiz ve bu amaçla da önce kalite kontrolünü ele alacağız.

Kaplama Süreçlerinin İstatistiksel Kontrolü

Son 15 yıllık süreç boyunca İstatistiksel Proses Kontrolü (SPC) konusunda kaplama döngülerine büyük bir ilgi uyanmıştır. İstatistiksel Proses Kontrolü tüm sanayi tipleri için kolaylıkla kabul edilebilir bir uygulamadır.

İstatistiksel Proses Kontrolü, basit olarak istatistiklerin bir üretim prosesinin kontrolüne uygulanmasından ibarettir ve amacı da, en az miktarda güç ve materyal israfı ile sürekli eş-biçimli yüksek kaliteli ürünün elde edilmesidir.

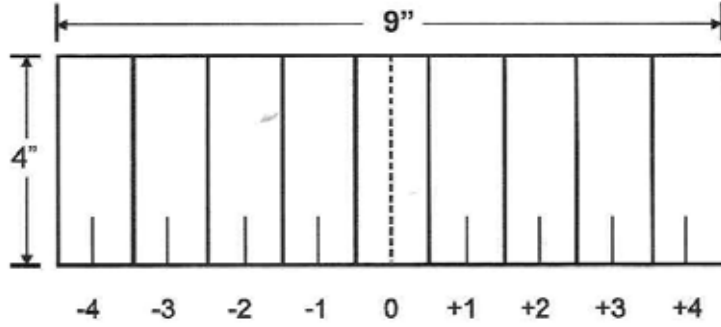
Elektrolizle kaplamaya ilişkin olarak bu konuda pek çok yazı üretilmiştir. Bu nedenle, daima akılda tutulması gereken iki temel olayı işaret etmek istiyorum :

- 1. İstatistiksel Proses Kontrolü yalnızca belli bir ürün kalemini büyük bir üretimi olduğunda veya belli bir proseste çok sayıda ölçümleme yapıldığında pratik biçimde bir prosese uygulanabilir.**
- 2. Kendi kendine İstatistiksel Proses Kontrolü bir kaplamanın sonucunu iyileştiremez. Yalnızca sonuçların eş-biçimli olmasını sağlamak ve enerji ve materyal israfını önlemeye yardımcı olmak için kullanılabilir.**

Bu iki hususu akılda tutarak şimdi bazı İstatistiksel Proses Kontrolleri hakkında görüşeceğiz.

Basit Bir Deney

Burada size İstatistiksel Proses Kontrolünün neye dayandığını hızlı biçimde öğretecek olan basit bir denet açıklayacağım. Şekil-26'da görüldüğü gibi basit bir dereceli kağıt alın ve sivri uçlu bir kurşun kalemle bir hanenin merkezinden (iki taksimat arasındaki mesafe) bir hat çizin. Bu alanın 0 olarak işaretleyiniz ve sağa doğru taksimat ortalarını +1, +2, +3, +4, ve sola doğru taksimat ortalarını da -1, -2, -3, -4 olarak işaretleyiniz.

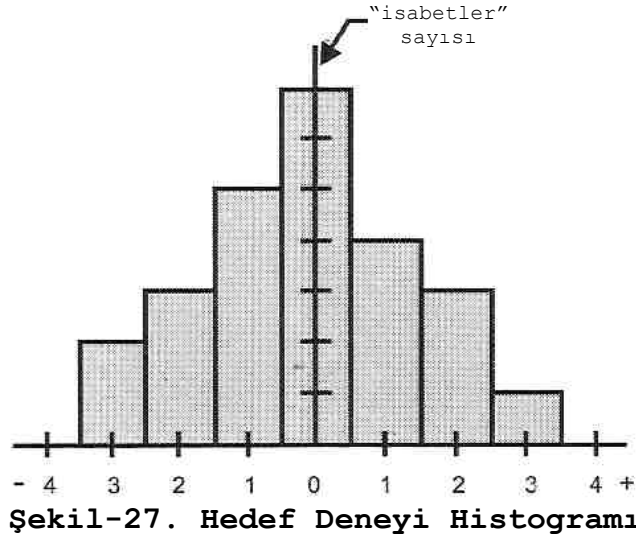


Şekil-26. Kalem Bomba Hedefi

Kağıdı düz bir masa üzerine yerleştiriniz. Kurşun kalemi yaklaşık olarak 2 fit kağıdın yukarısında, ucu kağıda doğru bakacak şekilde, her iki elinizin parmakları arasında hafifçe tutunuz.

Taksimatlandırmış olduğunuz kağıdın merkezine iyice nişan alınız ve kalemi düşmeye bırakınız. Almış olduğunuz nişanın doğruluğu kalemin ucu ile otomatik olarak kaydedilecektir. Her defasında dikkatle nişan alarak bu işi en az 100 kez tekrarlayınız.

Şimdi taksimat alanındaki noktalanmış işaretleri sayınız ve sonuçları, ordinatlar ekseninde belli bir taksimat alanındaki nokta sayıları ve absisler ekseninde de taksimat alanı numarasını taşıyan bir grafiğe, şekil-27'de görülen şekilde kaydediniz. Bu size prosesin bir çubuk çizeneğini veya "**histogramını**" verecektir. Deneyi 1000 kez veya daha fazla yaptığımızda da tekrar gerçekleştirilebilir ve deney boyut artırıldığında daha küçük ve daha küçük taksimat alanları kullanılabilir ve sonuç olarak şekil-28'de görülen eğriye benzer bir eğri elde edilir. Bu eğrinin bir çok ismi vardır işte bunlardan bazıları : **Gaussian eğrisi** veya **normal hata eğrisi**, **normal probabilitate (olasılık) eğrisi** ve **normal dağılım eğrisi**.



Bu deneyde, her tür şans ve arızı hatalar, kalem vuruşlarını tabi olduğu yasaya tabidir.

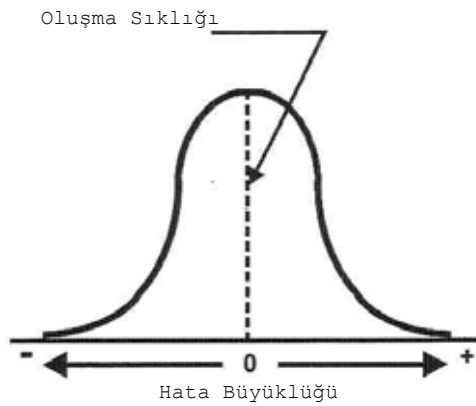
Şekil-28'deki eğri bu yasanın kapsamında bulunan aşağıdaki belirlemeleri yansıtmaktadır :

1. **proses, yalnızca şans eseri yapılan hatalara tabi olsa, pozitif bir hata, aynen bir negatif hataya benzer**
2. **büyük hata görülmesi olasılığı, küçük hata görülmesi olasılığından daha azdır.**
3. **çok büyük arızı hata görülmez.**

Üçüncü aksiyom (bu bir aksiyomdur çünkü hiçbir şekilde kanıtlanamaz, yalnızca deneyin sonucudur) kalite kontrolünün çözülmesi zor durumudur ve bunu size kalem deneyimizle göstereceğiz.

Kalem deneyini çok kez tekrarladığınızı ve nişan almada akılcı bir uzmanlık kazandığınızı söylemek isteriz.

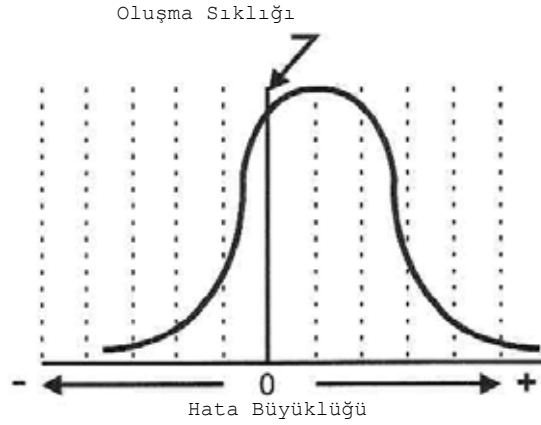
Sonuçlarınızın eğrisi Şekil-28'de görülen eğrinin bir benzeri olacaktır.



Şimdi, bilmediğiniz bir kişinin içerisinde deney yaptığınız odaya güçlü bir fanla bir rüzgar üflediğini var sayınız. Yine sonuçları işaretliyorsunuz ve elde edilen eğrinin Şekil-29'dakine benzediğini şaşkınlıkla görüyorsunuz.

Kalemi her ne kadar tam olarak aynı biçimde düşmeye bırakmış olsanız da, sonuçlardan çoğu merkez hattını sağındaki taksimat aralıklarında, yani, yalnızca şans bağlamında bulunan bir proste üçüncü aksiyomun imkansız olmasına göre, tutarlı büyük hatalar yapmakta olduğunuzun farkına varıyorsunuz. Bu durum sizin prosesi kontrol etmeye ve rüzgar estiren ve doğal olarak kaleminizi etkileyen fanı bulmaya, yani **kaza eseri olmayan hatanın** sebebini bulmaya sevk ediyor.

Başka bir ifade ile, gördüğünüz dağılımı işaretlemek sureti ile önce **şans olmayan** bir şeyin sonuçları yanlış yönlendirmek üzere işlevsel olduğunu fark ediyorsunuz. **Bu, istatistiksel proses kontrolünün temel fikridir.**



Şekil-29. Artan Pozitif Hata

Şans hatalarına tabi herhangi bir prosesi ele alacak ve bu prosesin de bir kalem deneyi olduğunu düşünecek olursanız, bu proses için bir eğri elde edilebilir. Proses gün be gün izlenecek olursa, aşamasında **normal** olmayan bir şey kendini gösterir, göstermez, bunun sebeplerinin ortaya çıkarılması için gayretler başlatılır ve durum daha da kötüleşmeden düzeltilir.

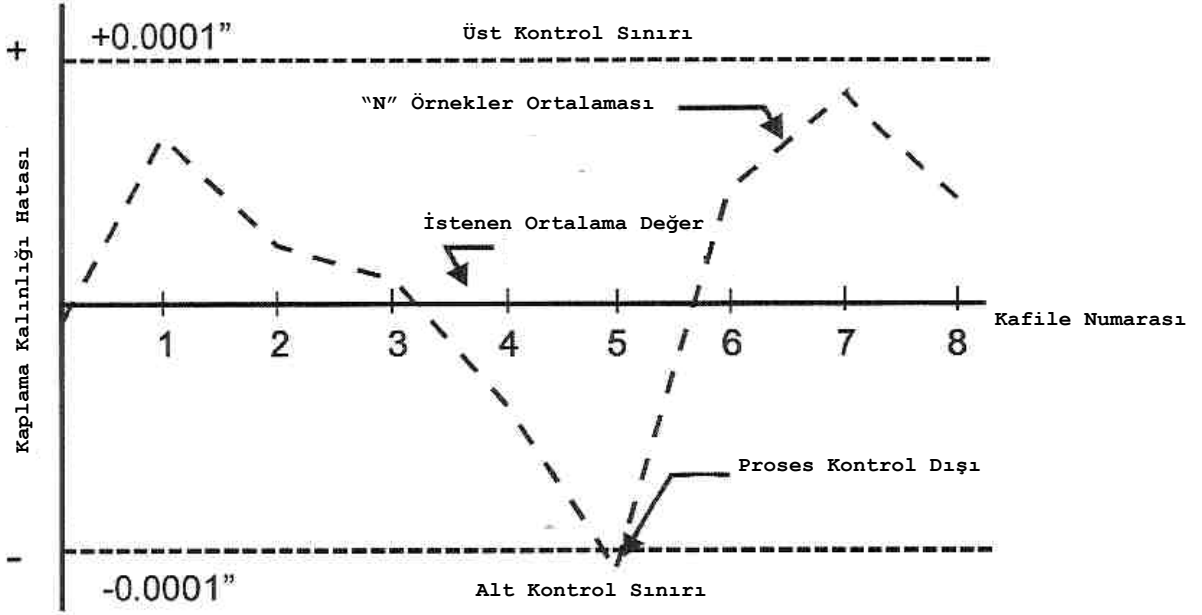
Kalem düşürme deneyi gibi böylesine basit bir deneyin sonuçlarının, nasıl olup da üretim prosesi gibi karmaşık bir prosese uygulanabileceği sorusu akla gelebilir. Kalem deneyinde yalnızca bir tek temel değişken vardır bu da nişan almanızın kalitesidir. Buna karşın, bir üretim prosesinde diğerlerinden bütünsel olarak veya kısmen bağımsız çok sayıda değişken olabilir. Bunun sebebi, proste ister bir isterse birden çok sayıda adım olsun, her aşamada hatalar yalnızca şans eseri olarak ortaya çıktığı müddetçe tüm şans hatalarının toplamı, kalem deneyinden elde edilen türden bir eğrinin dağılımında varlıkların hala

sürdüreceklerdir. Böylece prosesin her aşamasında veya nihai ürün üzerinde kaliteyi, bizim için hangisi daha avantajlı ise ona göre kontrol edebiliriz. Bazı proseslerde belirli bir adımla ilgilenebiliriz diğerlerinde ise tüm adımların oluşturduğu bütünsellikle. Ürünün, ölçülebilir spesifik bir kalitesini veya bir bütünsel endeks olarak alınabilecek kaliteler bileşimini değerlendirmek için seçebiliriz.

Günümüzdeki uygulamada her gün bir dağılım eğrisi oluşturmak amacı aşacak kadar fazla zaman alır ve uygulanabilmesi pratik olmaz çünkü pek çok ölçümün kayda geçirilmesi gereklidir. Başlangıçta, istatistiksel proses kontrolünün yalnızca büyük üretim miktarları söz konusu olduğu takdirde iyi bir yöntem olacağı hususuna değinilmişti. Doğal olarak bunu anlayabilirsiniz, çünkü kalen deneyinde, düzgün bir eğri oluşturabilmenizden önce kağıt üzerinde çok sayıda hedef yakalama girişiminde bulunmuş olduğunuzu siz de gördünüz. İşte yapılmış olan budur.

Kalem deneyinde yapmış olduğunuz gibi, ölçüler almak sureti ile proses için bir normal hata veya dağılım eğrisi oluşturulmuştur. Bu gayret, normal veya şans hatalarının sınırları anlamına gelen **proses sınırlarının** belirlenmesi için yapılmıştır. Bundan sonra bir **üst kontrol sınırı** (pozitif yönde azami sayıda şans hatası) ve bir **alt kontrol sınırı** (negatif yönde azami sayıda şans hatası) elde etmiş oluruz. Düzenli aralıklarla prosesin **rast gele örneklerini** aldığımız bu noktadan itibaren, yalnızca bu az sayıda örnek üzerindeki ölçüleri alırız. Prosesin, bu örnekler üzerinde ölçümlenen belirli bir özellik veya niteliğinin grafiğe dönüştürülmesi sonucunda, yapılan tespitin kontrol sınırlarının üstüne veya altına doğru geliştiğini saptarız ve şans elemanları artık işlevsel olmadığından, **proses kontrol dışına çıktı proses kontrol dışına çıktı** deriz. Bunu yapmanın pek çok yöntemi vardır ancak çoğunlukla örneklerin **ortama değeri** böylesi bir tabloya Şekil-30'da görüldüğü gibi işaretlenir.

Doğal olarak ortalama değer, yapılan ölçümler toplamının alınan ölçümler sayısına bölünmesi sureti ile elde edilecektir. Bu arada, zaman kazanmak için, basit olarak bir ölçümler serisinin orta değeri olan ve **medyan** olarak tanımlanan değer alınır. Böylece, ölçüm değerleri 8,9 ve 11 olduğunda, medyan 9, aritmetik ortalama ise $(8+9+11)/3 = 9,33$ olur.



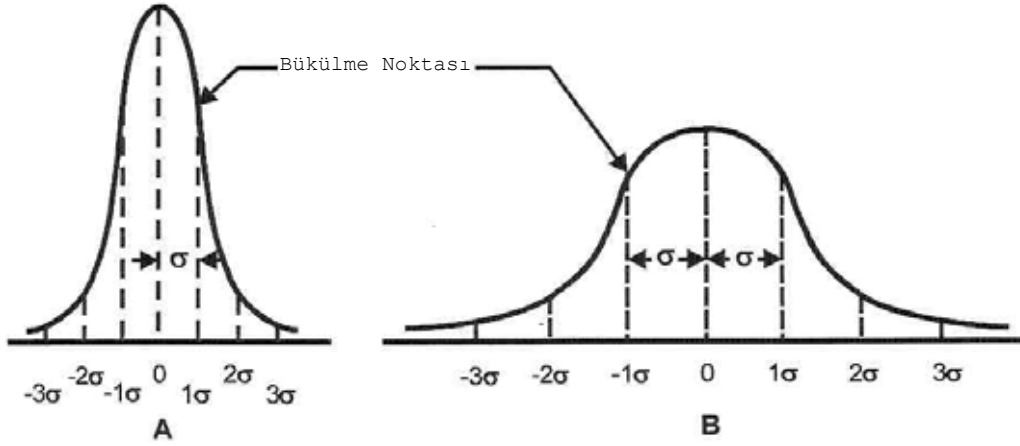
Şekil-30. Kalite Kontrol Tablosu

Burada ele alınmaya diğer başka çok sayıda tablo tipi bulunmaktadır. Bununla beraber bunların tümü normal dağılım eğrisi kavramı bazında algılanırlar ve oluşturulurlar. Bazı tablolar bazı amaçlar için daha uygundur ve bu çeşitli tablo tipleri ile veriler kalite kontrolle ilgili herhangi bir metinde bulunabilir.

Belirlenen Sınırlar Nasıl Çalışırlar?

Bir kez daha kalem deneyine geri dönelim. Uzman bir nişancı olduysanız? Elde edeceğiniz eğri, Şekil-31'deki "A" eğrisine benzeyecektir. Bu eğri atışlarınızın çoğunu nişancı olduğunuzu ve büyük hata yapma şansınızın az olduğunu gösterir (eğri **saçılmamıştır**). Diğer taraftan, yeterince uzman olmayan bir nişancı tarafından oluşturulacak eğri "B" eğrisine benzeyecektir. Bu durumda bu eğrinin büyük ölçekte **saçılmış** olduğunu söyleriz. Diğer sözcüklerle, sizin eğrinizdeki **saçılma**, uzmanlığı yetersiz nişancı eğrisindeki **saçılmadan** daha küçüktür.

Belirli bir proses için normal bir eğri oluşturduğunuzda benzer sonuçlar alırsınız. Prosesin türü (olduğu gibi), **geniş bir saçılma** elde etmenizi gerektirir türden olabilir. Bu durum örneğin kusurlu tasarımlı varil sıkı bir kalınlık toleransının elde tutulamadığı varil kaplama gibi proseslerde oluşabilir. Bu, varilin sadece yeniden tasarlanması sureti ile düzeltilebilecek bir temel hatadır.

Şekil-31. Sigma'nın (σ) Belirlenmesi

Bir **saçılma** ölçüsü olarak yunanca sigma (σ) sembolünü kullanıyoruz. Sigma, basit olarak yukarıda görüldüğü gibi eğrinin merkez hattı ile, kavisin içbükeyden dışbükeye değiştiği nokta (**bükülme noktası**) iz düşümü arasındaki açıklıktır. Eğri merkezinin iz düşümünden, kavisin değiştiği noktanın iz düşümüne olan mesafe **sigma**'dır ve **saçılmanın** ölçüsüdür. **Sigma** büyük olduğu takdirde saçılma büyük olacak, **sigma** küçük olduğu takdirde de saçılma küçük olacaktır.

Bir prosesin işletme sınırları genellikle 3 sigma olarak alınır. Bunun sebebi, pratik olarak ortaya çıkabilecek tüm durumlarda pratik olarak eğrinin türünün bu sınırlar arasına girmesidir (tüm durumların %99.7'si için doğrudur). Diğer sözcüklerle, 3 σ eğrinin hemen, hemen taban hattına dokunduğu taban hattı boyunca ölçülen dış mesafedir.

Buna göre, prosesin üst sınırı genellikle +3 sigma ve alt sınırı da -3 sigma olarak alınır. Bu sınırlar dışında şans hatasının uzaktan kontrol edilme şansı pratik olarak mümkün değildir ve her hangi bir şey bu 3 sigma sınırı dışında izlenirse bu bir şans hatası değildir ancak üretim hattı boyunca herhangi bir noktada bir kusurun veya bir falsonun göstergesidir.

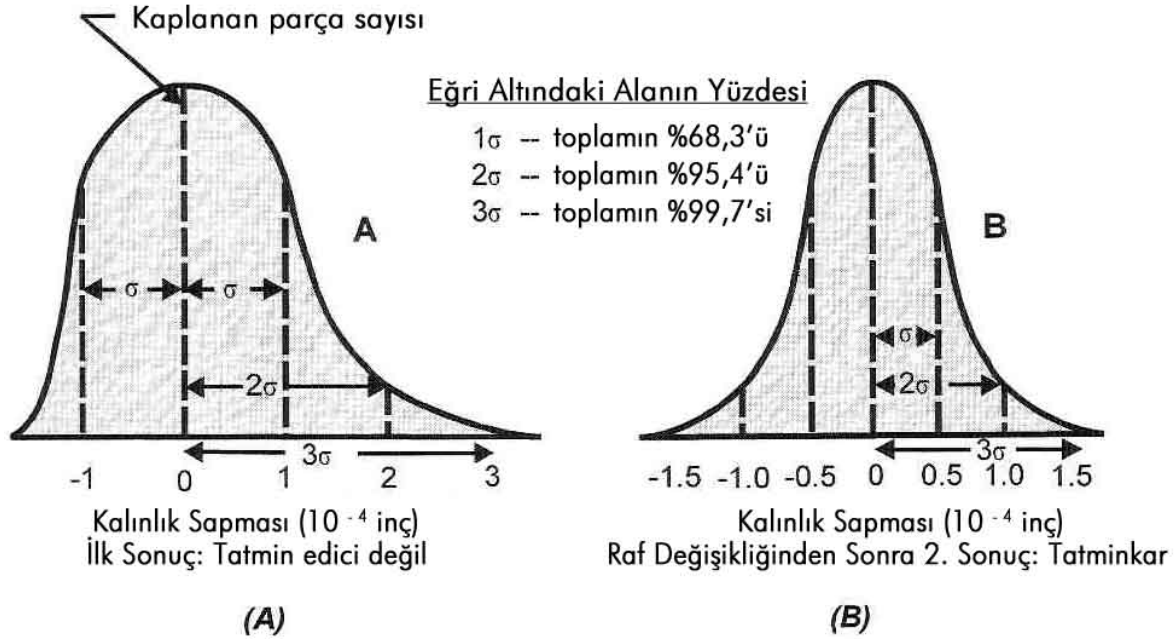
Sigma, akılcı sayıda çok örnek üzerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenir. Örneğin varil kaplamada, pratik olarak varil üzerindeki her ayrıntı kalemin ölçüsünü almaktan söz edemezsiniz ve böylece akılcı sayıda fazla temsil edici örnek derleyemezsiniz. Ve normal bir eğri bu ölçümler sonucunda oluşturulur.

Sigma, X (üstü çizgili X) sembolü ile gösterilen ölçümü yapılan kalemin ortalama değeri ile her münferit ölçüm değeri arasındaki farkların alınması sureti ile belirlenir. Bu farkların kareleri alınır ve bir birine eklenir. Bundan sonra elde edilen sayı yapılmış olan ölçümler sayısına bölünür ve sonra elde edilen

tüm miktarın karekökü alınır. Bu cümle sanki bir dua gibi karmaşık gözüküyor ama gerçekte yapılacak işlem hiç de karmaşık değil. İşte denklem aşağıda görülmekte :

$$\sigma = \sqrt{\frac{[(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2]}{NF \text{ (Yapılan Ölçümlerin Sayısı)}}$$

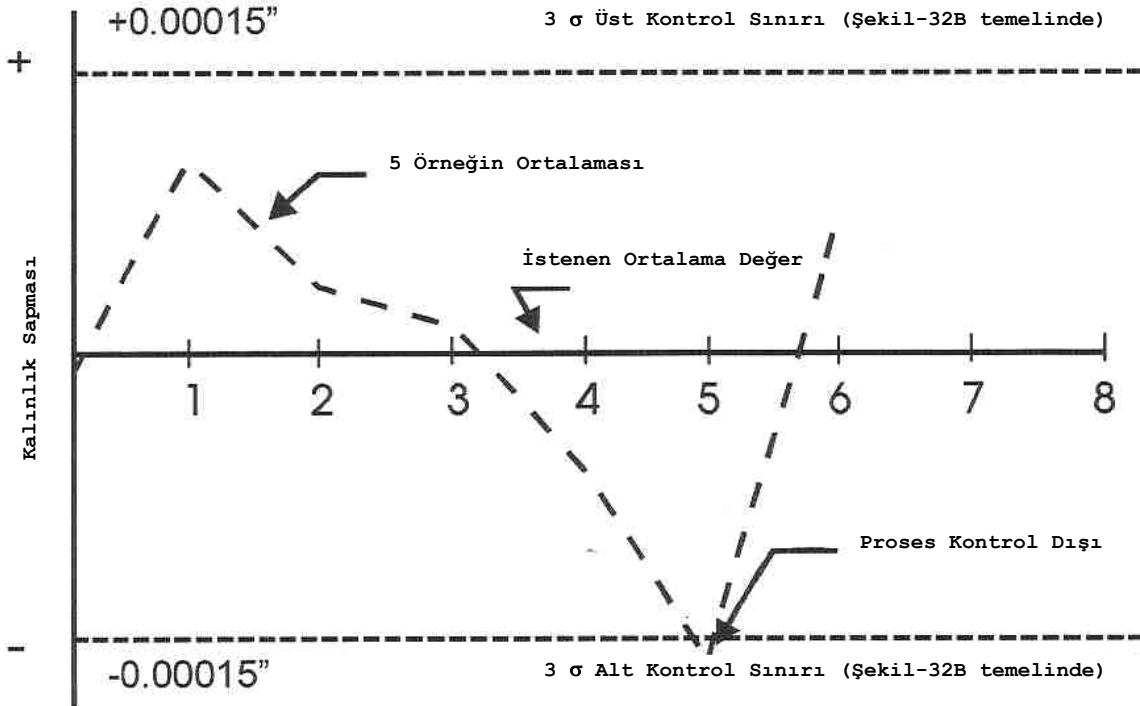
Şimdi bir iş örneği alalım, üretim, yarı küre biçimli reflektörün nikel kaplanmasına dayanıyor. Bize verilen spesifikasyonlara göre nikel kaplamanın reflektör tabanında $\pm 0.0001''$ toleransla $0.0005''$ olması gerekiyor. Bir seferde bu reflektörlerin 50 adedini kaplayabilme yeteneğine sahibiz. Bu, $0.0005''$ kalınlığında nikel kaplama oluşturacak şekilde hesaplanan zaman ve akımı kullanmak sureti ile gerçekleştirilmektedir. Bu durumda kalınlık testleri yapılmakta, bir dağılım eğrisi oluşturulmakta ve sigma hesaplanmaktadır. Yapılan ölçümler neticesinde bulunan sigma değeri $0.0001''$ 'tir. bunun anlamı, şekil-32 A'da görülen eğriye göre belirli bir yük için ortalama %68.3 veya 34, tolerans sınırları içerisinde olacaktır. Sıraları yeniden tarsiim lamanıza göre veya tam içerisinde hafifçe farklı düzenlemenize göre size $0.00005''$ sigma değeri veren bir düzenlemeyi, Şekil-32B'de görüldüğü gibi elde edeceksiniz. Bunun anlamı, 2 sigma içerisindeki tüm işin tolerans sınırları içerisinde olması ve bu nedenle %95.4 yük ortalamasının tatminkar olacağı 50 parçanın veya 47 veya 48'inin kabul edilir nitelikte bulunacağıdır.



Şekil-32. Dağılım Eğrileri

Çalışma için üst ve alt kontrol sınırları olarak 3 sigma aldığımızda ve örneğin her kafileden 5 temsilci örnek derlediğimizde ve her kafile için ortalama kalınlığı veya medyanı işaretlediğimizde, Şekil-33'dekine benzer bir tablo elde ederiz.

Kontrol hattı 3 sigmanın üstüne çıktığında veya bu yönde sürekli bir eğilim gösterdiğinde çalışma durdurulur ve nedenin araştırılması için gerekli kontroller yapılır. Böylece, Şekil-33'teki örnek durumda olduğu gibi kaplama işlemini kusurlu kılan ve fiilen kısa zamanlanmış kaplama sürecine neden olan bir zamanlama mekanizması kullanılmış olduğundan, proses kontrol dışına çıkar.



Şekil-33. Kalite Kontrol

Şimdi konuyu kapatıyoruz. Daima akılda bulundurunuz : **Kalite kontrol esas itibarı ile bir muayene metodudur. Sistemik olarak yapıldığı takdirde şans hatası olmayan hataların ne zaman yapıldığını gösterir ve duyarlılık yükseltilecek ve korunacak şekilde daha iyi işletim koşullarının bulunmasına veya tasarımlanmasına yardımcı olur.** Bundan avantaj sağlamak artık **size** kalmıştır.

Ne bildiğinizi bilerek, yaklaşık olarak verilen herhangi bir koşullar serisi altında, spesifikasyonları tutarlı biçimde

karşılılamak için bu tip bir kalite kontrolünü karşılayabileceğinizi **düşünüyorsanız** her şey tamamdır. Bir kaplama kalınlığı sorunu mu söz konusudur? Bir kaplama eş-biçimliliği mi söz konusudur? Sonuçları düzeltmek için ne yapabilirsiniz? **Düşünün! İŞTE TAMAM.** Şimdi bu **Dersin** ana fikirlerini tekrar sıralayalım :

Bir spesifikasyon nitelikli kaplama yapabilmek için aşağıdaki üç işi gerçekleştirebilme kabiliyetine sahip olmalısınız :

1. **Spesifikasyon olarak verilmiş kaplama niteliğini elde edebilmek için testlerin yapılması.**
2. **Bu nitelikler için amaca uygun sayılar serisine (izin verilen tolerans sınırlar dahilinde) sahip bir kaplama elde edebilecek şekilde kaplama banyosunun kontrol edilmesi.**
3. **Kalite kontrol uygulamak sureti ile bu sayıların sürekli olarak elde edilebilmesi.**

İşte bir fındık kabuğu içerisinde her şey.

Kendinizi hazır hissettiğinizde sınava giriniz.

İşlenmemiş Problemlerin Yanıtları

1. 0.0052 inç
2. $W/2a^2d$
3. 0.00065 inç

Seçilmiş Referanslar

Seçilmiş Referanslar

Yapışma Testi :

Frank Altmayer, *Products Finishing*, 50(12), 84-91(1986) Yapışma, bileşim, porozite, korozyon direnci, sertlik ve kaplama kalınlığı için Kalite Kontrol metotları üzerinde iyi bir tartışma.

Şerit Testi Spesifikasyonları. ASTM, B571-97 ve D3359-97'den alınabilir iki yöntem bulunmaktadır : ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19328-2959, (610) 832-9500. Bunlara, www.astm.org sitesinden erişebilirsiniz.

Korozyon Testi

Jack W. Dini, *Electrodeposition : The Materials Science of Coatings and Substrates*, Noyes Publications, 1993. Metal Finishing Publication, 660 White Plains Road, Tarrytown, NY 10591, (914) 333-2500. mükemmel bir kitap. Kitap içeriğinde korozyon testleri ile ilgili çeşitli konular işlenmiş.

Frank Altmayer, *Metal Finishing Guidebook and Directory*, 2003 Edition, Metal Finishing Publications, 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, (212)633-3140.

Frank Altmayer, *Products Finishing*, 50(50),84-91(1986). Yapışma, bileşim, porozite, korozyon direnci, sertlik ve kaplama kalınlığı için Kalite Kontrol metotları üzerinde iyi bir tartışma.

Kolay İşlenebilirlik Testi

D. Garner Foulke, *Editor, Electroplaters Process Control Handbook*, Revised Edition, Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, NY, 1975.

Elektrografik Test

Frank Altmayer, *Products Finishing*, 50(12), 84-91(1986).

Jack W. Dini, *Electrodeposition : The Materials Science of Coatings and Substrates*, Noyes Publications, 1993. Available from Metal Finishing Publications, 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, (212) 633-3140

Sertlik Testi

D.M. Mattox, *Plating & Surface Finishing*, 82(4),74-75 (1905). Sertlik testi metotlarına iyi bir genel bakış.

H.J. Read, *Technical Proceedings*, American Elektroplaters Society, 50, 37 (1963). Metal finisajında sertlik testleri. Çok eski fakat çok değerli bir yapıt.

John D. Horner in *Metal Finishing Guidebook and Directory*. 2003 Edition, Metal Finishing Publication, 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, (212) 633-3140.

Sertlik testler ile ilgili yazılı standartlar "ASTM, 100 Baar Harbor Drive, West Conshohocken, Pa 19328-2959. (610) 832-9500'den elde edilebilir. Ayrıca, www.astm.org adresli siteden de bunlara erişilebilmesi mümkündür. Elektroliz kaplamacıları için özellikle önemli olan iki standart B-578 ve E-384'tür.

Porozite Testi

Frank Altmayer, *Products Finishing*, 50 (12), 84-91 (1986) Yapışma, bileşim, porozite, korozyon direnci, sertlik ve kaplama kalınlığı için Kalite Kontrol metotları üzerinde iyi bir tartışma.

İstatistiksel Proses Kontrolü

American Electroplaters & Surface Finishers society, (800) 334-2052'den temin edilebilir Leonard A. Doty, *Statistical Process Control, Industrial Press*, 1992. İstatistiksel proses kontrolü hakkında çok sayıda başka kitaplar da bulunmaktadır. Yerel kitapçınıza başvurunuz veya www.amazon.com sitesini ziyaret ediniz.

Bu konuda pek çok başka kaynak vardır. *Metal Finishing, Plating & Surface Finishing* ve *Products Finishing* aylık dergilerinde bu konuda çok sayıda makale bulunmaktadır.

Gerilme

D. Gardner Foulke, *Electroplaters Process Control Handbook*, revizyonlu yayın, Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington. NY, 1975. Halen basılmamaktadır ancak büyük kitapçılarda bulunabilir. Çeşitli kaplama testleriyle ilgili mükemmel bir bölümü vardır.

Jack W. Dini, *Electrodeposition : The Materials Science of Coatings and Substrates*, Noyes Publications, 1993. Available from Metal Finishing Publications, 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, (212) 633-3140.

Organik Kaplamaların Testi

Metal *Finishing Organic Finishing Guidebook & Directory*, 2002 Edition. Metal Finishing Publications, 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, (212) 633-3140.

Testler ve Spesifikasyonlar

ASTM Spesifikasyonları. ASTM spesifikasyonlarına ve bunların kopyalarına ilişkin bilgiler edinmek için "ASTM 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19328-2959. (610) 8321-9500" ile yazışınız.

Federal and Military Specifications. "Federal Supply Service Specifications Section, (3FPB-W), Suite 8100, Washington, DC 20407,"den temin edebilirsiniz. Danışmanlık hizmeti almak için ayrıca "DODSSP Special Assistance Desk 700 Robbins Avenue, Building 4D, Philadelphia PA 19111-5094, (215) 697-2179"e başvurunuz, web sitelerinin adresi www.dodssp.daps.mil dir.

Kalınlık Testi

G.P Ray, *Thickness Testing of Elektroplated Coatings*, 2nd Edition, Electrochemical Publications, 1993 eserini "Metal Finishing Publications, 660 White Plains Road, Tarrytown, NY 10591, (914) 333-2500"den temin edebilirsiniz. Bu kitap mikroskopik, kolorimetrik, sprej testi, sıyırma ve ağırlık, manyetik metotlar, beta geri-saçıcılar, X-ışınları, profilometrik testler, optik metotlar ve endüksiyon akımları konularını içermektedir.

Norbert Sajdera, *Metal Finishing Guidebook and Directory*, 2000 Edition, Metal Finishing Publication, 660 White Plains Road, Tarrytown, NY 10591, (914) 333-2500.

X-Işını Flüoresansı

H.H. Behncke, *Metal Finishing*, **82** (5), 33 (1984)

F.Ferrandino, *Metal Finishing*, **84** (5), 29 (1986)

G.P Ray, *Thickness Testing of Electroplated Coatings*, 2nd Edition, Electrochemical Publications, 1993 eserini "Metal Finishing Publications, 660 White Plains Road, Tarrytown, NY 10591, (914) 333-2500"den temin edebilirsiniz.

Ders 14 Sınav

- (10) 1. Spesifikasyon kaplaması kavramının gerisindeki temel düşünce nedir?
- (10) 2. Mesle Kalınlık Testinde, kullanılan taşlama çarkının çapı 16 inçtir. Açığa çıkartılan alan uzunluğu 0.125" olduğu takdirde, kaplamanın yaklaşık kalınlığı ne kadardır?
- (10) 3. Kaplama kalınlığı testi için Beta ışını ve X-ışını metotlarını karşılaştırınız. Sürekli şerit kaplama için hangi metodun kullanılmasını önerirsiniz?
- (10) 4. Özel bir kontakt pulunun her iki yüzü de şekilde görüldüğü gibi altınla kaplanmıştır. Kaplama öncesinde böylesi 10 diskin ağırlığı 585.55 g'dır. Kaplamadan sonraki ağırlıkları 590.00 g olduğuna göre, altın kaplamanın ortalama kalınlığı ne kadardır?
- (10) 5. Bir damlatma test edicisi ile çelik üzerine yapılan çinko kaplamanın testini yapıyorsunuz. 70°F düzeyinde taban metale erişim 125 saniye sürmektedir. Kaplama kalınlığı ne kadardır?
- (10) 6. 2 cm Çapında ve 0.1 cm kalınlığında küçük pirinç diskler altınla kaplanacaktır. Bunların 10 tanesinin kaplama öncesindeki ağırlığı 26.800 g ve suda ağırlığı 25.635 g'dır. Altınla kaplanmış disklerin kaplama sonrasında sudaki ağırlıkları 27.100 g olduğuna göre, altın kaplamanın özgül ağırlığı ve ortalama kalınlığı ne kadardır?
- (10) 7. Bir kaplama şeridinin kalınlığı 0.0015"tir. başlangıçtaki okuma değeri 0.27" ve ilk çatlama düzeyi 0.02" olduğuna göre, kırılma sayısı nedir?
- (10) 8. Tahripkar olmayan yöntemle bakır üzerindeki nikel kaplamanın kalınlığını belirlemek için hangi metodu kullanırsınız, neden?
- (10) 9. Olağan Tuz Sprey Testinin güçlükleri nelerdir?
- (10) 10. kaplanmış 10 parçanın örnekleri aşağıdaki kalınlık değerlerini taşımaktadır : 0.0010", 0.0015", 0.0012", 0.00090", 0.00095", 0.00013", 0.00012", 0.00091", 0.00094" ve 0.00013". bu verileri göre sigma nedir?

