

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SICAKLIK VE AKIM YOĞUNLUĞUNUN SERT VE DEKORATİF AMAÇLI
KROM KAPLAMALARIN YAPI VE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Mak. Müh. Yasin ALEMDAĞ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitünce
"Makina Yüksek Mühendisi"**

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

96731

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.01.2000

Tezin Savunma Tarihi : 07.02.2000

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

T. Savaşkan

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

F. Arslan

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan Basri ŞENTÜRK

H. Basri Şentürk

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Kadioğlu

Trabzon 2000

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğunun Fe37 standardına uygun çelik parçalar üzerine yapılan sert ve dekoratif amaçlı krom kaplamaların yapı ve özelliklerine etkileri incelendi. Krom kaplanan örnekler ile kaplanmayan örneklerin korozyon dirençleri karşılaştırıldı.

Tez çalışmasının yürütülmesinde yapıcı elşestiri ve yardımlarıyla yol gösteren ve bu konuda ilgisini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu çalışmanın tamamlanmasında büyük katkıları bulunan Öğr.Gör. Dr. Tefvik KÜÇÜKÖMEROĞLU'na ve Arş. Gör. Gençğa PÜRÇEK'e teşekkür etmeyi bir görev sayarım. Aynı zamanda kaplama örneklerinin hazırlanmasında emek sarf eden Makina Bölümü Malzeme Laboratuvarı ile Takım Tezgahları Atölyesinde görevli teknisyenlere de teşekkür ederim. Bu çalışma, KTÜ Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. İlgili fon yöneticilerine teşekkürü borç bilirim.

Yasin ALEMDAĞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Elektrolitik Yöntemle Krom Kaplama.....	2
1.2.1. Yüzey Temizleme İşlemi.....	2
1.2.2. Krom Kaplama Banyoları.....	2
1.2.3. Krom Kaplama Koşulları.....	4
1.3. Literatürün Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Kaplama Deneyinde Kullanılan Araç ve Gereçler	6
2.2. Elektrolitik Yöntemle Krom Kaplama.....	6
2.2.1. Yüzey Temizleme İşlemi.....	6
2.2.2. Sert Krom Kaplama.....	7
2.2.3. Dekoratif Amaçlı Krom Kaplama.....	8
2.3. Kaplama Kalınlığı ve Kaplama Hızının Belirlenmesi.....	9
2.4. Kaplama Örneklerinin İncelenmesi.....	9
2.4.1. Kaplanan Parçaların Metalografik Yöntemle İncelenmesi.....	10
2.4.2. Kaplama Tabakasının Sertliğinin Ölçümü.....	10
2.4.3. Kaplama Örneklerinin Çekme Deneyi.....	10
2.4.4. Kaplama Örneklerinin Korozyon Deneyi.....	10
3. BULGULAR.....	12
3.1. Sert Krom Kaplama ile İlgili Bulgular.....	12

3.1.1. Banyo Sıcaklığının Sert Krom Kaplamanın Yapı ve Özelliklerine Etkisi.....	13
3.1.2. Akım Yoğunluğunun Sert Krom Kaplamanın Yapı ve Özelliklerine Etkileri.....	16
3.2. Dekoratif Amaçlı krom Kaplama ile İlgili Bulgular.....	21
3.2.1. Banyo sıcaklığının Dekoratif Amaçlı Krom Kaplamanın Yapı ve Özelliklerine Etkisi.....	21
3.2.2. Akım Yoğunluğunun Dekoratif Amaçlı Krom Kaplamanın Yapı ve Özelliklerine Etkisi.....	26
3.3. Çekme Deneyinden Elde Edilen Bulgular.....	30
3.4. Korozyon Deneyinden Elde Edilen Bulgular.....	31
4. İRDELEME.....	33
5. SONUÇLAR.....	36
6. KAYNAKLAR.....	37
7. ÖZGEÇMİŞ.....	39



ÖZET

Bu çalışmada, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğunun Fe37 standardına uygun çelik parçalar üzerine yapılan sert ve dekoratif amaçlı krom kaplamaların yapı ve özelliklerine etkileri incelendi. Krom kaplanan örnekler ile kaplanmayan örneklerin korozyon dirençleri karşılaştırıldı.

Gerek sert, gerekse dekoratif amaçlı krom kaplamalarda kaplama hızının artan banyo sıcaklığı ile belirli bir aralıkta azaldığı, artan akım yoğunluğu ile de doğru orantılı olarak arttığı belirlendi. Sert krom kaplamaların genelde ince taneli oldukları görüldü, ancak banyo sıcaklığının ve akım yoğunluğunun kaplamanın tane boyutu üzerinde fazla etkili olmadığı gözlemlendi. Dekoratif amaçlı kaplamalarda ise kaplamanın tane boyutunun sıcaklıkla fazla değişmediği, ancak artan akım yoğunluğu ile belirgin olarak azaldığı görüldü. Ayrıca, sert ve dekoratif amaçlı krom kaplamalarda kaplama sertliğinin artan akım yoğunluğu ile arttığı, artan banyo sıcaklığı ile de azaldığı belirlendi.

Korozyon deneyleri sonucunda, krom kaplanan örneklerin kaplanmamış örneklere göre korozyona daha dayanıklı oldukları gözlemlendi. Ancak, dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin sert krom kaplanan örneklere göre korozyona daha dirençli oldukları görüldü.

Anahtar Kelimeler : Sert ve Dekoratif Amaçlı Krom Kaplama, Krom Kaplama Hızı, Krom Kaplamanın Özellikleri

SUMMARY

The Effects of Temperature and Current Density on the Structure and Properties of Hard and Decorative Chromium Platings

In this study, the effects of bath temperature and current density on structure and properties of hard and decorative chromium plating made on TS Fe37 steel parts were studied. The corrosion behaviour of the electroplated and unplated samples were compared.

It was found that the rate of deposition in both hard and decorative chromium platings decreased with increasing bath temperature, but increased with increasing current density. In general, fine grain structure was obtained by hard chromium plating and the grain size of the platings was found to be almost independent of bath temperature and current density. It was observed that the grain size of the decorative chromium plating was not effected by temperature, but it decreased with increasing current density. It was also found that the hardness of both hard and decorative platings decreased with increasing bath temperature, but increased with increasing current density.

The chromium plated samples were found to be more corrosion resistant than the unplated samples in %1 HCl aqueous solution. However, the corrosion resistance of the decorative chromium platings was found to be much superiour to that of hard chromium platings and unplated samples.

Key Words : Hard and Decorative Chromium Plating, Rate of Chromium Plating, Properties of Chromium Platings.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa no</u>
Şekil 1. Krom kaplama deneyinde kullanılan araç ve gereçler.....	6
Şekil 2. Korozyon deney düzeneği.....	11
Şekil 3. Sert krom kaplama hızının banyo sıcaklığına göre değişimi.....	13
Şekil 4. Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında sert krom kaplanan örneklerin fotoğrafı.....	14
Şekil 5. 50 °C'lik banyo sıcaklığında sert krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü.....	14
Şekil 6. 75 °C'lik banyo sıcaklığında sert krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü.....	15
Şekil 7. 45 °C'lik banyo sıcaklığında sert krom kaplanan örnekte, kaplama tabakası ile esas malzemeyi ayıran ara yüzey çizgisinin görünümü.....	15
Şekil 8. Banyo sıcaklığının krom kaplama tabakasının sertliğine etkisini gösteren eğri.....	16
Şekil 9. Sert krom kaplama hızının akım yoğunluğuna göre değişimi.....	18
Şekil 10. 55 °C'lik sabit sıcaklıkta ve farklı akım yoğunluklarında sert krom kaplanan örneklerin fotoğrafı.....	18
Şekil 11. 45 A/dm ² 'lik akım yoğunluğunda sert krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü.....	19
Şekil 12. 70 A/dm ² 'lik akım yoğunluğunda sert krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü.....	19
Şekil 13. 50 A/dm ² 'lik akım yoğunluğunda sert krom kaplanan örneğin kesitinin görünümü.....	20
Şekil 14. Akım yoğunluğunun sert krom kaplamanın sertliğine etkisini gösteren eğri.....	21
Şekil 15. Dekoratif amaçlı krom kaplama hızının banyo sıcaklığına göre değişimi.....	22
Şekil 16. Farklı banyo sıcaklıklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin fotoğrafı.....	23

Şekil 17. 25 °C'lik banyo sıcaklığında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü.....	24
Şekil 18. 55 °C'lik banyo sıcaklığında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü.....	24
Şekil 19. 40 °C'lik banyo sıcaklığında dekoratif amaçlı krom kaplanan örnekte, kaplama tabakaları ile esas malzemeyi ayıran ara yüzey çizgilerinin görünümü.....	25
Şekil 20. Banyo sıcaklığının dekoratif amaçlı krom kaplamanın sertliğine etkisini gösteren eğri.....	26
Şekil 21. Dekoratif amaçlı krom kaplama hızının akım yoğunluğuna göre değişimi....	27
Şekil 22. Farklı akım yoğunluklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin fotoğrafı.....	28
Şekil 23. 12,5 A/dm ² 'lik akım yoğunluğunda dekoratif amaçlı krom kaplamanın yüzey görünümü.....	28
Şekil 24. 20 A/dm ² 'lik akım yoğunluğunda dekoratif amaçlı krom kaplamanın yüzey görünümü.....	29
Şekil 25. Akım yoğunluğunun dekoratif amaçlı krom kaplamanın sertliğine etkisini gösteren eğri	30
Şekil 26. %1'lik HCl asit çözeltisi içerisinde bekletilen örneklerde meydana gelen kütle kaybının bekleme süresine göre değişimi.....	32

TABLolar DİZİNİ

Sayfa no

Tablo 1. Düşük ve yüksek konsantrasyonlu çözeltiler ile çalışma koşulları.....	4
Tablo 2. Anodik temizleme banyosunun kimyasal bileşimi	7
Tablo 3. Sert krom kaplama banyosunun kimyasal bileşimi.....	7
Tablo 4. Bakır kaplama banyosunun kimyasal bileşimi	8
Tablo 5. Nikel kaplama banyosunun kimyasal bileşimi.....	9
Tablo 6. Dekoratif amaçlı krom kaplama banyosunun kimyasal bileşimi.....	9
Tablo 7. Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında sert krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları.....	13
Tablo 8. Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında sert krom kaplanan örneklerin kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri.....	16
Tablo 9. Sabit sıcaklık ve farklı akım yoğunluklarında sert krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları.....	17
Tablo 10. Sabit sıcaklık (55°C) ve farklı akım yoğunluklarında sert krom kaplanan örneklerin kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri.....	20
Tablo 11. Farklı banyo sıcaklıklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları.....	22
Tablo 12. Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri.....	25
Tablo 13. Sabit sıcaklık ve farklı akım yoğunluklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları.....	27
Tablo 14. Sabit banyo sıcaklığı ve farklı akım yoğunluklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri	29
Tablo 15. Sert krom kaplanan örneklerin akma ve çekme dayanımları.....	30
Tablo 16. Örneklere korozyonla meydana gelen kütle kayıpları.....	31

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Metal kaplama, metal malzemeleri fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilere karşı korumak amacıyla yapılır. Metal kaplamalarla parçaların korozyon ve aşınma direnci, sertlik ve elektrik iletkenliği artırılabilirdi gibi, parlak ve düzgün yüzeyler elde edilerek bu parçalara daha iyi bir dış görünüm de kazandırılabilir [1]. Metal kaplama; elektrolitik, sıcak daldırma, sıvı metal püskürtme, metal giydirme ve iyon implantasyon yöntemleriyle yapılır [2].

Endüstride kullanılan parçalar başta krom olmak üzere alüminyum, bakır, kobalt, nikel, çinko, kadmiyum, kalay ve kurşun gibi saf metallerle ya da bunların alaşımları ile kaplanır. Krom kaplanan parçalar daha çok makina endüstrisinde kullanılır. Mühendislik ve dekoratif amaçlı olmak üzere ikiye ayrılan krom kaplama; kromun korozyon ve aşınma direnci ile sertliğinin yüksek, sürtünme katsayısının düşük olması nedenleriyle tercih edilir [3,4]. Mühendislik amaçlı kaplamalara sert krom kaplama da denilir.

Krom kaplama vakumda buharlaştırma, sıvı metal püskürtme, plazma ve elektrokaplama yöntemleri ile yapılır. Mühendislik amaçlı kaplamalarda düzgün olmayan köşelere sahip parçaların homojen olarak kaplanabilmesi için plazma yöntemi kullanılır, ancak bu yöntemle sert bir tabaka elde edilemez [5]. Bu nedenle hem mühendislik, hem de dekoratif amaçlı kaplamalarda elektrokaplama yöntemi uygulanır. Bu yöntemin kullanılmasının önemli nedenlerinden biri kromun elektrolitik olarak çok kolay ayrıştırılabilmesidir [3]. Elektrolitik yöntemle krom kaplama ilk olarak Bunsen [6] tarafından 1854 yılında, krom klorür çözeltisi içerisinde karbon anot ve platin katot kullanılarak yapıldı. 1923 ve 1924 yıllarında Fink ve Elridge [7,8] günümüzde kullanılan ilk sülfat katalizörlü krom kaplama banyolarını geliştirdi.

Mühendislik amaçlı kaplamalarda krom doğrudan esas metal üzerine kalın bir tabaka halinde (2,5-500 µm) kaplanır [9]. Özellikle, yüksek korozyon ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda kullanılan parçalar mühendislik amaçlı krom kaplanırlar [10]. Makinalarda yaygın olarak kullanılan miller, piston segmanları, motor subap itecekleri, içten yanmalı motor silindirleri ile takım tezgahlarına ait bazı parçalar sert krom

kaplanırlar [4]. Ayrıca, ucuz ve kolay bulunan metallere üretilen ve yüzey özellikleri iyi olmayan parçalar da krom kaplanarak kullanım süreleri artırılabilir [1]. Nitekim, krom kaplamak suretiyle bir piston segmanının ortalama kullanım ömrünün beş kat artırılabilceği belirlenmiştir [11].

Dekoratif amaçlı krom kaplamaların en önemli özelliklerinden biri, kaplama yüzeyinin parlak bir görünüme sahip olmasıdır. Ancak, dekoratif amaçlı kaplamalarda krom tabakasının kalınlığı 0,13 µm ile 1,3 µm arasında değişir. Bu kalınlık parça yüzeylerini korozyona ve aşınmaya karşı korumada yeterli olmayabilir [10]. Bu nedenle dekoratif amaçlı krom kaplamalarda parçalar bakır ve nikel kaplandıktan sonra krom kaplanırlar. Yani dekoratif amaçlı kaplamalar en altta bakır, ortada nikel ve en üste krom olmak üzere üç tabaka içerirler. Bakır ve nikel kaplama tabakaları korozyonu yavaşlatarak parçayı korurlar [9,12]. Tesisat araç ve gereçleri, süs eşyaları ve bazı otomobil parçaları genelde dekoratif amaçlı krom kaplanırlar [4].

1.2. Elektrolitik Yöntemle Krom Kaplama

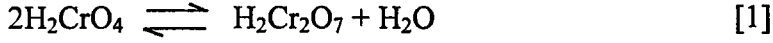
1.2.1. Yüzey Temizleme İşlemi

Kaplanması istenilen parçaların yüzeylerinde bulunan yağ, kir ve pas gibi yabancı maddeler kaplama metalinin yüzeye yapışmasını engeller [12]. Bu nedenle, kaplamanın parçaya iyi yapışmasını sağlamak için kaplanacak yüzeylerin temizlenmesi gerekir.

Yüzey temizleme, kirlilik durumuna göre mekanik, kimyasal ve elektrokimyasal temizleme yöntemleriyle yapılır [13]. Elektrokaplama işleminde kaplanacak parçanın yüzeyi önce mekanik yöntemle, daha sonra da elektrolitik yöntemle temizlenir [14]. Son olarak da parça yüzeyindeki oksit tabakasını gidermek için asitle pas alma yöntemi uygulanır [14].

1.2.2. Krom Kaplama Banyoları

Krom kaplamada, krom iyonları krom oksidin (CrO_3) sulu çözeltisinden sağlanır. Krom oksidin sulu çözeltisi H_2CrO_4 ve $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ gibi Polikromik asitlerden oluşur ve bu asitler arasındaki dinamik denge;



reaksiyonu ile ifade edilir. Söz konusu asitler çözeltide HCrO_4^- , CrO_4^{2-} ve $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ iyonlarına ayrışır [15]. Ancak, krom kaplama yalnız kromik asit çözeltisinde yapılmaz [7]. Kromik asit çözeltisinde yapılan krom kaplama sırasında katotda krom III kromat $[\text{Cr}(\text{OH})\text{CrO}_4]$ olarak adlandırılan sert bir tabaka oluşur ve bu tabaka kromun çökmesini engeller [10]. Ayrıca, saf kromik asit içerisinde yapılan krom kaplamalarda katotda yalnız hidrojen gazı açığa çıkar [10]. Bu nedenlerle, kromun katotda birikmesini sağlamak ve krom III kromat tabakasını gevşetmek amacıyla kromik asit çözeltisine sülfürik asit, florür ve siliko florür gibi bazı katalizör maddeler katılır [9,15]. Krom kaplama çözeltilerinde katalizör olarak en çok sülfürik asit kullanılır. Sülfürik asit Cr^{+3} iyonları ile kolayca reaksiyona girerek krom III kromatı $[\text{Cr}_2(\text{H}_2\text{O})(\text{SO}_4)_4]^{2-}$, $[\text{Cr}_2(\text{H}_2\text{O})(\text{SO}_4)_5]^{3-}$, $[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_6]^{6-}$ iyonlarına ayrıştırır ve sert tabakanın oluşumunu engeller [15]. Sülfürik asit oranı, kaplama kalitesini ve akım etkinliğini doğrudan etkileyen çözelti bileşenidir [16]. Haring ve Barrows [16] en yüksek akım etkinliğinin, sülfürik asit miktarının kromik asit miktarına oranının 1/100 olması durumunda elde edildiğini ileri sürmektedir.

Krom kaplama çözeltileri düşük konsantrasyonlu ve yüksek konsantrasyonlu olmak üzere iki gruba ayrılır. Düşük konsantrasyonlu çözeltilerde kaplama yapılırken akım yoğunluğu yüksek tutulur. Böyle çözeltilerde homojen kaplama yapılamaz, ancak kaplamanın sertliği ve aşınma direnci yüksek olur. Yüksek konsantrasyonlu çözeltilerde ise kaplama düşük akım yoğunluklarında yapılır. Bu tür çözeltide yapılan kaplama parlak görünüme sahiptir ve kaplama tabakası parça yüzeyinde homojen dağılım gösterir [4]. Tablo 1'de düşük ve yüksek konsantrasyonlu çözeltiler ile kaplama koşulları verilmiştir [12].

Krom kaplamada, elektroliz süresince harcanmayan, korozyon direnci yüksek olan ve %6 oranında antimon içeren kurşun anot kullanılır. Homojen krom kaplama elde edebilmek için anot alanının katot alanından daha büyük olması gerekir [9].

Tablo 1. Düşük ve yüksek konsantrasyonlu çözeltiler ile çalışma koşulları

Çözelti bileşenleri ve kaplama parametreleri	Düşük konsantrasyonlu çözelti	Yüksek konsantrasyonlu çözelti
Kromik asit (g / l)	250	400
Sülfürik asit (g / l)	2,5	4
Banyo sıcaklığı (°C)	40 - 70	25 - 50
Akım yoğunluğu (A / dm ²)	16 - 40	8 - 20
Kaplama yöntemi	Sert krom kaplama	Dekoratif amaçlı krom kaplama

1.2.3. Krom Kaplama Koşulları

Elektrolitik krom kaplamada; kaplama hızını, kaplama kalınlığını ve kaplamanın görünümünü etkileyen faktörlerin başında çözeltinin kimyasal bileşimi, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu gelir [7].

Çözeltinin bileşimi ve katalizör miktarı özellikle kaplamanın sertliğini önemli ölçüde etkiler [10]. Yapılan çalışmalar [10] sonucunda çözeltideki krom oksit miktarı arttıkça kaplamanın sertliğinin azaldığı belirlenmiştir. Öte yandan, katalizör miktarının belirli değerlerin üzerine çıkarılması durumunda hem akım etkinliğinin, hem de kaplamanın sertliğinin azaldığı görülmüştür [10].

Krom kaplamada banyo sıcaklığı 35 °C ile 75 °C sınırları arasında seçilir [15]. Banyo sıcaklığının artırılması akım etkinliğini ve kaplama hızını azaltır [4,6]. Banyo sıcaklığı, ayrıca kaplamanın görünümünü de etkiler. Genelde, 35 °C ile 40 °C arasındaki banyo sıcaklıklarında ve 10 A/dm² ile 55 A/dm² arasındaki akım yoğunluklarında mat, 45 °C ile 60 °C arasındaki sıcaklıklarda ve aynı akım yoğunluklarında ise parlak kaplamalar elde edilir. Daha yüksek sıcaklıklarda yapılan kaplamalar ise süte benzer bir görünüm sergiler [15]. Diğer taraftan; yapılan çalışmalar [4,10,11,15] akım yoğunluğu arttıkça akım etkinliğinin, kaplama hızının ve kaplamanın sertliğinin arttığını ortaya koymuştur.

1.3. Literatürün Özeti ve Çalışmanın Amacı

Krom kaplamalar, hem mühendislik ve hem de dekoratif amaçlı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Krom kaplama esasta malzemeleri korozyona ve aşınmaya karşı korumak amacıyla yapılır. Krom kaplama, kromun sertliğinin, korozyon ve aşınma direncinin yüksek, sürtünme katsayısının düşük olmasından dolayı tercih edilmektedir. Motor sübap itecekleri, piston segmanları, silindir yuvaları gibi parçalar ile takım tezgahlarına ait pek çok eleman kullanım ömürlerinin artırılması için krom kaplanır.

Krom kaplama işleminde önce, kaplanacak parçanın yüzeyindeki yağ, kir ve pas gibi yabancı maddelerin mekanik, kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle temizlenmesi gerekir. Bu temizleme işlemi sayesinde kaplama tabakasının yüzeye iyi yapışması sağlanır.

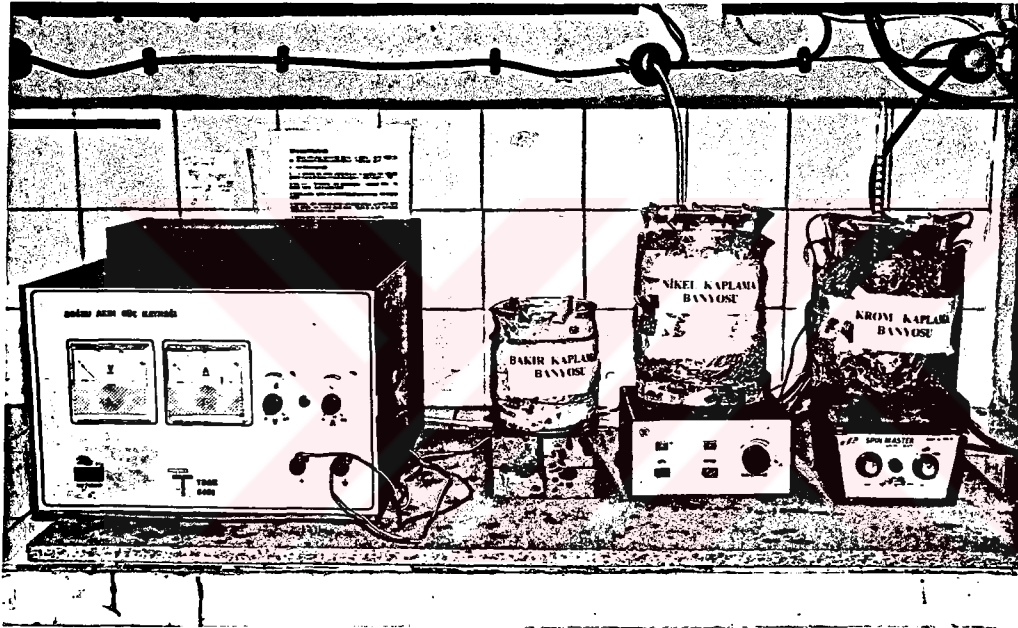
Krom kaplamada, kaplama kalitesini etkileyen işlem parametrelerinin başında çözeltinin kimyasal bileşimi, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu gelmektedir. Söz konusu parametreler, kaplama hızını, kaplamanın yapısını ve yüzey görünümünü etkiler. Kaplama hızı artan banyo sıcaklığı ile azalırken, artan akım yoğunluğu ile artar. Krom kaplamada parlak yüzeyler elde edilebilmek için banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu belirli sınırlar içersinde tutulur. Kaplama tabakasının sertliği artan banyo sıcaklığı ile artarken, artan akım yoğunluğu ile azalır.

Krom kaplamaların endüstriyel alanlarda kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Ancak, kaplama sırasında gaz kabarcığı ve leke oluşması, kaplama tabakasının yüzeye iyi yapışmaması ve kullanım sırasında kaplamanın soyularak dökülmesi gibi bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu durum, önemli ölçüde zaman ve para kaybına yol açmaktadır. Bu kayıpların en aza indirilmesi için kaplama kalitesinin iyi olması gerekir. Bu da kaplama kalitesini etkileyen parametrelerin iyi seçilmesi ve işlem sırasında kontrol edilmesi ile mümkün olabilir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı; banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu gibi parametrelerin krom kaplamanın özelliklerine etkilerini inceleyerek sağlam krom kaplama elde edebilmek için gerekli koşulları belirlemektir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kaplama Deneyinde Kullanılan Araç ve Gereçler

Krom kaplama deneyinde, cam beher, ısıtıcı, karıştırıcı, termometre, pH ölçer ve bir adet doğru akım güç kaynağı kullanılmıştır. Bu elemanlardan bazıları Şekil 1'deki fotoğrafta görülmektedir.



Şekil 1. Krom kaplama deneyinde kullanılan araç ve gereçler

2.2. Elektrolitik Yöntemle Krom Kaplama

2.2.1. Yüzey Temizleme İşlemi

Bu çalışmada ana malzeme olarak Fe37 standardına uygun ve normalize edilmiş durumda bulunan çelik kullanıldı. Söz konusu malzemeden talaşlı işlemle 30x30x8 mm boyutlarında hazırlanan kaplama örneklerinin yüzeyleri taşlandıktan sonra metalografik yöntemlerle parlatıldı. Parlatılan örnekler % 50'lik aseton - alkol karışımı içerisinde

ultrasonik yöntemle temizlendi. Bu işlemden sonra, örnekler kimyasal bileşimi Tablo 2’de verilen ve 93 °C sıcaklıkta tutulan anodik temizleme banyosunda 5 A/dm²’lik akım yoğunluğunda 30 saniye süreyle temizlendikten sonra kurulandı. Örnekler daha sonra oda sıcaklığında tutulan %10’luk H₂SO₄ (% 10 H₂SO₄ - saf su) çözeltisine 15 saniye süreyle daldırıldı ve saf suda yıkanarak kaplamaya hazır hale getirildi.

Tablo 2. Anodik temizleme banyosunun kimyasal bileşimi

Banyo bileşenleri	Bileşim oranı (g/l)
Sodyum karbonat (Na ₂ CO ₃)	40
Trisodyum fosfat (Na ₃ PO ₄ 12H ₂ O)	25
Sodyum hidroksit (NaOH)	10

2.2.2. Sert Krom Kaplama

Sert krom kaplama deneyi, kimyasal bileşimi Tablo 3’de verilen maddelerin saf suda çözündürülmesi ile hazırlanan 1500 ml’lik kaplama banyosunda yapıldı. Anot olarak % 11,13 oranında antimon içeren ve saflığı % 84,20 olan kurşun elektrot, katalizör olarak da sülfürik asit kullanıldı.

Tablo 3. Sert krom kaplama banyosunun kimyasal bileşimi

Banyo bileşenleri	Bileşim oranı (g/l)
Krom oksit (CrO ₃)	250
Sülfürik asit (H ₂ SO ₄)	2,5

Sert krom kaplama deneyleri; örneklerin 35 A/dm²’lik sabit akım yoğunluğunda 28, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 75 °C’lik banyo sıcaklıklarında ve sabit bir sıcaklıkta (55°C) 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70 A/dm²’lik akım oğunluklarında beşer saatlik sürelerde kaplanmasıyla gerçekleştirildi. Akım yoğunluğunun ve sıcaklığın sabit tutulan değerleri ilgili literatürden seçildi [3,11,13].

2.2.3. Dekoratif Amaçlı Krom Kaplama

Dekoratif amaçlı krom kaplamada örnekler önce bakır, bunun üzerine nikel daha sonra da krom kaplandı. Bakır kaplama deneyleri, kimyasal bileşimi Tablo 4’de verilen ve 50 °C sıcaklıkta tutulan siyanürlü bakır banyosunda 2,5 A/dm²’lik akım yoğunluğunda yapıldı. Anot olarak iki adet saf bakır elektrot kullanıldı ve on dakikalık kaplama süresi sonunda ortalama 6 µm kalınlığında kaplama elde edildi.

Tablo 4. Bakır kaplama banyosunun kimyasal bileşimi (x : Çözeltinin pH değerinin 12 olmasını sağlayan bileşim oranı)

Banyo bileşenleri	Bileşim oranı (g/l)
Bakır siyanür [Cu(CN) ₂]	25
Sodyum siyanür (NaCN)	30
Sodyum karbonat (Na ₂ CO ₃)	15
Sodyum hidroksit (NaOH)	x

Nikel kaplama deneyleri ise kimyasal bileşimi Tablo 5’de verilen ve pH değeri 4 olan 1800 ml’lik Watts banyosunda [13] yapıldı. Anot olarak % 99,0 saflıkta iki adet nikel elektrot kullanıldı ve oluşan tortuların banyoya karışmaması için bu elektrotlar bez torba içerisinde tutuldu. Kaplama deneyleri 60 °C sıcaklıkta tutulan banyoda 4 A/dm²’lik akım yoğunluğunda yirmişer dakikalık kaplama sürelerinde yapıldı ve her örnekte ortalama 12 µm kalınlığında kaplama tabakası elde edildi.

Bakır ve nikel kaplanan örnekler % 50’lik aseton - alkol karışımı içerisinde 15 dakika süreyle ultrasonik yöntemle temizlendikten sonra % 10’luk H₂SO₄ çözeltisi içerisine 15 saniye süreyle daldırıldı. Önce saf su, daha sonra da alkolle yıkanan örnekler, kimyasal bileşimi Tablo 6’da verilen çözelti içerisinde dekoratif amaçlı krom kaplama işlemine tabi tutuldu.

Dekoratif amaçlı krom kaplama deneyleri örneklerin 15 A/dm²’lik sabit akım yoğunluğunda 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 ve 60 °C’lik banyo sıcaklıklarında ve sabit bir sıcaklıkta (40°C) 10, 12,5, 15, 17,5, 20, 22,5 ve 25 A/dm²’lik akım yoğunluklarında birer saat süreyle kaplanmaları suretiyle gerçekleştirildi. Akım yoğunluğunun ve banyo

sıcaklığının sabit tutulan değerleri önceki çalışmalardan [3,11,13] elde edilen sonuçlardan seçildi.

Tablo 5. Nikel kaplama banyosunun kimyasal bileşimi

Banyo bileşenleri	Bileşim oranı (g/l)
Nikel sülfat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	250
Nikel klörür ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	45
Borik asit (H_3BO_3)	45

Tablo 6. Dekoratif amaçlı krom kaplama banyosunun kimyasal bileşimi

Banyo bileşenleri	Bileşim oranı (g/l)
Krom oksit (CrO_3)	400
Sülfürik asit (H_2SO_4)	4

2.3. Kaplama Kalınlığı ve Kaplama Hızının Belirlenmesi

Kaplama kalınlıklarının belirlenmesi için, örneklerin kaplamadan önceki ve sonraki kalınlıkları $\pm 1 \mu\text{m}$ hassasiyetindeki bir dijital mikrometre ile ölçüldü. Kaplama sırasında örneklerin her iki yüzeyi de kaplandığından, mikrometreden okunan değer ikiye bölünerek kaplama kalınlığı hesaplandı. Kaplama hızı ise, toplam kaplama kalınlığının kaplama süresine bölünmesi ile belirlendi.

2.4. Kaplanan Örneklerinin İncelenmesi

2.4.1. Kaplanan Parçaların Metalografik Yöntemle İncelenmesi

Kaplamanın yüzeyini ve kaplama tabakasının ana metale yapışma durumunu incelemek için standart metalografi yöntemiyle hazırlanan örnekler, önce ışık mikroskopunda, daha sonrada taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelendi.

2.4.2. Kaplama Tabakasının Sertliğinin Ölçümü

Kaplama tabakasının sertliği Vickers mikrosertlik ölçüm yöntemi ile belirlendi. Sert krom kaplama tabakasının sertliğinin ölçümünde 50 g, dekoratif amaçlı krom kaplama tabakasının sertliğinin ölçümünde ise 20 g'lık yük kullanıldı. Kaplama tabakasının değişik bölgelerinde beş ölçüm yapıldı ve okunan değerlerin ortalaması alınarak mikrosertlik değerleri belirlendi.

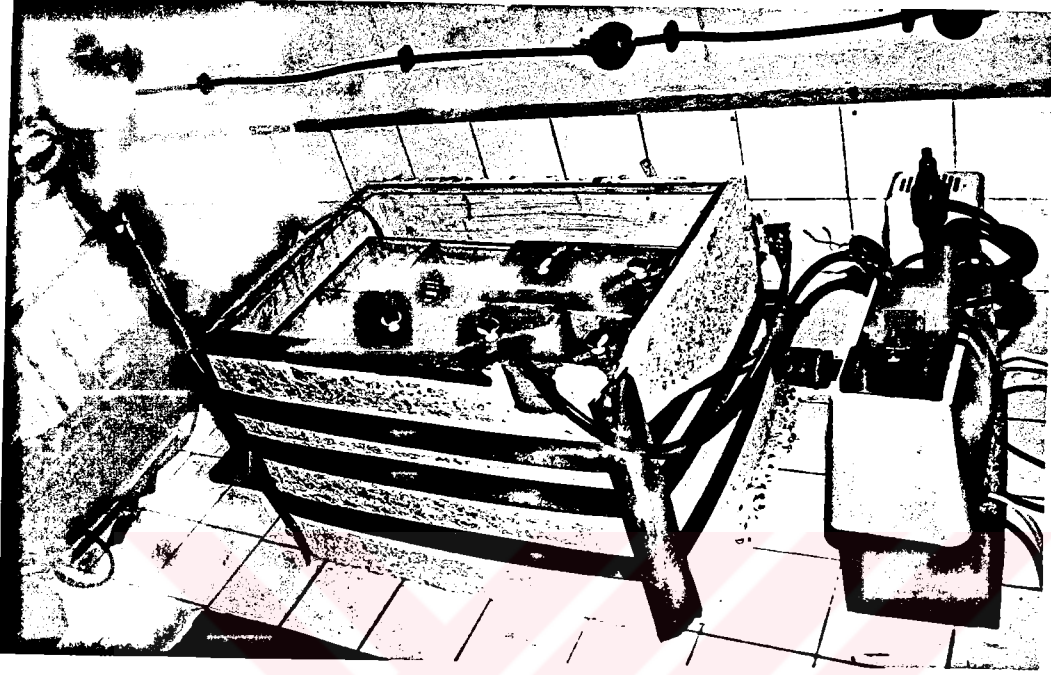
2.4.3. Kaplama Örneklerinin Çekme Deneyi

Krom kaplamanın ana malzemenin bazı mekanik özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla, 10x50 TS 138A normuna uygun çekme örnekleri hazırlandı. Hazırlanan örnekler 45 °C sıcaklıkta ve 45 A/dm²'lik akım yoğunluğunda beşer saat süreyle kaplanarak 170 µm kalınlığında kaplama tabakası elde edildi. Kaplanan örnekler daha sonra 0,5 mm/s çene hızında çekme deneyine tabi tutularak mukavemet ve süneklik değerleri belirlendi.

2.4.4. Kaplanan Örneklerin Korozyon Deneyi

Kaplanmamış örnekler ile hem sert, hem de dekoratif amaçlı krom kaplanmış örnekler % 1'lik HCl (%1 HCl - su) çözeltisi içerisinde korozyon deneyine tabi tutuldu. Söz konusu deneylerde fotoğrafı Şekil 2'de verilen deney düzeneği kullanıldı. Deney düzeneğinin cam kaplarında bulunan korozyon ortamı bu kapların etrafında sıcak su dolandırmak suretiyle ısıtıldı. Suyu ısıtmak için ± 2 °C hassasiyetine sahip bir termostat ve termometre yardımıyla kontrol edilen elektrikli bir ısıtıcı kullanıldı. Korozyon ortamının kimyasal bileşiminin deney sırasında meydana gelen buharlaşma nedeniyle değişmemesi için söz konusu ortamın bulunduğu bölmeler cam kapaklarla kapatıldı. Örnekler plastik kaplı tel ile cam kapaklara asılarak korozyon ortamına daldırıldı.

Korozyon deneyleri 40 °C sıcaklıkta tutulan %1'lik HCl asit çözeltisi içerisinde 45 saat süreyle yapıldı. Belirli süreler sonunda örnekler ± 0,01 g hassasiyetine sahip terazilerde tartılarak, korozyon nedeniyle meydana gelen kütle kayıpları belirlendi.



Şekil 2. Korozyon deney düzeneği

3. BULGULAR

3.1. Sert Krom Kaplama İle İlgili Bulgular

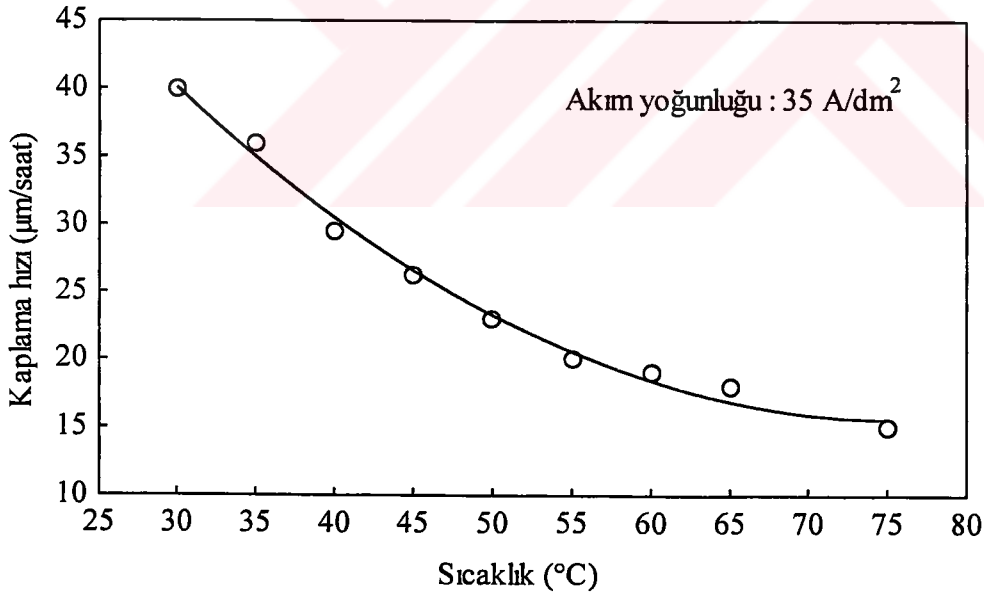
3.1.1. Banyo Sıcaklığının Sert Krom Kaplamanın Yapı ve Özelliklerine Etkisi

Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında sert krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları Tablo 7’de ve kaplama hızının banyo sıcaklığına göre değişimini gösteren eğri ise Şekil 3’de verilmiştir. Bu şekilden; kaplama hızının artan banyo sıcaklığı ile azaldığı görülmektedir. Ancak, söz konusu azalma doğrusal nitelikte değildir. Tablo 7’de belirtilen koşullarda krom kaplanan örneklerin fotoğrafı Şekil 4’de görülmektedir. Bu şekil, banyo sıcaklığının kaplamanın yüzey görünümü üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. 45 °C ve 50 °C’lik banyo sıcaklıklarında krom kaplanan örneklerin yüzeyleri parlak, diğer sıcaklıklarda kaplanan örneklerin yüzeyleri ise mat görünüm sergilemektedir. Taramalı elektron mikroskopunda yapılan incelemeler sonucunda banyo sıcaklığının kaplamanın yüzey görünümü üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Şöyle ki; 50 °C sıcaklıkta yapılan kaplamanın yüzeyinde çatlaklar ve kubbe biçiminde çökeltiler oluşurken, 75 °C gibi yüksek sıcaklıkta yapılan kaplamanın daha homojen olduğu ve daha az çatlak içerdiği görüldü. Bu sıcaklıklarda krom kaplanan örneklerin fotoğrafları Şekil 5 ve Şekil 6’da görülmektedir.

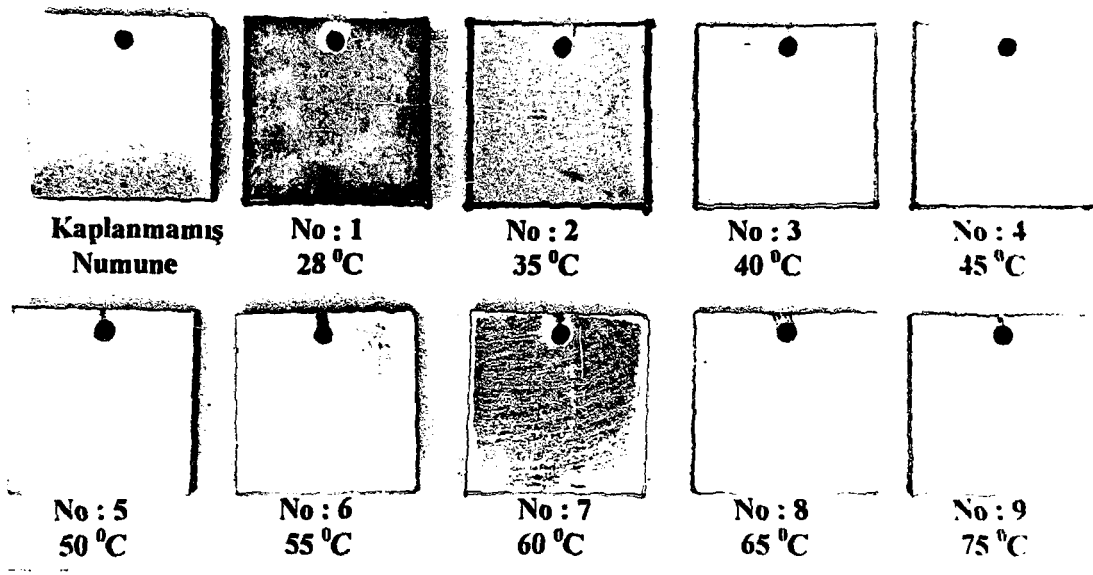
Metalografik kesitler üzerinde yapılan incelemelerde ise krom kaplama tabakasının çelik malzemeye iyi yapıştığı gözlemlendi ve yapışma ara yüzey çizgisi boyunca herhangi bir ayrılma belirtisine rastlanmadı. 45 °C’lik banyo sıcaklığında krom kaplanan örneğin kesiti bu durumu göstermektedir, Şekil 7. Diğer taraftan, farklı banyo sıcaklıklarında kaplanan örneklerin farklı sertliğe sahip oldukları görüldü. Krom kaplanan örneklerin mikrosertlik değerleri Tablo 8’de ve kaplama sertliğinin sıcaklığa göre değişimini gösteren eğri de Şekil 8’de verilmiştir. Bu şekilden; kaplama tabakasının sertliğinin artan sıcaklıkla azaldığı görülmektedir.

Tablo 7. Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında sert krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları

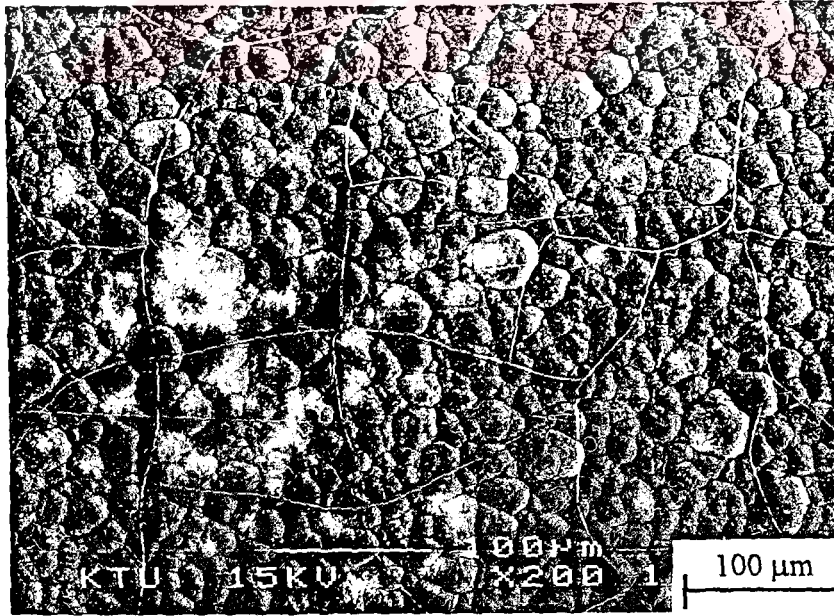
Örnek numarası	Banyo sıcaklığı (°C)	Kaplama hızı ($\mu\text{m/saat}$)
1	30	40
2	35	36
3	40	29,6
4	45	26,4
5	50	23
6	55	20
7	60	19
8	65	18
9	75	15



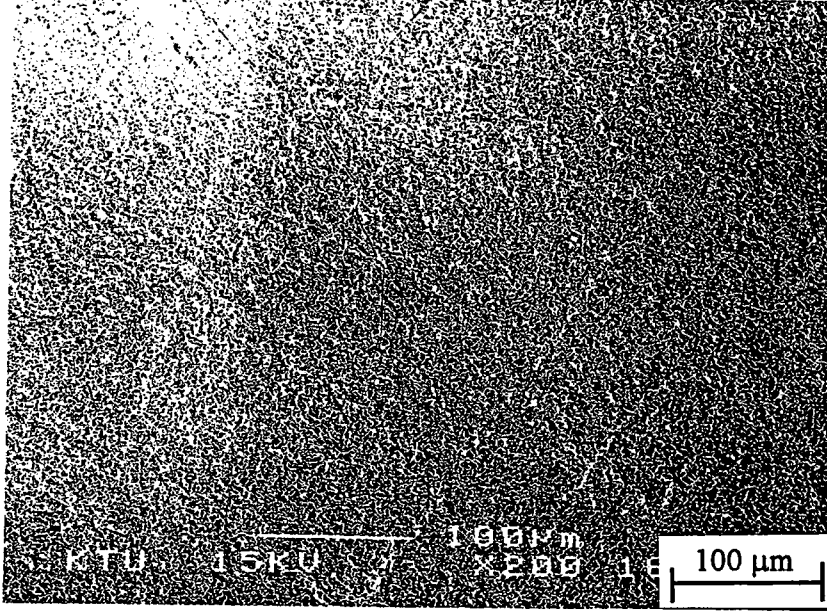
Şekil 3. Sert krom kaplama hızının banyo sıcaklığına göre değişimi



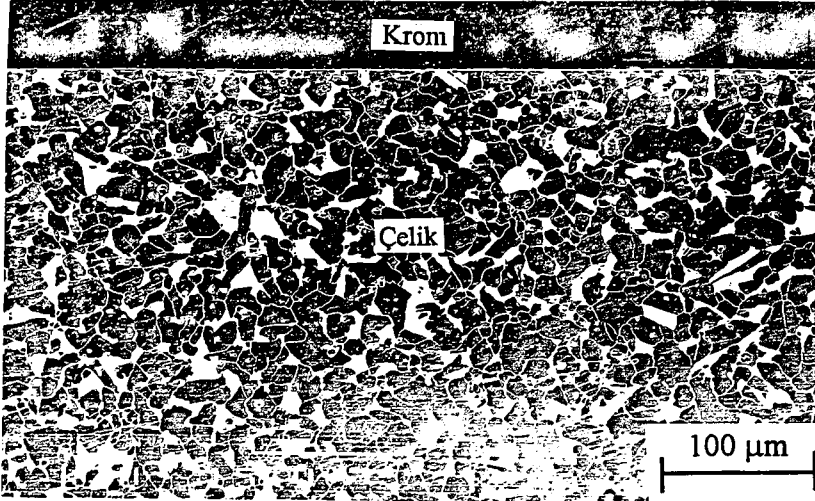
Şekil 4. Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında sert krom kaplanan örneklerin fotoğrafı



Şekil 5. 50 °C'lik banyo sıcaklığında sert krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü



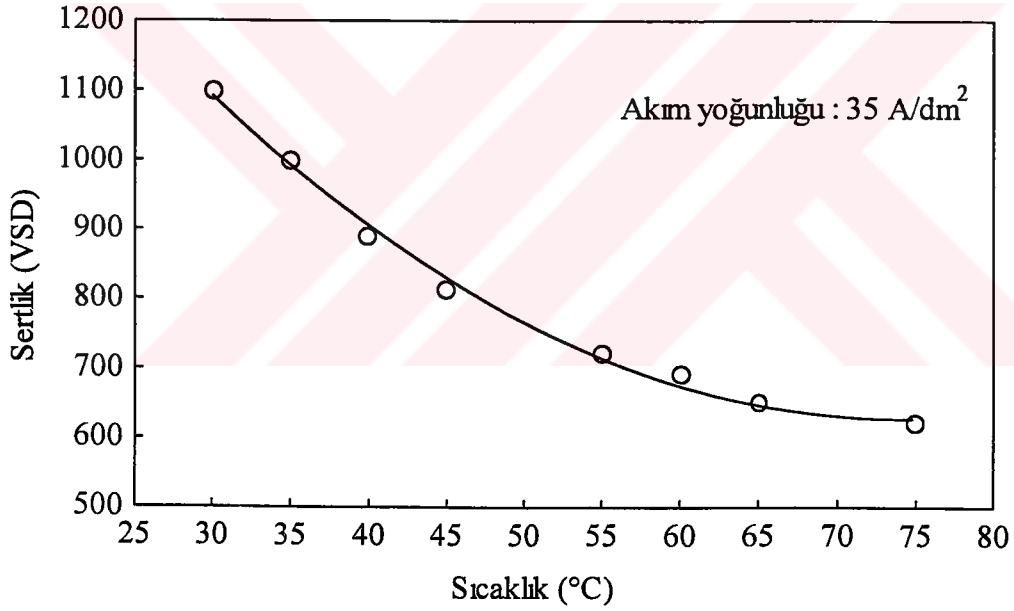
Şekil 6. 75 °C'lik banyo sıcaklığında sert krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü



Şekil 7. 45 °C'lik banyo sıcaklığında sert krom kaplanan örneğin kaplama tabakası ile esas malzemeyi ayıran ara yüzey çizgisinin görünümü

Tablo 8. Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında sert krom kaplanan örneklerin kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri

Banyo sıcaklığı (°C)	Kaplama tabakasının sertliği (VSD)
30	1100
35	1000
40	890
45	815
55	720
60	690
65	650
75	630



Şekil 8. Banyo sıcaklığının sert krom kaplamanın sertliğine etkisini gösteren eğri

3.1.2. Akım Yoğunluğunun Sert Krom Kaplamanın Yapı ve Özelliklerine Etkisi

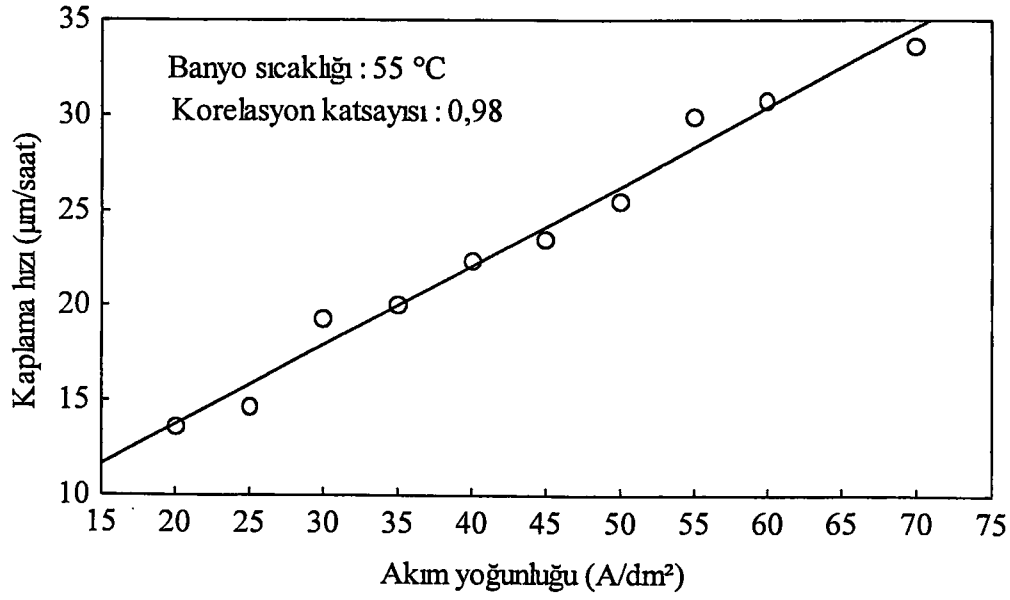
Sabit sıcaklık ve farklı akım yoğunluklarında elde edilen kaplama hızları Tablo 9'da, kaplama hızının akım yoğunluğuna göre değişimi ise Şekil 9'da verilmiştir. Bu şekil kaplama hızının artan akım yoğunluğu ile doğru orantılı arttığını göstermektedir.

Sabit banyo sıcaklığı ve farklı akım yoğunluklarında krom kaplanan örneklerin fotoğrafı Şekil 10'da verilmiştir. Bu şekilden 20 A/dm² ve 45 A/dm²'lik akım yoğunluklarında sert krom kaplanan örneklerin yüzeylerinin oldukça parlak, diğer akım yoğunluklarında kaplanan örneklerin bazılarının kısmen, bazılarının da tamamen mat oldukları görülmektedir. Mikroskop altında yapılan incelemeler de akım yoğunluğunun kaplamanın görünümünü üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Nitekim; akım yoğunluğu azaldıkça kaplamanın yüzeyinde kubbe biçiminde çökletiler ile çatlakların oluştuğu görüldü. Bu durum 45 A/dm² ve 70 A/dm²'lik akım yoğunluklarında krom kaplanan örneklerin fotoğrafında görülmektedir, Şekil 11 ve Şekil 12.

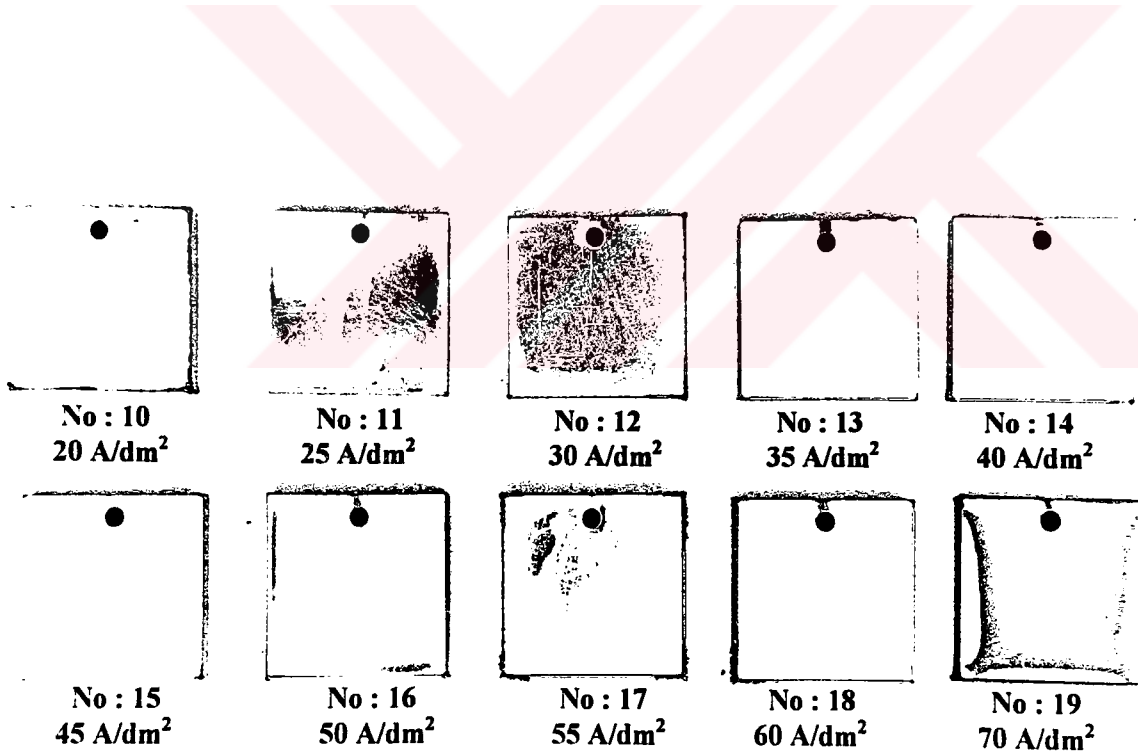
Kaplamalardan alınan kesitler üzerinde yapılan metalografik incelemelerde ise krom kaplama tabakasının çelik malzemeye iyi yapıştığı gözlemlendi ve yapışma ara yüzey çizgisi boyunca herhangi bir boşluğa rastlanmadı. Ancak, akım yoğunluğu arttıkça örneklerin kenar ve köşelerinde oluşan birikintilerin artması nedeniyle kaplama kalınlığının değiştiği belirlendi. Bu durum 50 A/dm²'lik akım yoğunluğunda kaplanan örneğin kesitine ait fotoğrafta görülmektedir, Şekil 13.

Tablo 9. Sabit sıcaklık ve farklı akım yoğunluklarında sert krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları

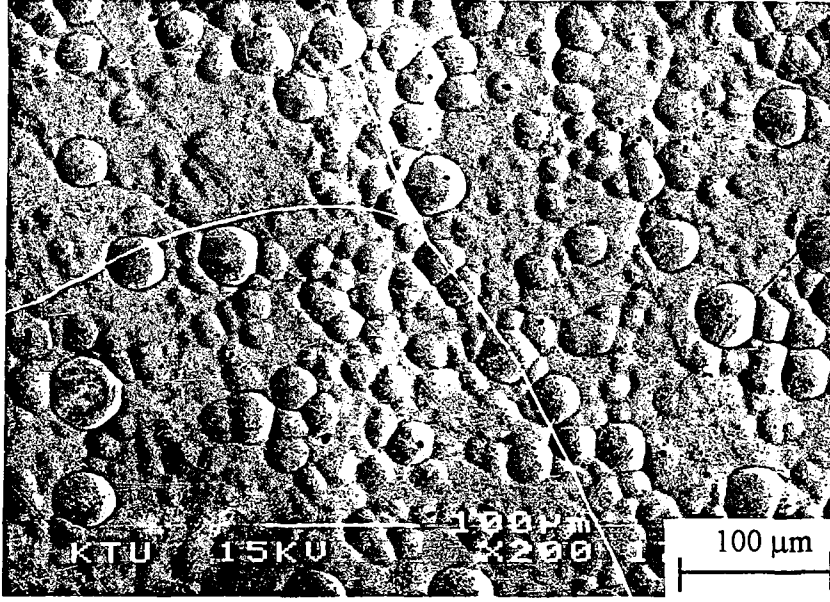
Örnek numarası	Akım yoğunluğu (A/dm ²)	Kaplama hızı (µm/saat)
10	20	13,6
11	25	14,6
12	30	19,2
13	35	20
14	40	22,4
15	45	23,6
16	50	25,6
17	55	30
18	60	30,8
19	70	33,6



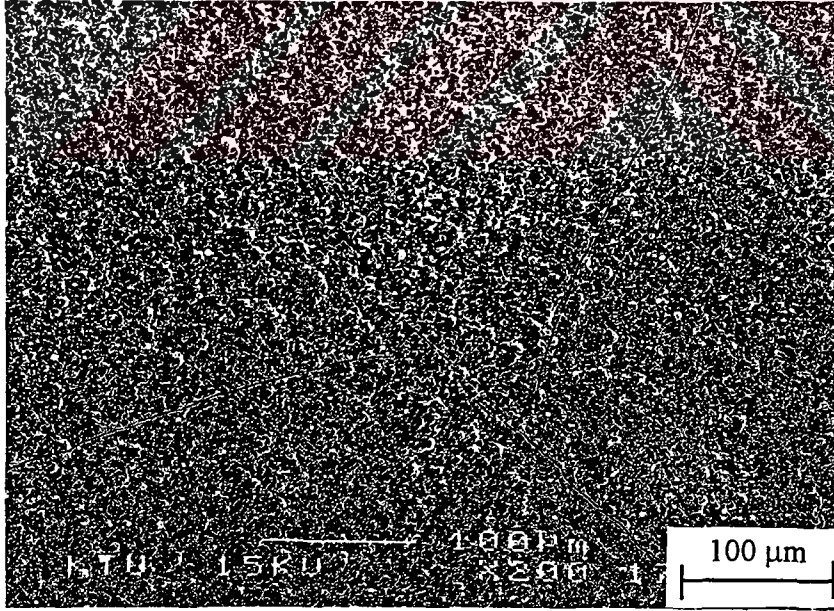
Şekil 9. Sert krom kaplama hızının akım yoğunluğuna göre değişimi



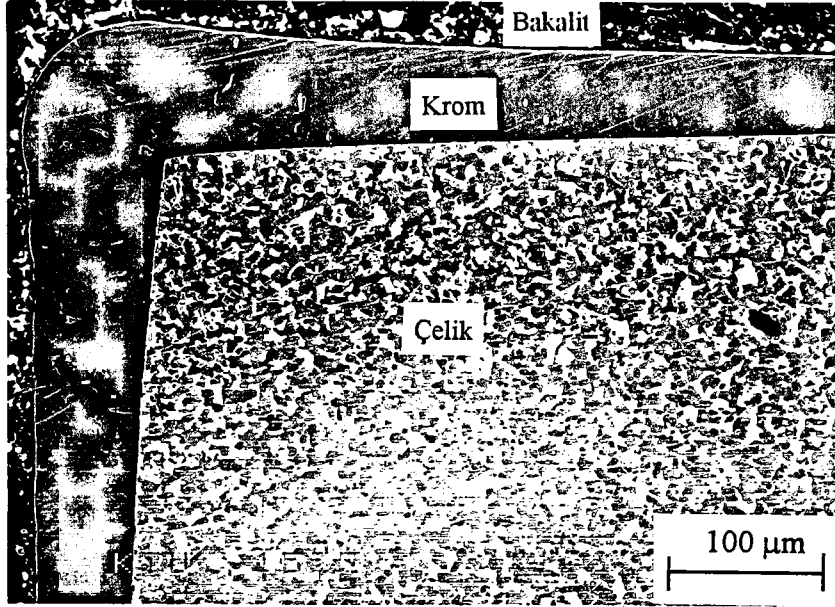
Şekil 10. 55 °C'lik sabit sıcaklıkta ve farklı akım yoğunluklarında sert krom kaplanan örneklerin fotoğrafı



Şekil 11. 45 A/dm²'lik akım yoğunluğunda sert krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü



Şekil 12. 70 A/dm²'lik akım yoğunluğunda sert krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü

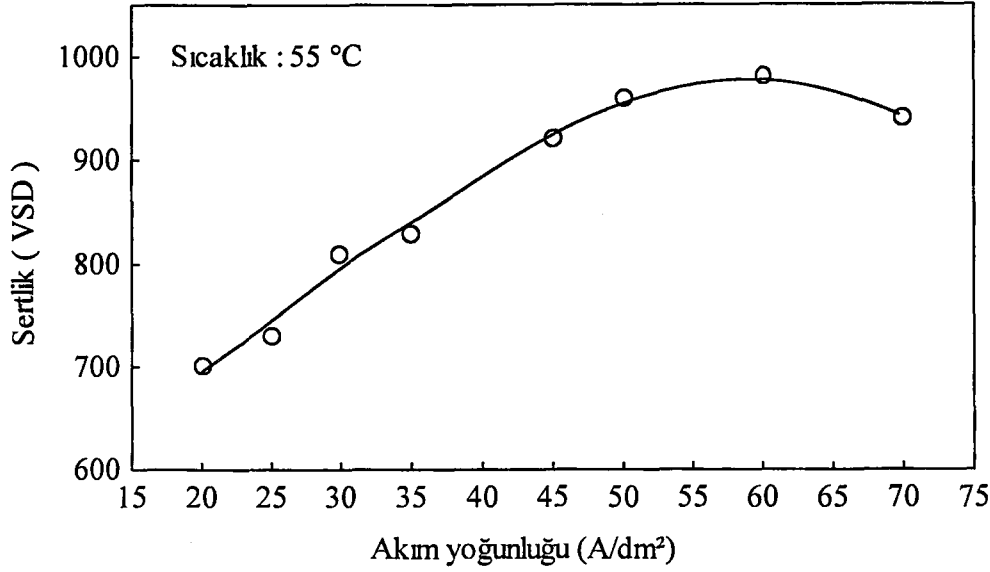


Şekil 13. 50 A/dm²'lik akım yoğunluğunda sert krom kaplanan örneğin kesitinin görüntüsü

Farklı akım yoğunluklarında sert krom kaplanan örneklerin sertlikleri Tablo 10'da, kaplamanın sertliğinin akım yoğunluğuna göre değişimini gösteren eğri de Şekil 14'de verilmiştir. Bu sonuçlar kaplamanın sertliğinin artan akım yoğunluğu ile arttığını göstermektedir.

Tablo 10. Sabit sıcaklık (55 °C) ve farklı akım yoğunluklarında sert krom kaplanan örneklerin kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri

Akım yoğunluğu (A/dm ²)	Kaplama tabakasının sertliği (VSD)
20	700
25	730
30	810
35	830
45	920
50	960
60	980
70	940



Şekil 14. Akım yoğunluğunun sert krom kaplamanın sertliğine etkisi gösteren eğri

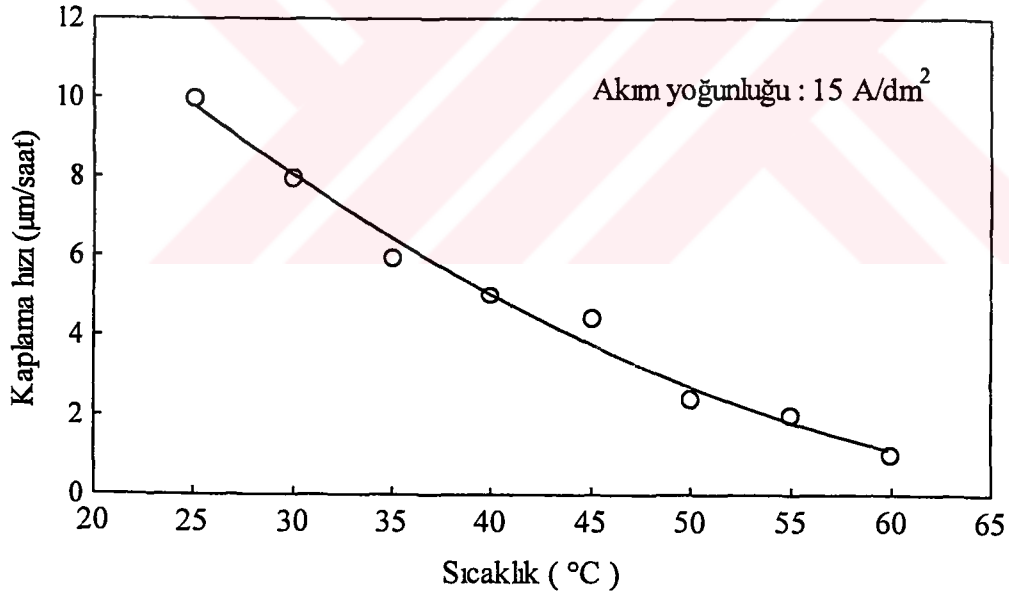
3.2. Dekoratif Amaçlı Krom Kaplama İle İlgili Bulgular

3.2.1. Banyo Sıcaklığının Dekoratif Amaçlı Kaplamanın yapı ve Özelliklerine Etkisi

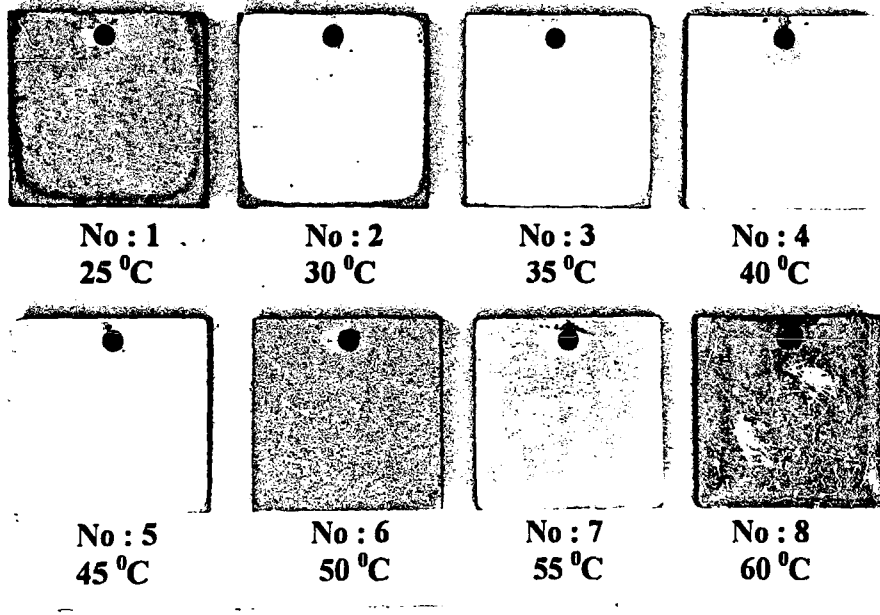
Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örnekler için kaplama hızları Tablo 11'de ve kaplama hızının banyo sıcaklığına göre değişimini gösteren eğri ise Şekil 15'de verilmiştir. Bu şekildeki eğriden, kaplama hızının banyo sıcaklığı ile hemen hemen ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Değişik banyo sıcaklıklarında akım yoğunluğu sabit tutularak yapılan dekoratif amaçlı krom kaplamaların fotoğrafı Şekil 16'da verilmiştir. Bu şekilde 30, 35, 40 ve 45 °C'lik banyo sıcaklıklarında yapılan kaplamaların yüzeylerinin parlak, diğer sıcaklıklarda yapılan kaplamaların yüzeylerinin ise mat olduğu görülmektedir. Taramalı elektron mikroskopu ile yapılan incelemelerde, banyo sıcaklığının kaplamanın tane boyutunu fazla etkilemediği görüldü. Söz konusu durum, 25 °C ve 55 °C'lik banyo sıcaklıklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin fotoğraflarında görülmektedir, Şekil 17 ve Şekil 18.

Tablo 11. Farklı banyo sıcaklıklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları

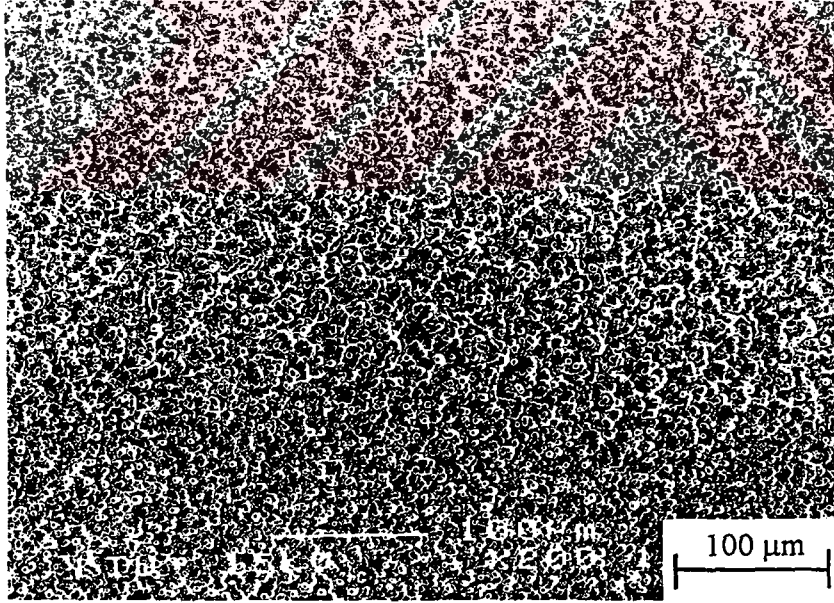
Örnek numarası	Banyo sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Kaplama hızı ($\mu\text{m/saat}$)
1	25	10
2	30	8
3	35	6
4	40	5
5	45	4,4
6	50	2,4
7	55	2
8	60	1



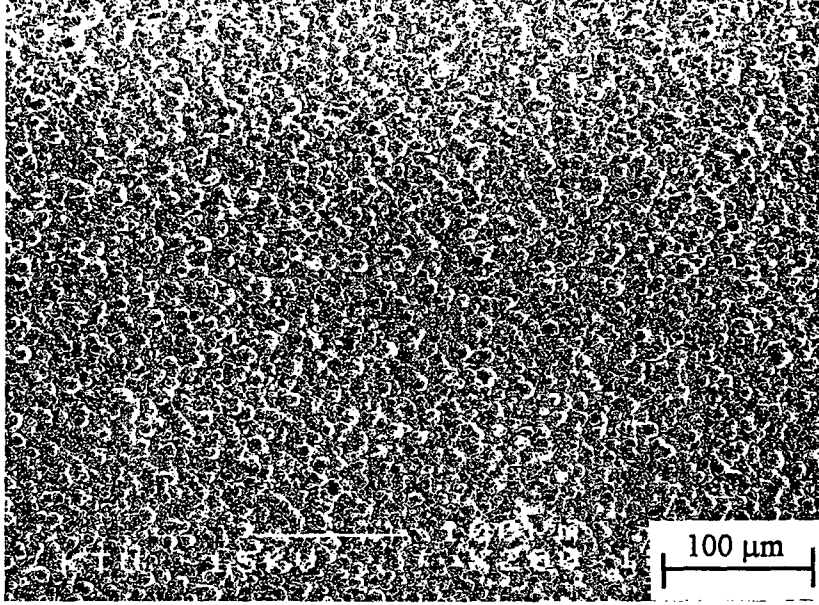
Şekil 15. Dekoratif amaçlı krom kaplama hızının banyo sıcaklığına göre değişimi



Şekil 16. Farklı banyo sıcaklıklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin fotoğrafı



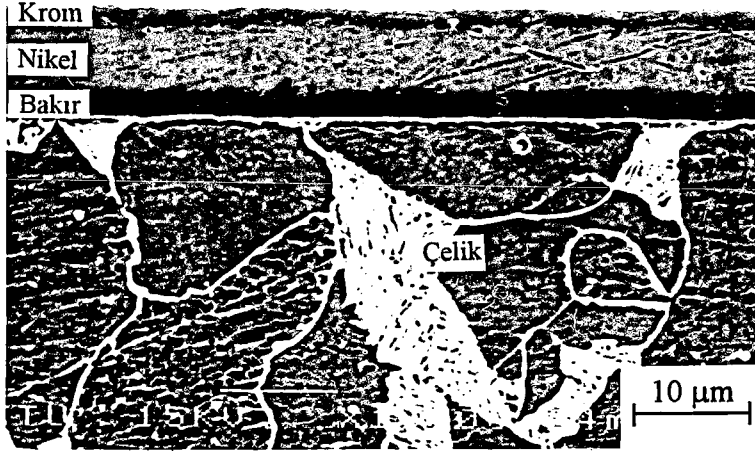
Şekil 17. 25 °C'lik banyo sıcaklığında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü



Şekil 18. 55 °C'lik banyo sıcaklığında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneğin yüzeyinin görünümü

Metolagrafik kesitler üzerinde yapılan incelemelerde, kaplama tabakaları arasında ara yüzey çizgileri boyunca herhangi bir boşluk veya ayrılmaya rastlanmadı. Bu durum, 40 °C'lik banyo sıcaklığında krom kaplanan örneğin kesitinden elde edilen fotoğrafta da görülmektedir, Şekil 19.

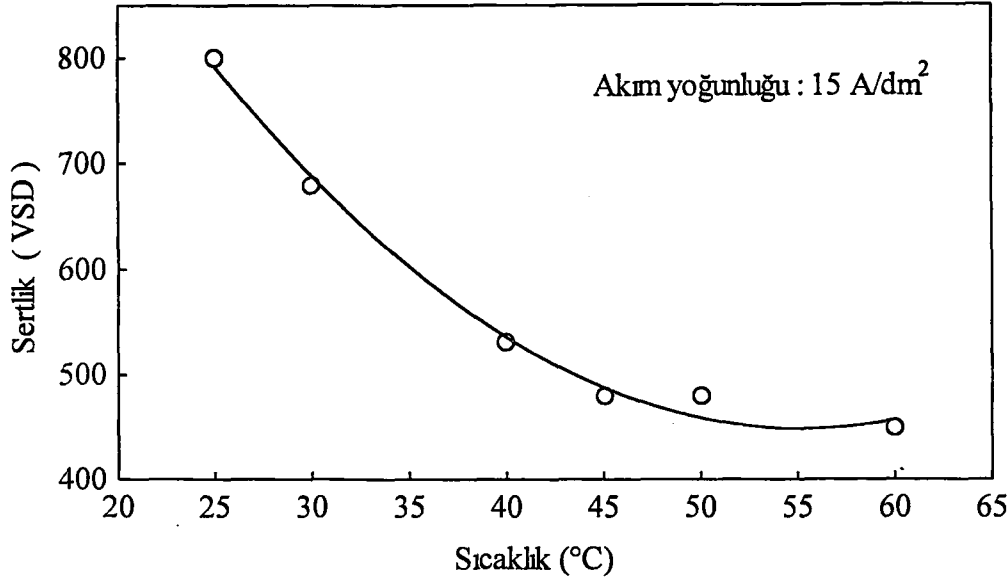
Değişik sıcaklıklarda kaplanan örneklerin kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri Tablo 12'de, kaplama sertliğinin banyo sıcaklığına göre değişimini gösteren eğri ise Şekil 20'de verilmiştir. Söz konusu şekilde görüldüğü gibi, krom kaplama tabakasının sertliği artan banyo sıcaklığı ile azalmakta, ancak sıcaklık arttıkça azalma hızı düşmektedir.



Şekil 19. 40 °C 'lik sıcaklıkta dekoratif amaçlı krom kaplanan örnekte, kaplama tabakaları ile esas malzemeyi ayıran ara yüzey çizgilerinin görünümü

Tablo 12. Sabit akım yoğunluğu ve farklı banyo sıcaklıklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri

Banyo sıcaklığı (°C)	Kaplama tabakasının sertliği (VSD)
25	800
30	680
40	530
45	480
50	480
60	450



Şekil 20. Banyo sıcaklığının dekoratif amaçlı krom kaplamanın sertliğine etkisini gösteren eğri

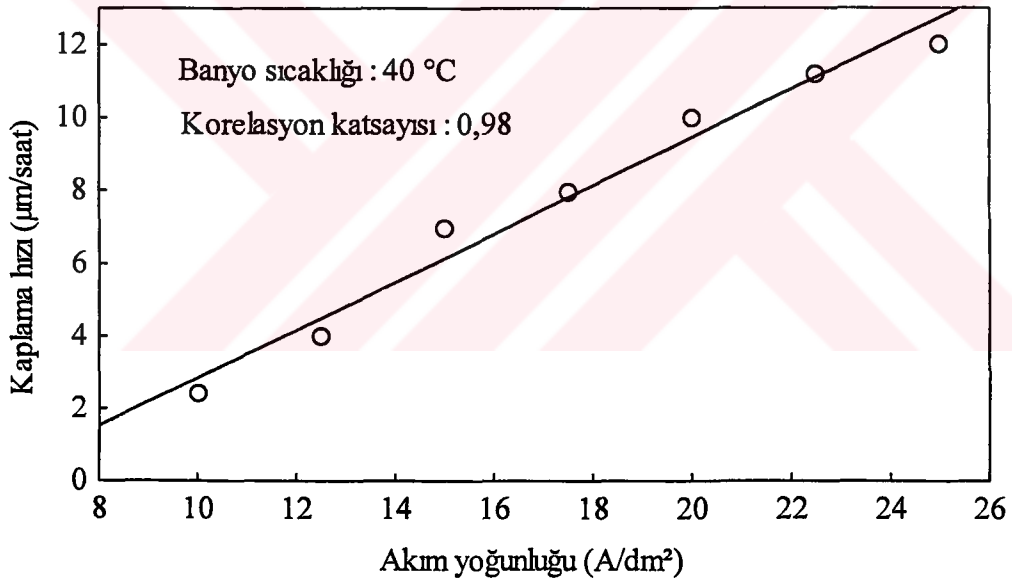
3.2.2. Akım Yoğunluğunun Dekoratif Amaçlı Krom Kaplamanın Yapı ve Özelliklerine Etkisi

Sabit banyo sıcaklığı ve farklı akım yoğunluklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları Tablo 13'de, kaplama hızının akım yoğunluğuna göre değişimini gösteren eğri ise Şekil 21'de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi; kaplama hızı artan akım yoğunluğu ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Söz konusu koşullarda krom kaplanan örneklerin fotoğrafı ise Şekil 22'de görülmektedir. Bu şekilden; 15 A/dm^2 , $17,5 \text{ A/dm}^2$ ve 20 A/dm^2 'lik akım yoğunluklarında yapılan kaplamaların yüzeylerinin parlak, diğer akım yoğunluklarında yapılan kaplamaların yüzeylerinin ise mat olduğu görülmektedir.

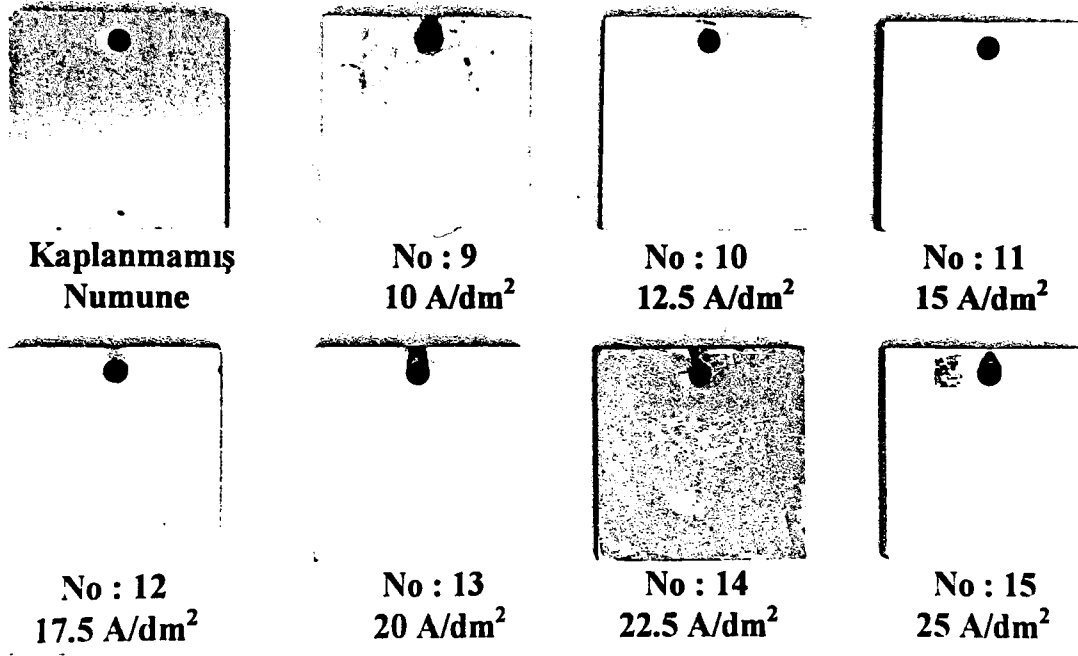
Mikroskop altında yapılan yüzey incelemelerinde, akım yoğunluğu arttıkça tane boyutunun azaldığı ve kaplama yüzeyinin daha düzgün bir görünüm kazandığı belirlendi. Bu durum, $12,5 \text{ A/dm}^2$ ve 20 A/dm^2 'lik akım yoğunluklarında krom kaplanan örneklerin fotoğraflarında da görülmektedir, Şekil 23 ve Şekil 24. Diğer taraftan, farklı akım yoğunluklarında krom kaplanan örneklerin kaplama tabakasının mikrosertlik değerleri Tablo 14'de, kaplamanın sertliğinin akım yoğunluğuna göre değişimini gösteren eğri ise Şekil 25'de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi; akım yoğunluğu arttıkça kaplamanın sertliği artmakta, ancak sertliğin artış hızı azalmaktadır.

Tablo 13. Sabit sıcaklık ve farklı akım yoğunluklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklere ait kaplama hızları

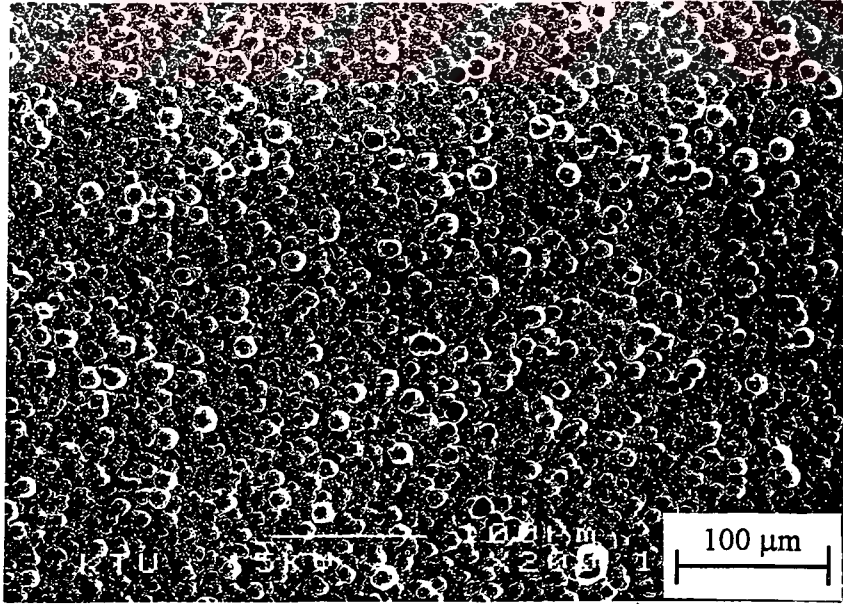
Örnek numarası	Akım yoğunluğu (A/dm ²)	Kaplama hızı (µm/saat)
9	10	2,4
10	12,5	4
11	15	7
12	17,5	8
13	20	10
14	22,5	11,2
15	25	12



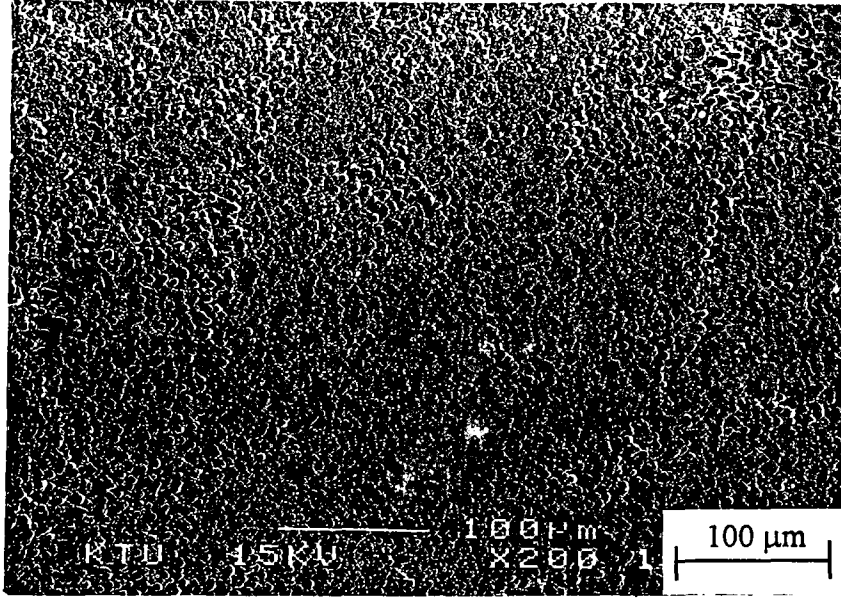
Şekil 21. Dekoratif amaçlı krom kaplama hızının akım yoğunluğuna göre değişimi



Şekil 22. Farklı akım yoğunluklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin fotoğrafı



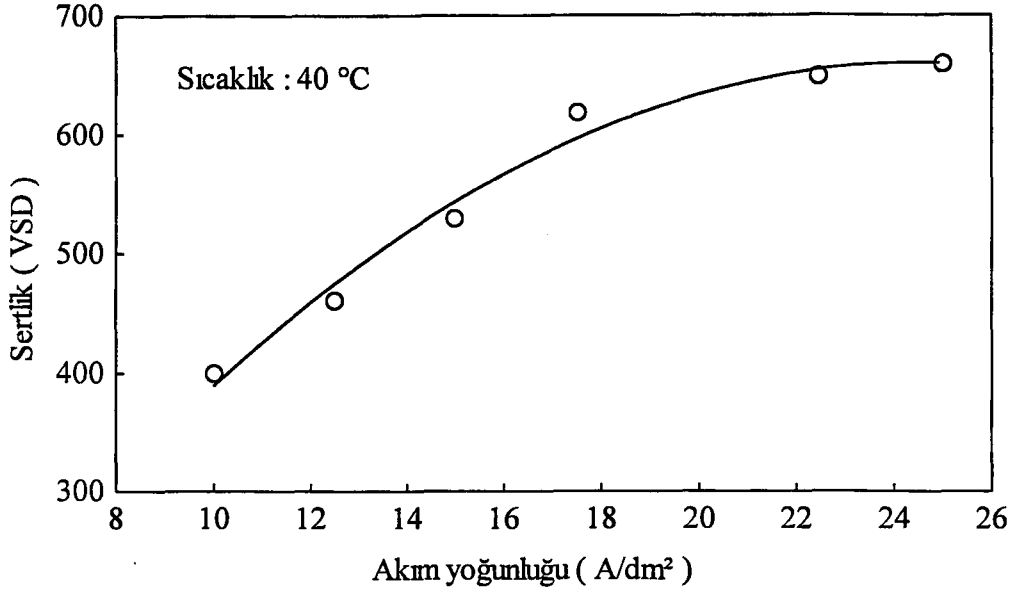
Şekil 23. 12,5 A/dm²'lik akım yoğunluğunda yapılan dekoratif amaçlı krom kaplamanın yüzey görünümü



Şekil 24. 20 A/dm²'lik akım yoğunluğunda yapılan dekoratif amaçlı krom kaplamanın yüzey görünümü

Tablo 14. Sabit banyo sıcaklığı ve farklı akım yoğunluklarında dekoratif amaçlı krom kaplanan örneklerin, kaplama tabakalarının mikrosertlik değerleri

Akım yoğunluğu (A/dm ²)	Kaplama tabakasının sertliği (VSD)
10	400
12,5	460
15	530
17,5	620
22,5	650
25	660



Şekil 25. Akım yoğunluğunun dekoratif amaçlı krom kaplamanın sertliğine etkisini gösteren eğri

3.4. Çekme Deneyinden Elde Edilen Bulgular

Krom kaplanan ve kaplanmayan örneklerin çekme deneyi sonucunda belirlenen akma ve çekme dayanımları Tablo 15'de verilmiştir. Bu tablodan, örneklerin akma ve çekme dayanımlarının kaplamadan fazla etkilenmediği görülmektedir. Ancak, uygulanan çekme gerilmesinin yaklaşık 300 N/mm² değerini aşmasından sonra örneklerin kaplama tabakasında çatlama ve soyulmaların meydana geldiği görüldü.

Tablo 15. Sert krom kaplanan örneklerin akma ve çekme dayanımları

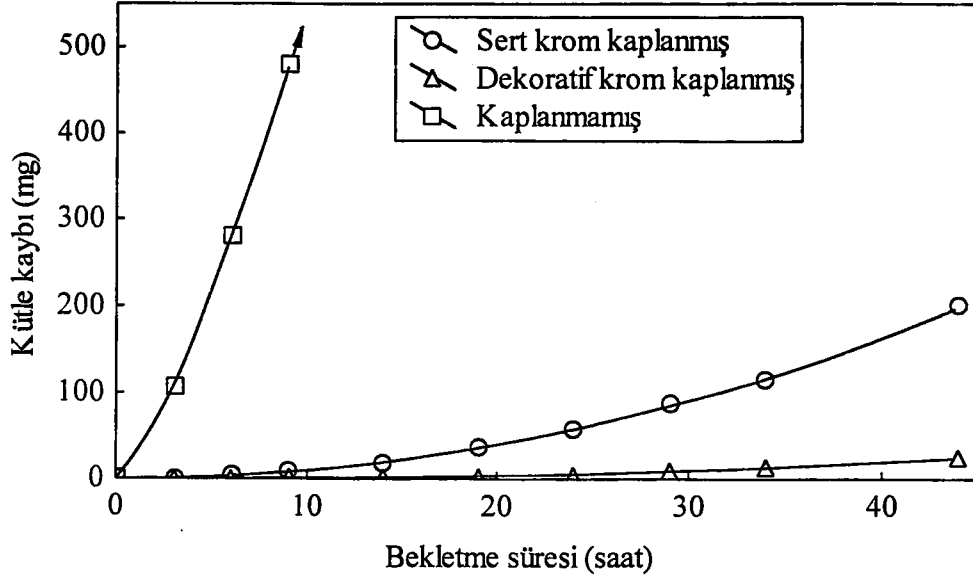
Örnek	Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)	Kopma büzülmesi (%)
Kaplanmamış	290	478	35	67
Krom kaplanmış	285	489	34	65

3.5. Korozyon Deneyinden Elde Edilen Bulgular

Korozyon nedeniyle örneklerde meydana gelen kütle kayıpları Tablo 16'da, kütle kayıplarının bekleme süresine göre değişimlerini gösteren eğri ise Şekil 26'da verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi, bekleme süresi arttıkça örneklerde meydana gelen kütle kaybı artmaktadır. Kaplanmamış örnekte kaplanmış örneklere göre çok daha fazla kütle kaybı meydana geldiği gözlemlendi. Bu nedenle, kaplanmamış örnekte yalnız 10 saat'lik bekleme süresi sonunda ölçülen kütle kaybı gösterilmiştir. Bu süre sonunda söz konusu örnekte 500 mg'lık bir kütle kaybı meydana gelirken, sert ve dekoratif amaçlı örneklerde ise 10 mg'dan daha az kütle kayıplarının meydana geldiği belirlendi.

Tablo 16. Örneklerde korozyonla meydana gelen kütle kayıpları

Zaman (saat)	Kütle kaybı (mg)		
	Kaplanmamış	Sert krom kaplanmış	Dekoratif krom kaplanmış
0	0	0	0
3	107	0,7	0,5
6	282	3,8	1,1
9	494	8,6	1,7
14	703	18,9	2,1
19	1263	36,8	3,4
24	1572	57,2	5,2
29	1858	87,7	9,3
34	2105	115	13,3
44	2379	200	24,7



Şekil 26. %1'lik HCl asit çözeltisi içerisinde bekletilen örneklerde meydana gelen kütle kaybının bekleme süresine göre değişimi



4. İRDELEME

Bu çalışmada, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğunun kaplama hızını etkileyen en önemli faktörler olduğu görüldü. Bu durum, elektroliz sırasında banyoda oluşan hidrojen ve oksijen iyonlarının miktarında meydana gelen değişime göre açıklanabilir [10]. Şöyle ki; elektroliz sırasında banyoda oluşan hidrojen iyonlarının katoda, oksijen iyonlarının ise anoda doğru hareket etmesi sonucunda katotda hidrojen, anotda ise oksijen iyonu konsantrasyonu artar. Bunun sonucunda katot ve anotdaki hidrojen ve oksijen konsantrasyonu farklılaşır. Katot ve anottaki hidrojen ve oksijen konsantrasyonunun farklı olmasından dolayı elektroliz hücresinde bir pil oluşur ve sonuçta sistemde uygulanan gerilime ters yönde bir elektromotor kuvveti meydana gelir [9,17,18]. Meydana gelen elektromotor kuvveti, elektrik akımına karşı bir direnç oluşturarak akım etkinliğinin azalmasına yol açar [9,17]. Akım etkinliğinin azalması da kaplama banyosunda oluşan krom iyonlarının azalmasına ve dolayısıyla kaplama hızının azalmasına neden olur. Kaplama hızının artan akım yoğunluğu ile artması ise, yüksek akım yoğunluklarında akım etkinliğinin artması nedeniyle banyoda oluşan krom iyonları miktarının artmasından kaynaklanmaktadır [9].

Sert krom kaplamaların genelde ince taneli oldukları görüldü. Ancak sıcaklığın ve akım yoğunluğunun tane boyutu üzerinde fazla etkili olmadığı gözlemlendi. Sert krom kaplamaların ince taneli olması, kaplama banyosunda oluşan hidrojen iyonun kaplama tabakasına yerleşmesinden kaynaklanmaktadır [10]. Şöyle ki; kaplama sırasında banyoda meydana gelen hidrojen iyonları kaplama tabakasına yerleşerek krom hidrür oluşturur ve bu hidrürlerin ayrışması sonucunda da bir miktar hidrojen gazı açığa çıkar [4,10]. Geri kalan hidrojen ise kaplama tabakasında kalır [4]. Kaplama tabakasında kalan hidrojen atomları belirli bölgelerde (gözenek ve safsızlıklar) hidrojen molekülü haline geçerek, yüksek basınçların oluşmasına neden olur [2,8,15]. Oluşan yüksek basınçlar da kaplamayı plastik deformasyona uğratarak dislokasyon yoğunluğunu artırabilir. Dislokasyon yoğunluğunun artması; kaplama sırasında çekirdekleşme hızının artmasına neden olur [19]. Çekirdekleşme hızının artması ise birim alanda oluşan tane sayısının artmasına, yani tane büyüklüğünün azalmasına yol açar. Diğer taraftan; sert krom kaplanan örneklerin hemen hemen hepsinde çatlaklara rastlandı. Bu durum; kaplama tabakasında değişik bileşimlere

sahip kararsız krom hidrürlerin oluşmasından kaynaklanmaktadır [4]. Oluşan hidrürler ya hegzagonal (Cr_2H veya CrH) ya da yüzey merkezli kübik (CrH veya CrH_2) yapıya sahip olurlar. 25 °C sıcaklıktaki normal kaplama koşullarında bile oluşabilen hegzagonal yapıli hidrürler, oluşur oluşmaz hacim merkezli kübik yapıli kroma dönüşürler [4,20]. Bu dönüşüm sırasında bir miktar hidrojen gazı açığa çıkar. Hegzagonal ya da yüzey merkezli kübik yapıli krom hidrürlerin hacim merkezli kübik yapıli kromu oluşturması kaplama tabakasında %15'den daha yüksek oranda hacimsel küçülmeye (daralma) yol açabilir [4]. Daralma nedeniyle meydana gelen iç gerilmeler kaplama tabakasının akma mukavemetinin üzerine çıkması durumunda kaplamada yüzeye dik doğrultuda çatlaklar oluşur [4]. Ayrıca, banyo sıcaklığı arttıkça kaplama tabakasında çatlak sayısının azaldığı görüldü. Bu durum da; kaplama tabakasında meydana gelen iç gerilmelerin artan sıcaklıkla azalmasından kaynaklanmış olabilir [10].

Dekoratif amaçlı krom kaplamalarda kaplamanın tane boyutu artan sıcaklıkla fazla değişmezken, artan akım yoğunluğu ile belirgin bir azalma gösterdi. Tane boyutunun artan akım yoğunluğu ile azalması, akım yoğunluğu arttıkça banyoda oluşarak kaplama tabakasına yerleşen hidrojen atomu miktarının artmasından kaynaklanmaktadır [10]. Hidrojen atomu miktarının artması kaplama tabakasında molekül haline geçen hidrojenin artmasına neden olur. Molekül halindeki hidrojenin artması da kaplama tabakasında gaz basıncının artmasına yol açar. Oluşan yüksek basınç kaplamayı plastik deformasyona uğratarak dislokasyon yoğunluğunun artmasına neden olur. Dislokasyon yoğunluğunun artması da çekirdekleşme hızının artmasına yol açar. Çekirdekleşme hızının artması sonucunda birim alandaki tane sayısı artar ve kaplamanın tane büyüklüğü azalır. Bu nedenle yüksek akım yoğunluklarında yapılan kaplamalarda ince taneli yapı elde edilir.

Kaplanan örneklerin sertlik değerlerinin artan banyo sıcaklığı ile azaldığı, artan akım yoğunluğu ile de arttığı gözlemlendi. Kaplamanın sertliğinin; içerdiği hidrojen miktarına, iç gerilmelere ve dislokasyon yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği bilinmektedir [19]. Sıcaklığın artması durumunda sertliğin azalması, yüksek sıcaklıklarda kaplamaların daha az miktarda hidrojen atomu soğurmasından kaynaklanabilir [10]. Kaplamadaki hidrojen miktarının az olması, molekül haline geçen hidrojen miktarının da azalmasına ve dolayısıyla kaplama tabakasında fazla basıncın oluşmamasına yol açar. Kaplama tabakasında çarpılmaya neden olacak düzeyde basınç oluşmadığından dislokasyonların hareketi fazla engellenmez ve bu nedenle kaplama sertleşmez. Öte yandan; akım

yoğunluğu arttıkça kaplamanın soğurduğu hidrojen miktarı artmakta ve bu nedenle daha fazla hidrojen molekül haline geçmektedir [10]. Yukarıda da belirtildiği gibi, molekül haline geçen hidrojen yüksek basınç oluşturarak kaplamanın distorsiyona uğramasına yol açabilir [4,8,10]. Söz konusu distorsiyon ise dislokasyon hareketini engelleyerek, kaplamanın sertliğini artırabilir. Bu nedenle yüksek sıcaklık veya düşük akım yoğunluklarında yapılan kaplamalar yumuşak, düşük sıcaklık veya yüksek akım yoğunluklarında yapılan kaplamalar ise nispeten sert olmaktadır.

Akım yoğunluğu arttıkça krom kaplanan örneklerin kenar ve köşelerinde belirgin birikintilerin meydana geldiği görüldü. Bu durum, elektrolitik kaplamada elektriksel alan çizgilerinin parçanın keskin kenar ve köşelerinde daha yoğun olmasından kaynaklanmaktadır [21]. Korozyon deneyi sonucunda; krom kaplanan örneklerin kaplanmayan örneklere göre korozyona daha dirençli oldukları belirlendi. Bu durum, kaplanan örneklerin yüzeyinde korozyona dayanıklı Cr_2O_3 filminin oluşmasından kaynaklandığı bilinmektedir [15]. Diğer taraftan; dekoratif amaçlı krom kaplanan örneğin toplam kaplama kalınlığı (25 μm) sert krom kaplanan örneğin kaplama kalınlığından (60 μm) daha az olmasına karşın, dekoratif amaçlı krom kaplanan örneğin korozyona daha dayanıklı olduğu gözlemlendi. Bu durum; sert krom kaplamanın çatlaklı, dekoratif amaçlı krom kaplamanın çatlaksız olmasından başka, dekoratif amaçlı krom kaplamada kaplama tabakalarının örnek yüzeylerini iyi örterek korozyon ortamının esas metale ulaşmasını önlemesinden kaynaklanmaktadır.

5. SONUÇLAR

1. Gerek sert, gerekse dekoratif amaçlı krom kaplamalarda kaplama hızı, artan banyo sıcaklığı ile belirli bir aralıkta azalır, artan akım yoğunluğu ile de belirli bir aralıkta artar.
2. Banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu genelde ince taneli olan sert krom kaplamaların tane boyutu üzerinde fazla etkili değildir.
3. Düşük banyo sıcaklıklarında veya düşük akım yoğunluklarında yapılan sert krom kaplamalarda çatlaklar oluşmaktadır, ancak banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu arttıkça çatlak sayısı azalmaktadır.
4. Gerek sert, gerekse dekoratif amaçlı kaplamalarda kaplama tabakasının sertliği, artan banyo sıcaklığı ile belirli bir aralıkta azalır, artan akım yoğunluğu ile de belirli bir aralıkta artar.
5. Akım yoğunluğunun belirli bir değerin (40 A/dm^2) üzerine çıkması durumunda, kaplanan parçaların kenar ve köşelerinde bazı birikmeler meydana gelmektedir.
6. Dekoratif amaçlı krom kaplamalarda tane büyüklüğü sıcaklıktan fazla etkilenmezken, artan akım yoğunluğu ile azalır.
7. Krom kaplama çelik malzemeleri korozyondan korumaktadır. Ancak, dekoratif amaçlı krom kaplamalar asit çözeltisindeki korozyona sert krom kaplamalardan daha fazla direnç gösterirler.

6. KAYNAKLAR

1. Pletcher, D., Walsh, F.C., Industrial Electrochemistry, Second Edition, Chapman-Hall, Co., New York, 1990.
2. akır, A., Metalik Korozyon İlkeleri ve Kontrolü, T.M.M.O.B., Makina Mühendisleri Odası, Yayın No.131, Bileşim Matbaacılık, Ankara, 1990.
3. James, H., Lindsay, J., Decorative and Hard Chromium Plating, Plating and Surface Finishing, 84, 8 (1997) 50-51.
4. Lowenheim, F.A., Modern Electroplating, The Electrochemical Society Inc., New York, 1963.
5. Dini, J.W., The Material Science of Coating and Substrate, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California.
6. Richards, E.S., Chromium Plating, Charles Caiffin and Company Ltd., London, 1950.
7. Karagöl, S., elik Parçaların Elektroliz Yöntemi ile Nikel ve Krom Kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1995.
8. Savaşkan, T., Karagöl, S. ve Küçükömeroğlu,T., Krom Kaplama İşlemindeki Bazı Parametrelerin Kaplama Kalitesine Etkisi, Mühendis ve Makina, Cilt 38, Sayı 446 (1997) 27-32
9. Guffie, R.K., Hard Chromium Plating, Products Finishing, (1989) 74-79.
10. Weiner, R., Walmsley, A., Chromium Plating, Finishing Publications Ltd.,Teddington, England, 1980.
11. Metals Handbook, Desk Edition, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, U.S.A., 1985.
12. Fraunhofer, J.A., Basic Metal Finishing, London, 1976.
13. Gabe, D.R., Principles of Metal surface Treatment and Protection, Second Edition, Pergamon Press, New York, 1978.

14. ASTM Handbook, Friction, Lubrication and Wear Technology, Vol:18
15. Khun, A.T., Industrial Electrochemical Processes, Elsevier Publishing Co., New York, 1971.
16. Dubpernell, G., Elektrodeposition of Chromium from Chromic Acid Solutions, Pergamon Press Inc., New York, 1972.
17. Berkem, A. R., Elektrokimya Tatbikatı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Sayı 1778, No:9
18. Alpaut, O., Elektrokimya, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, A/23
19. Iwai, Y., Okada, T. ve Fujieda, T., Effects of Hard Chromium Plating on Cavitation Corrosion, Wear, 128 (1988) 189-200.
20. Kim, J.s., Hyun, R., Pyun, S. ve Kim, H.C., Corrosion and Wear Characteristics of Pulse -Plated Chromium Deposits, 24(1989) 2704-2710.
21. Bayraktar, E., Galvanoteknikte Kaplama Yöntemleri, Mühendis ve Makina, Sayı 355 (1989) 24-30.

7. ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Trabzonda doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladı. 1992 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden Makina Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü'sinde yüksek lisans öğretimine başladı. 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimleri Ana Bilim Dalı'nda araştırma görevlisi oldu. Halen aynı görevi sürdürmektedir.

