

66757

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARMATÜR ÜREten BİR İŞLETMEDE KAPLAMA EVRESİNİN KALİTE
GÜVENCE KAPSAMINDA KONTROL OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji Müh. Behiye YÜKSEL

66757

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 9 Haziran 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Eylül 1997

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Yılmaz TAPTIK

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ali Fuat ÇAKIR

Prof.Dr. Mustafa ÜRGEN

10/10/97
A. Tapık
10.10.97
10.10.97

EYLÜL 1997

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ÖNSÖZ

II.Dünya Savaşı sonrası globalleşen dünya pazarında rekabet gücünü etkileyen üç ana faktör Kalite-Maliyet-Termin'dir. Kalite kavramının gelişmesinde en büyük rolü oynayan Japonlar; savaş ile başaramadıkları "Süper Güç" olma rüyalarını, dünya pazarına hükmederek gerçekleştirmişlerdir. Japon Mucizesi olarak isimlendirilen bu başarı, günümüz rekabet koşullarında ayakta kalmak isteyen tüm işletmeler için bir model teşkil etmektedir.

Bu tez Toplam Kalite Yönetimi ile kalite tekniklerinden biri olan OHTEA çalışmasını içermektedir.

Bu çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübelerine başvurduğum hocam sayın Prof.Dr. Yılmaz TAPTIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın deneysel bölümünün gerçekleştirilmesindeki yardımlarından dolayı PDK A.Ş.'ne teşekkürü bir borç bilirim.

EYLÜL 1997

Behiye YÜKSEL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 METAL KAPLAMA	2
2.1 Kaplama Öncesi Yüzey Temizliği	3
2.1.1 Yüzey Temizleme İşlemleri	4
2.1.1.1 Mekanik Temizleme	4
2.1.1.2 Kimyasal Maddeler Yardımıyla Temizleme	4
2.1.1.2.1 İnorganik Çözücüler İle Yağ Alma	5
2.1.1.2.2 Organik Çözücüler İle Yağ Alma	6
2.1.1.2.3 Emülsiyon İle Yağ Alma	7
2.1.2 Yağ Alma İşleminin Uygulamaları	8
2.1.2.1 Daldırma Yolu İle Yağ Alma	8
2.1.2.2 Püskürtme Yolu İle Yağ Alma	9
2.1.2.3 Buhar Fazında Yağ Alma	9
2.1.2.4 Ultrasonik Yöntemle Yağ Alma	9
2.1.3 Elektrolitik Yağ Alma	10
2.1.4 Dağlama	11
2.1.4.1 Dağlama Çözeltileri	12
2.2 Bakır Kaplama	14
2.2.1 Bakır Kaplamanın Tarihçesi	14
2.2.2 Bakır Kaplama Banyoları	14
2.2.3 Asitli Bakır Kaplama Banyoları	17
2.2.3.1 Sülfat Banyoları	17
2.2.3.1.1 Banyo Bileşenleri	17
2.2.3.1.2 Katkı Maddeleri	18
2.2.3.1.3 Çalışma Koşulları	18
2.2.3.2 Flüoborat Banyoları	20
2.2.3.2.1 Banyo Bileşenleri	20
2.2.3.2.2 Katkı Maddeleri	21
2.2.3.2.3 Çalışma Koşulları	21

2.2.3.2.4	Asitli Bakır Banyolarının Kontrolü	21
2.2.4	Alkali Siyanür Bakır Kaplama Banyoları	21
2.2.4.1	Banyo Bileşenleri	23
2.2.4.2	Seyreltik Siyanür Banyoları	25
2.2.4.3	Rochelle Siyanür Banyoları	26
2.2.4.4	Yüksek Hızlı Siyanür Banyoları	27
2.2.4.5	Alkali Siyanür Bakır Kaplama Banyolarının Bakım Ve Kontrolü	28
2.3	Nikel Kaplama	30
2.3.1	Nikel Kaplamanın Tarihçesi	31
2.3.2	Nikel Kaplama Banyoları	31
2.3.2.1	Watts Banyoları	32
2.3.2.1.1	Banyo Bileşenleri	33
2.3.2.1.2	Nikel Kaplamanın Yapısı ve Mekanik Özellikleri	34
2.3.2.2	Parlak Nikel Kaplama	35
2.3.2.3	Tüm Sülfatlı ve Yüksek Sülfatlı Banyolar	38
2.3.2.4	Nikel Sülfamat Banyoları	38
2.3.2.5	Tüm Klorürlü ve Yüksek Klorürlü Banyolar	38
2.3.2.6	Siyah Nikel Kaplama	38
2.3.3	Kontrol Edilebilir Değişkenlerin Nikel Kaplamaya Etkileri	40
2.3.4	Nikel Banyolarının Bakım ve Kontrolü	42
2.3.5	Nikel Kaplama Banyolarındaki İnorganik ve Organik Kirliliğin Etkisi	43
2.3.5.1	İnorganik Kirliliğin Uzaklaştırılması	44
2.3.5.2	Organik Kirliliğin Uzaklaştırılması	44
2.3.6	Nikel Banyolarında Kullanılan Anotlar	45
2.4	Krom Kaplama	46
2.4.1	Krom Kaplamanın Tarihçesi	47
2.4.2	Krom Kaplama Teorisi ve Çalışma Koşulları	47
2.4.3	Krom Kaplamanın Fiziksel Özellikleri	50
2.4.4	Banyo Bileşenleri	51
2.4.5	Krom Kaplama Banyoları	53
2.4.5.1	H ₂ SO ₄ Katalizörlü Banyolar	53
2.4.5.2	HF Ve H ₂ sif ₆ Katalizörlü Banyolar	54
2.4.5.3	Kendi Kendine Kontrollü Yüksek Hızlı (SRHS) Krom Banyoları	54
2.4.5.4	Poli-Kromat Banyoları	55
2.4.5.5	Siyah Krom Kaplama Banyoları	56
2.4.6	Krom Kaplama Banyolarında Kullanılan Anotlar	56
2.4.7	Kontrol ve Bakım	57
2.4.8	Krom Kaplama Tesislerinde Hijyen	59

BÖLÜM 3 KALİTE KAVRAMININ GELİŞİMİ 60

3.1	Kalite Nedir?	60
3.2	Kalitenin Tarihsel Gelişimi	63
3.3	Üretimde Kalite Düzeyi Oluşturmanın Tarihsel Gelişimi	66

3.3.1	Muayene	66
3.3.2	İstatistiksel Proses Kontrol	66
3.3.3	Toplam Kalite Kontrol	68
3.3.4	Uluslararası Standartlar ve Kalite Güvence Sistemleri	68
3.4	Kalite Maliyetleri ve Kalitesizliğin Bedeli	70
3.5	Toplam Kalite Yönetimi	73
3.5.1	Toplam Kalite Yönetiminin Temel İlkeleri	75
3.5.1.1	Müşteri Odaklılık	75
3.5.1.2	Tam Katılım ve Grup Çalışması	75
3.5.1.3	Ölçüm ve İstatistik	76
3.5.1.4	Sürekli Gelişme	76
3.5.1.5	Yönetim Modeli	78
3.5.1.6	Dökümantasyon	78
3.6	Toplam Kalite Yönetiminin Temel Öğeleri	78
3.7	Klasik Yönetim (Taylor Modeli) İle Toplam Kalite Yönetiminin Karşılaştırılması	80
3.8	Kalite Teknikleri	84

BÖLÜM 4 OLASI HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ (F.M.E.A.) 86

4.1	Olası Hata Türü ve Etkisi Analizine (O.H.T.E.A.) Neden İhtiyaç Vardır?	86
4.2	Olası Hata Türü ve Etkisi Analizinin Prensipleri	87
4.3	Olası Hata Türü ve Etkisi Analizinin Türleri	91
4.3.1	Sistem OHTEA	91
4.3.2	Tasarım OHTEA	92
4.3.3	Proses OHTEA	92
4.3.4	Hizmet OHTEA	92
4.4	Olası Hata Türü ve Etkisi Analizinin Uygulanması	93
4.5	Olası Hata Türü ve Etkisi Analizinden Beklenen Faydalar	96

BÖLÜM 5 BAKIR-NİKEL-KROM KAPLAMA PROSESİ İÇİN BİR OLASI HATA TÜRÜ ve ETKİSİ ANALİZİ UYGULAMASI 97

5.1	OHTEA Uygulamasının Yapıldığı Tesisin Tanıtımı	97
5.2	Tesise Ait Genel İş Akış Planı	97
5.3	Tesiste Yeralan Kaplama Prosesine Ait İş Akış Planı	99
5.4	Tesiste Metalik Kaplama Prosesi Öncesi Ortaya Çıkan ve Metalik Kaplamayı Olumsuz Yönde Etkileyen Üretim Hataları	100
5.4.1	Döküm Hataları	100
5.4.2	Dövme Hataları	101
5.5	Metalik Kaplama Öncesi Polisaj İşlemi	102
5.6	Bakır-Nikel-Krom Kaplama İşlemlerinde Karşılaşılan Genel Hatalar	103

5.7	Pareto Analizi	103
5.8	Sebeup-Sonuç (Kılçık) Diagramı	114
5.9	Kaplama Ünitesine Ait İř Akış Planı	118
5.10	Olası Hata Türü ve Etkisi Analizinin Uygulanması	118
5.10.1	Zamak Mamul İçin OHTEA alışması	120
5.10.2	Pirinç Mamul İçin OHTEA alışması	125
5.11	Olası Hata Türü ve Etkisi Analizi Sonuçlarından Yararlanarak mevcut Kaplama Prosesinin Yeniden Oluşturulması	132
5.11.1	Proses Kontrol Talimatı	132
5.11.2	Kromaj Proses Kontrol Akış şeması	133
5.11.3	Kaplama Kalitesinin Güvence Altına Alınabilmesi İçin Gerekli Önlemler	135
5.12	Hata Fotoğrafları	137
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER		143
KAYNAKLAR		146
Ek A	OLASI HATA TÜRÜ ve ETKİSİ ANALİZİ ALIřMASI İÇİN “CİDDİYET”, “KEşFEDİLME” ve “OLASILIK” TABLOLARI	148
ÖZGEçMİş		155

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Katot verimi-Akım yoğunluğu eğrisi	41
Şekil 3.1	Ürün kalitesinin oluşumu	61
Şekil 3.2	Kalitenin iki boyutu	62
Şekil 3.3	Klasik yönetimde kalite-maliyet ilişkisi	71
Şekil 3.4	Kalite Buzdağı	72
Şekil 3.5	Toplam Kalite'nin rekabet gücüne etkisi	74
Şekil 3.6	Deming'in kalite döngüsü	77
Şekil 3.7	Toplam Kalite Yönetiminde kalite geliştirme	81
Şekil 4.1	Kalite teknikleri içinde OHTEA'nın yeri	89
Şekil 4.2	OHTEA Formu	95
Şekil 5.1	Tesise ait iş akış planı	98
Şekil 5.2	Kaplama prosesi için iş akış planı	99
Şekil 5.3	Pareto analizi	114
Şekil 5.4	Kaplama tesisine ait kılçık diagramı	118
Şekil 5.5	OHTEA çalışması için kaplama atölyesi iş akış şeması ve kalite planı	119
Şekil 5.6	OHTEA uygulaması öncesi doldurulmuş OHTEA formu	123
Şekil 5.7	OHTEA uygulaması sonrası doldurulmuş OHTEA formu	126
Şekil 5.8	OHTEA uygulaması öncesi doldurulmuş OHTEA formu	128
Şekil 5.9	OHTEA uygulaması sonrası doldurulmuş OHTEA formu	131

Şekil 5.10	Proses kontrol akış şeması	134
Şekil 5.11	Kısmen kaplanmış mamul	138
Şekil 5.12	Alt yüzey üzerine kötü yapışmış metalik kaplama	139
Şekil 5.13	Yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde mat krom kaplama	140
Şekil 5.14	Düşük akım yoğunluğu bölgelerinde gri nikel kaplama	141
Şekil 5.15	Zamak mamul üzerine kötü yapışmış bakır kaplama	142



TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Çeşitli yağ alma yöntemleri sonrası malzeme yüzeyindeki artık kirlilikler	10
Tablo 2.2	Asit ve siyanür bakır banyolarının karşılaştırılması	16
Tablo 3.1	Kalite olgusunun tarihsel gelişimi	70
Tablo 5.1	Metalik kaplamayı etkileyen döküm hataları	100
Tablo 5.2	Metalik kaplamayı etkileyen dövme hataları	101
Tablo 5.3	Siyanürlü bakır kaplama işleminde karşılaşılan hatalar	104
Tablo 5.4	Parlak nikel kaplama işleminde karşılaşılan hatalar	106
Tablo 5.5	Parlak krom kaplama işleminde karşılaşılan hatalar	111
Tablo 5.6	Kaplama prosesinde karşılaşılan hatalar ve hatalı parça sayısı	114
Tablo 5.7	Zamak mamulün kaplanması esnasında karşılaşılan hata türleri	120
Tablo 5.8	Zamak parçanın kaplanması esnasında karşılaşılan hataların sebepleri	121
Tablo 5.9	Pirinç parçanın kaplanması esnasında karşılaşılan hata türleri	125
Tablo 5.10	Pirinç parçanın kaplanması esnasında karşılaşılan hataların sebepleri	127

ÖZET

Kalite Güvence kavramı, gerek üretim yapan firmalarda gerekse hizmet sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde son yıllarda giderek artan bir ilgi görmektedir.

Kalite olgusundaki gelişme sonucunda anlaşılmıştır ki kalite, işletmede tek bir departmanın işi değildir, aksine işletmede en üst düzeydeki yöneticiden kapıdaki bekçiye kadar herkesin görevidir.

İşletmelerde istenen kaliteyi sağlayabilmek için kalite araç ve teknikleri kullanılarak hata oluşumu azaltılır.

Bu tez çalışmasında, armatür ürünlerinin hem korozyondan korunması hemde dekoratif amaçla kaplanması prosesinde kalite tekniklerinden biri olan OHTEA çalışması uygulanarak hata oluşumunu en aza indirmek amaçlanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde metalik kaplama proseslerinden olan bakır-nikel ve krom kaplamalar üzerinde durulmuştur. Bu bölümde, söz konusu metalik kaplamalar için geliştirilen farklı karakterdeki kaplama banyoları hakkında özet bilgi verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise kalite kavramı ve bu olgunun tarihsel gelişimi üzerinde durulmuştur. Bölümün son kısmı ise günümüzde işletmeler tarafından hızla benimsenmeye başlanan “Toplam Kalite Yönetimi”ne ayrılmıştır. Bu kısımda klasik yönetim anlayışı ile benimsenmeye yeni başlanan Toplam Kalite Yönetimi anlayışı arasındaki farklar ortaya konulmuştur. Bir sonraki bölümde ise kalite tekniklerinden biri olan OHTEA detaylı olarak ele alınmıştır.

Tezin son kısmı uygulamaya ayrılmıştır. Bu bölümde ürün OHTEA çalışması yapılmıştır. OHTEA çalışmasında öncelikle oluşması muhtemel problemler bir araya getirilmiş, bu hataların müşteriyi nasıl etkileyeceği tespit edilmiş ve hataların oluşmaması için alınması gerekli tedbirler üzerinde çalışılmıştır.

OHTEA çalışması sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda kaplama ünitesinde proses yeniden oluşturulmuştur.

CONTROL OPTIMIZATION OF PLATING PROCESS IN AN ARMATURE PRODUCING COMPANY THROUGH QUALITY ASSURANCE

SUMMARY

The aim of this thesis is to realise the control optimization of the coating department of an armature producing company through quality assurance.

The thesis consists of four main chapters. In the first chapter, electrolytic coating has been discussed. The second chapter is related to the quality and quality techniques. In the third chapter, failure mode and effect analysis, quality techniques are analysed.

These analysis techniques are also used in the practical part of the thesis. In the last chapter is the practical part of the thesis. The details related to these chapters are presented in the following paragraphs.

In the first chapter, the results of the literature survey on the electrolytic coating techniques has been presented. Electrolytic coating techniques are the copper, nickel and chromium coating.

In the related chapter; copper cyanide bath, bright type nickel bath and decorative type chromium bath that are available in the manufacturing plant which is practical application has been performed are analysed in more detail. The purpose of the coating is to preserve metals against corrosion and give a decorative appeal.

In the second chapter, quality concept, total quality management and quality techniques has been explained.

The quality concept has been a popular subject all over the world during the last 50 years. Although the first studies on the quality subject had been made in USA, after the Second World War Japanese companies has become the bigger producers of the high quality.

The quality concept has been modified during the years parallel to progression in the World Market. The proof of this idea is that the definition of the quality changed from “ *the confirmence of specification* ” to “ *customer satisfaction* ”.

The historical development of the quality can be summarised in the following order:

1. Control
2. Statistical process control
3. Total quality control
4. Quality assurance

The last step of the historical development of the quality concept is the quality assurance. But quality assurance is not the last point to be reached. Although quality assurance certification is necessary for firms, it is not enough for customer satisfaction in today's world market. It is a step to reach the total quality management preferred by today's firms.

The base of the total quality management is human. Each people from top level manager to workers in a company are at the same importance. Because of this reason, in the second chapter, the philosophy of the total quality management has been explained.

Total quality management is not an aim, it is the way to manufacture well quality product, lower cost, higher quality and termin.

A realise these there target at the same time has to produce the product with minimum failure in the shortest period. To obtain these conditions it is necessary to study in an available plant.

In this studies, it has been benefited from quality techniques. Because of this, at the end of the chapter, quality techniques has been discussed.

In the third chapter, failure mode and effect analysis techniques (FMEA) are discussed in detail. In this part firstly, the definition of FMEA, has been made. The types of FMEA, details of a FMEA application has been presented.

A failure mode and effect analysis is an engineering technique used to define, identify, and eliminate known and/or potential failures, problems, errors, and so on from the system, design, process, and/or service before they reach the customer.

There are four types FMEA ; system FMEA, design FMEA, process FMEA, service FMEA.

A failure analysis technique is one of the most important early protector in design, service and process which will prevent failures and errors from occurring and reaching the customer.

There are three important terms in the application of FMEA. They are;

1. Types of failure ; why does not the product work properly?
2. The reasons of the failure ; how does the costumer effect from the failure?
3. The results of the failure; the origin of the failure

It is necessary to apply FMEA on time to get satisfactory results.

A Failure mode and effect analysis is applied in the following cases:

- When new system, products, processes or services are being designed,
- In the case of new development in the existing systems, products, processes or services,
- If the new application fields can be found for the new systems, products, processes or services.

At the fourth chapter of the thesis, product failure mode and effect analysis application has been performed for copper-nickel-chromium coating process.

In the application part of the thesis, failure mode and effect analysis which is one the quality techniques has been used to find the failure types which are common in the plant and to supply more quality preventing to form these type failures.

In the study, as a first step origins of the failures for copper-nickel-chromium coating process have been investigated. The effect of these type failures on the customers has been analysed. At the last step of the analysis, types of the precautions needed to be taken to prevent failures and errors have been studied.

A good FMEA

- Identifies known and potential failure modes
- Identifies the causes and effects of each failure mode
- Prioritizes the identified failure
- Prioritizes the identified failure modes according to the risk priority number (RPN)- the product of frequency of occurrence, severity and detection
- Provides for problem follow-up and corrective action.

In the practical part of the thesis, process failure mode and effect analysis has been applied on the coating procedure of two different products; zamak and brass.

Before the failure mode and effect analysis, to determine common failure types pareto analysis has been conducted. According to the results of the pareto analysis, the following common failure types has been determined: roughness, bad covering, grey plating, pitting, dull coating.

In the failure mode and effect analysis, subsequent failure types has been selected with the assistance of the pareto analysis. Depends on this analysis, important failure types are roughness, bad covering and grey plating.

The main reason for the roughness type failure observed in the plant, is used casting sand. In the FMEA, the first failure type to be examined is roughness. Lack of some equipments such as ultrasonic degreasing and filtration which are to be used to prevent the roughness type failures. Bad covering and grey plating types failure has been analysed.

In this chapter, the first FMEA has been done for zamak.

Firstly, possible failure types can occur in each plating steps during the copper-nickel and chromium coating of zamak has been ordered. After that, the reasons of these failures have been discussed.

At the following step, the possible results when these type failure occurred have been defined. At the end of these steps, the first part of the FMEA chart has been filled up.

For the bad covering failure type, it has been found that the risk priority number (RPN) must be greater than 50. Also it has been defined that which type of precautions can be applied to decrease the amount of the failure.

After the application of these precautions, the second part of the failure mode and effect analysis chart has been filled up and the number of the risk priority number (RPN) for the bad covering failure is very small compared with 50. Thus bad covering type failure has been stopped.

The same analysis steps have been applied for brass products.

At the end of the forth chapter, some photographs of the failure types are presented.

The following failures from FMEA application has been obtained: roughness, bad adhesion, dull coating, grey coating, pitting.

The reasons of this failures are the followings:

- Lack of filtration
- Anode sludge existing in the solution
- Solid particles in the coating bath
- Bath concentration is out of control
- Insufficient cleaning, pickling and rinsing before coating process
- Metallic contamination available in the coating bath
- Organic contamination available in the coating bath
- High electrical current density during the coating process

These are the measures to prevent the occurrence of this type failures: Copper and nickel baths have to be filtered, analytical studies have to be performed with the samples that represent coating bath, baths have to be cleaned periodically against metallic and organic contamination. Sufficient electrical currency have to be supplied during the coating process.

To check the metallic coating for the elimination of failures, following simple checks can be done, adhesion ,abrasive , coating thickness, control with eyes.

The aim of this study is to define that quality can not be supplied by controlling of product during the process.

The quality have to be produced during process. Because of this reason, process must be under controlled.

Quality tools and techniques for the total quality management are to be used to solve the problems and to development continuously.

The trio of high quality, low cost and termin can be reached using the controlled processes.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

II. Dünya Savaşı dünya ekonomisi için bir dönüm noktası olmuştur. Savaş sonrası özellikle Japonya’da kalite olgusu büyük merak uyandırmış ve üzerinde çeşitli çalışmalar başlatılmıştır. Japonya, kalite ile ilgili çalışmalarının olumlu sonuçlarını kısa sayılabilecek bir sürede almaya başlayınca diğer ülkelerde özellikle de Amerika’daki şirketler kalite kavramının önemini idrak etmişler ve bu konuda çalışmaya başlamışlardır. Kalite kavramı günümüzde öyle gelişmiştir ki artık şirketlerin rekabet gücünü belirleyen unsurlardan biri olmuştur. Günümüz rekabet koşullarında Kalite-Maliyet-Termin üçlüsünde başarı sağlayabilen firmalar ayakta kalabilmektedir.

Metal ve alaşımların içinde bulundukları ortam ile tepkimeye girerek bozunup tabiata bileşik halinde dönmeleri yani “korozyon” karşılaştığımız bir olaydır. Üretilen metalik mamüllerin korozyona uğrayarak kullanılmaz hale gelmesini önlemek için onları başka bir metal ile kaplamak uygulamada çok sık rastlanan bir yöntemdir. Armatür parçaları da gerek korozyondan korunma gerekse dekoratif amaçla metalik olarak kaplanmaktadır.

Tüm üretim birimlerinde olduğu gibi kaplama işleminde de Kalite-Maliyet-Termin üçlüsünü başarıyla sağlayabilmek gereklidir. Bu noktada hata yapmadan, kaliteli olarak kaplamanın gerçekleştirilmesi hedefi ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışma esnasında bakır-nikel-krom kaplama işlemi gören bir parça üzerinde kalite tekniklerinden biri olan olası hata türü ve etkisi analizi (OHTEA) uygulanmıştır. Uygulanan OHTEA ile kaplama prosesi içinde oluşabilecek hataların türleri, sebepleri, etkileri, nasıl önlenebilecekleri ve alınacak tedbirler belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

METAL KAPLAMA

Endüstriyel uygulama alanı geniş olan metal kaplamanın başlıca uygulama amaçları şöyle sıralanabilir;

- 1- Dekoratif
- 2- Korozyondan korunmak
- 3- Mühendislik

Korozyondan korunma amacıyla yapılan metal kaplamalarda kaplama metali genelde ortama karşı alt metalden daha dayanıklıdır. Ancak diğer yandan alt metale göre daha da aktif olduğu için alt metalin açığa çıktığı noktalarda kendisini feda eder yani çözünerek alt metali korur. Bu tip kaplamalara *anodik kaplama* denilir ve alt metalin katot olarak davranmasından dolayı da *katodik koruma* olarak isimlendirilir.

Endüstriyel uygulamalarda metal kaplama yöntemleri dört grup altında toplanabilir, [1] .

a) Fiziksel metodlar

- Sıcak daldırma
- Yayınma ile kaplama
- Vakum kaplama
- Katodik saçınım
- İyon kaplama
- İyon aşılama

b) Mekanik metodlar

- Metal giydirmе
- Sıcak püskürtme

c) Kimyasal metodlar

- Yüksek sıcaklıkta uygulanan metodlar
 - değişimle
 - kimyasal indirgemeyle
 - ısı ayrışım ile
- Düşük sıcaklık metodları
 - kimyasal indirgeme
 - sementasyon
 - akımsız kaplama

d) Elektrokimyasal metodlar

- Elektrokaplama

Tez içeriği olarak ele alınacak kaplama yöntemi *elektrokaplama* olup bu yöntem ile kaplamada geniş uygulama alanı bulunan Cu-Ni-Cr kaplama üzerinde durulacaktır.

Eletrokaplama, kaplama öncesi yüzey temizliği ve metal kaplama şeklinde iki ana kademedен oluşmaktadır. Metal kaplamanın istenen kalitede olabilmesi için yukarıda adı geçen iki kademeye de gereken önemin verilmesi zaruridir.

2.1 KAPLAMA ÖNCESİ YÜZEY TEMİZLİĞİ

Türü ne olursa olsun, bir metal kaplama işleminin başarısı, kaplanacak malzemenin yüzeyinin temizliği ve kaplamaya hazırlanma derecesi ile doğru orantılıdır. Genelde metal kaplama işlem zincirinin en zayıf halkası *temizlik* olup bu işlem kaplama işleminin başarı anahtarıdır.

Kaplama işlemine tabi tutulacak metallerin yüzeyi teknik ve ekonomik açıdan, iyi bir kaplamanın elde edilebilmesi için, yağ ve diğer kirlерden tamamiyle arındırılmak

mecburiyetindedir. Bu gereklilik yerine getirilmediği takdirde kaplama esnasında birtakım hatalar meydana gelmektedir ki bu hatalar şöyle sıralanabilir, [2] ;

- Malzeme yüzeyindeki bazı bölgelerin kaplanamaması,
- Kaplama tabakasının metal yüzeyine iyi yapışmaması,
- Gözenekli bir kaplama tabakasının meydana gelmesi,
- Korozyona karşı direnç sağlamak amacı ile kaplama yapılmasına rağmen temizlenmemiş metalin yüzey kirlilikleri nedeni ile metalin korozyona uğramasıdır.

Kaplanacak metalin yüzeyinin temizlenmesi, kir ve yağın yüzeyden alınması, kalın oksit ve pas tabakasının kaldırılması veya kaplanacak parçanın işlenmesi sırasında zarar görmüş metalik tabakanın yüzeyden alınması için yapılır, [3] .

Yüzey temizleme işlemi;

- 1- Mekanik temizleme,
- 2- Kimyasal maddeler yardımıyla temizleme olmak üzere 2 ana gruba ayrılır.

2.1.1 Yüzey Temizleme İşlemleri

2.1.1.1 Mekanik Temizleme

Kaplanacak malzemenin karakterine bağlı olarak mekanik temizleme;

- Zımpara veya kumla temizleme
- Taşlama veya eğeleme
- Fırça ile polisaj şeklinde yapılmaktadır.

2.1.1.2 Kimyasal Maddeler Yardımıyla Temizleme

Yağ alma kimyası açısından üç önemli gruba ayrılmaktadır.

- 1- İnorganik çözücüler ile yağ alma

2- Organik çözücüler ile yağ alma

3- Emülsiyon ile yağ almadır.

2.1.1.2.1 İnorganik Çözücüler İle Yağ Alma [2]

İnorganik çözücüler ile yağ alma işleminde alkali maddeler kullanmak suretiyle yapılacak temizlemede, sıvı çözeltiye yüzey aktif maddeler ilave etmek, söz konusu maddelerin çözelti sıvısı ve metal yüzeyindeki yağlar ile eşit ölçüde ilişki kurması açısından faydalıdır. Bu bileşikler, molekülleri su alabilir (hidrofil) ve su almaz (hidrofob) parçalardan oluşan dipolar bir maddeden meydana gelir. Dipolar parçacıklara, günümüzde metal temizleme açısından önemli olan çok sayıda sentetik ıslatıcılar da katılmıştır.

Temizleyici çözelti, aynı zamanda ıslatma ile metal yüzeyinden alınmış yağlı kirleri, ufak parçacıklara ayırabilme özelliği de taşımaktadır. Bu şekilde metal yüzeyinden uzaklaştırılmış olan kirlerin, tekrar temizlenmiş olan malzemenin üzerine çökmesi engellenir. İyi bir inorganik temizleyici çözeltiden beklenen özellikler;

- Islatıcı,
- Pıhtılaştırıcı,
- Kirlilikleri taşıyıcı ve
- Sabunlaştırıcı nitelikte olmasıdır.

Bu sıralama içerisinde sabunlaştırma yeteneği diğer özelliklere oranla daha az önem taşımaktadır. Temizleyici çözeltinin ıslatma gücü, yüzey geriliminin azalması ile artarken, emülsiyon iki sıvının sınır alanında meydana gelmektedir. Sınırdaki tanecikler, yüzey geriliminin düşmesini sağlar ve aynı zamanda dar bir emülsiyon özelliği de oluşturur. Bunun dışında bazı tanecikler de yüzey gerilimini çok az düşürürken emülsiyon özelliğini kuvvetlendirir. Yüksek ıslatma gücüne sahip ancak kötü emülsiyon özelliği gösteren katkı maddeleri, temizleyici çözeltinin verimini düşürür.

Temizleme işleminde diğer önemli bir kriter, temizlenecek malzemenin yüzey özelliği ve metal yüzeyindeki oksit filmidir. Mineral yapılı yağlar, oksit tabakasına sahip metale daha zor yapıştıklarından, uzaklaştırılmaları oldukça kolaydır. Buna karşılık, serbest yağ asidi ihtiva eden yağlar, tam tersi bir davranış gösterirler ve oksit tabakasından yalın metale oranla daha zor temizlenirler.

Alkali silikatlar çok iyi kir taşıma özelliğine sahiptir. Alkali silikatların Tri-Di-Meta-Seski veya orto-silikat şeklinde kullanılması, giderilmesi gereken yağın özelliğine bağlıdır. Bu özellik, yağın disperse veya emülsifiye olmasıdır. Silikat içeren temizleyicilerin kullanılmasında unutulmaması gereken su ile durulamadır. Böylece karbonik asitin meydana getireceği zor çözülebilen polisilikatlar oluşmaz.

2.1.1.2.2 Organik Çözücüler İle Yağ Alma [2]

Organik çözücüler, endüstriyel olarak çok yüksek oranda kullanım alanı bulmaktadırlar. Yağ giderme işleminde kullanılacak organik çözücülerden beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Çözücü oda sıcaklığında sıvı olmalı,
- Yanıcı olmamalı,
- Sağlık açısından zararlı olmamalı,
- Tesis standartlarına uygun olmalı,
- Çabuk buharlaşmamalı ve geniş kapsamlı bir çözme yeteneğine sahip olmalıdır.

Kaplamacılık tarihinde el ile temizlemede ancak soğuk olarak kullanılabilen benzin gibi temizleyici malzemeler yanma tehlikesi ve işçilik masrafları nedeniyle terkedilmiş, bunların yerini yukarıda belirtilen kriterleri sağlayabilen klorhidrokarbonlar almıştır.

Klorhidrokarbonlar arasından organik çözücü olarak kullanılabilenler aşağıda verilmiştir.

1-2 Dikloreten: Klorhidrokarbonlar arasında yağ giderici çözelti olarak en fazla kullanılan organik çözücülerdir. Belirli oranda yanıcı oluşları en büyük dezavantajlarıdır.

Diklormetan: Yanıcı değildirler ve kolay ayrışma özelliğine sahiptirler. Bununla birlikte düşük kaynama noktası ve uçuculuk özelliği, buharla yağ giderme işleminde zorluk çıkartmaktadır.

Trikloretilen: Yukarıda ifade edilen gerekli özellikleri bünyesinde taşımaktadır. Ancak bu tip yağ gidericiler alüminyum için tercih edilmez.

Tetrakloretilen: Yeterli özelliklere sahip, kullanılabilir bir malzeme olup perkloretilen olarak da adlandırılmaktadırlar.

2.1.1.2.3 Emülsiyon İle Yağ Alma [2]

Metalik yüzeylerde bulunan kirlilikler, kimi zaman organik yağ gidericiler ile temizlenebildiği gibi, bazen de sadece alkali temizleyiciler ile giderilmektedir. Metalik yüzeylerin temizlenmesinde kullanılan temizleyici çeşitlerinin gösterdiği bireysel pozitif özellikleri birleştirerek daha geniş kapsamlı kirlilikleri çözebilme yeteneğine sahip bir bileşim elde edebilme gayreti, emülsiyon temizleyicilerini ortaya çıkarmıştır.

Emülsiyon temizleyicileri, suda çözünmeyen bir çözücü, emülgatörler ve sudan oluşmuştur. Emülsiyon temizleyicisinin çeşidi tamamiyle kullanılan emülgatöre bağlıdır.

Emülsiyon temizleyicileri yanıcı değildir ve bu sebeple daha güvenilir bir çalışma ortamı sağlamaktadırlar. Ayrıca saf temizleyici maddelerin ayrı işlemler ile temizleyebildiği makina yağı, tabii yağ, toz ve inorganik kirlilikleri rahatlıkla uzaklaştırır.

2.1.2 Yağ Alma İşleminin Uygulamaları [2-3]

Yağ alma işleminin uygulanması çok değişik yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu yöntemleri, malzeme yüzeyindeki kirliliklerin yoğunluğu, temizlenecek malzeme sayısı ve boyutu, kullanılan çözeltilerin yapısı, zaman ve istenilen temizlik marjı gibi çok yönlü kriterlerin oluşturduğu bir fonksiyon belirlemektedir. Uygulanan belli başlı yağ alma metodları;

- Daldırma yolu ile yağ alma
- Püskürtme yolu ile yağ alma
- Buhar fazında yağ alma
- Ultrasonik yağ alma
- Elektrolitik yağ alma.

2.1.2.1 Daldırma Yolu İle Yağ Alma

Daldırma yolu ile yağ alma en basit yağ alma tekniğidir. Banyo içerisindeki çözeltiliye bir tutucu yardımıyla sokulan malzemenin temizlenmesi, sistemin ilk ana adımını oluşturmaktadır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken nokta banyo malzemesinin çözeltinin kimyasal bileşimine dayanıklı olacak şekilde seçilmesidir.

Metal yüzeyindeki bazı kirler yüzeye çok sıkı şekilde bağlı bulunduğu durumda sadece daldırma ile yağ alma işlemi yetersiz kalmaktadır. Böyle bir durumda çözeltinin ve metalin hareketi ile kimyasal çözündürme işlemine bir de mekanik temizleme gücü eklenmektedir ki çözelti hareketi, banyo içerisine hava üfleme ve hava kabarcıkları vasıtasıyla, banyonun bir ucundan emilerek diğer ucundan verilmesi suretiyle devirdaim neticesinde hareket ettirilmesi, tambur cinsi bir cihazın kullanılması halinde tamburun rotasyonu ile çözelti hareketi veya basit karıştırıcılar ile mümkün olmaktadır.

Daldırma işleminde kullanılacak çözeltiler tamamiyle malzemeye bağlıdır ve her türlü inorganik ve organik çözücüler kullanılabilir.

2.1.2.2 Püskürtme Yolu İle Yağ Alma

Püskürtme yolu ile yağ alma, parça yüzeyindeki kirliliklerin üzerine basınç şiddetiyle püskürtülen çözeltilerin, kimyasal ve mekanik kuvvetlerin optimizasyonu sonucunda, kirlilikleri yüzeyden çözerek çalışılan alanın tabanına bırakılması işleminden ibarettir. Kapalı püskürtme makinaları, çözelti kaybını minimuma indirdiği için tercih nedenidir.

2.1.2.3 Buhar Fazında Yağ Alma

Bu yöntem, kalın bir yağ tabakasıyla kaplı bulunan malzemeler için oldukça ideal bir yöntemdir. İşlem, banyo içerisindeki çözeltilerin buharlaştırılarak metal yüzeyine teması ve burada sıcaklık farkı nedeniyle tekrar yoğunlaşarak kirlilikleri de birlikte taşımak suretiyle çözeltilere geri dönmesinden ibarettir. Cihazların, buhar fazının etrafına yayılmasını önlemek amacıyla kapalı ve gaz geçirgenliği olmayan bir konstrüksiyona sahip olması gerekir. Kullanılan çözelti kapalı ortamda çalışmanın vereceği avantajla organik esaslı olabilmektedir.

2.1.2.4 Ultrasonik Yöntemle Yağ Alma

Bu yöntemde sıvı içerisindeki ses dalgaları, kendini sadece basınç dalgaları olarak hissettirir. Temizleme yapılacak malzemenin kalınlığı, dalga boyuna oranla küçükse, ultrasonik enerjinin büyük bir kısmı malzemenin geçebilmektedir. Bu sebepten ötürü kalın parçaların temizlenmesinde alçak frekanslar tercih edilir. Bu sayede malzemenin her iki tarafı da temizlenir. Yüksek frekanslar ise kolay geçirgenliklerinden ötürü ince malzemelerde kullanılır.

Ultrasonik yağ alma yönteminde başlıca kriterler;

- Çözelti çeşidi,
- Çözelti sıcaklığı,
- Mekanik etki

Çözelti, temizlenecek malzemenin özelliğine göre değişir. Geniş oranda uygulama alanı bulunan ultrasonik bir işlemde kullanılacak sıvılar aşağıda sıralanmıştır.

- Su (ıslatıcı ilaveli)
- Sıvı asidik ve bazik çözeltiler

Fiziksel açıdan incelendiğinde ultrasonik işlemlerde su kullanımı oluşacak kavitasyon açısından faydalıdır. Suyun tek başına yüzeyi tam olarak sarması güç olduğundan ıslatıcı ilavesi mutlaka gereklidir.

Tablo 2.1 Çeşitli yağ alma yöntemleri sonrası malzeme yüzeyindeki artık kirlilikler

YÖNTEM	% ARTIK KİR
Püskürtme	86
Çözelti içinde kuvvetli hareket	70
Buhar fazında yağ alma	65
Elde fırçalama	8
Ultrasonik yağ alma	1

Amerikan mukayese testleri uyarınca temizlemeden sonra kalan kirlerin, radyoaktif indikatörler kullanılmak suretiyle incelenmesi Tablo 1’de verilmiştir.

2.1.3 Elektrolitik Yağ Alma

Kaplama öncesi yapılan son temizleme işlemi olduğundan bu yöntemin önemi büyüktür. Yüksek oranda kirliliklerin uzaklaştırılmasından çok kaplama tabakasının yeterli derecede yapışabileceği ve su ile kolayca ıslatılabilecek mikroskobik ölçüde temiz bir yüzey elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu tip yağ almanın çözeltisinde dikkat edilecek en önemli husus daha sonraki aşamada yapılacak olan durulama işleminde yüzeyden kolaylıkla uzaklaştırılabilmesidir. Elektrolitik yağ alma banyosunda katotta hidrojen ve anotta oksijen oluşumu meydana gelmektedir ki bu gazların oluşumu ile metal yüzeyinde bulunan kirlilikler ve yağ tabakaları, hidrojen ve oksijen çıkışı sayesinde malzemeden taşınırlar, [2]. Bu ifade edilen olay ancak çok ince bir yağ tabakasının mevcut olması halinde mümkündür. Yağ tabakasının kalın olması halinde elektrik akımının iletkenliği mümkün olmaz ve elektrolitik yağ giderme öncesinde mutlaka daha kaba bir temizleme işlemi gerektirir.

İyi bir elektrolitik yağ alma çözeltisinden beklenen özellikler şöyle sıralanabilir, [2];

- Yüksek elektrik iletkenliği,
- İyi ıslatma- emülsiyon-dispersiyon özelliği,
- Kirlilikleri belirli süre süspansiyon halinde tutabilme yeteneği,
- Suyu sertleştirici malzemeleri etkisiz hale getirme özelliği,
- Çok az köpük oluşumunun sağlanması,
- Ana malzemeyi etkilememe,
- Tampon özelliği gösterme,
- Metal yüzeyinden çok zor uzaklaştırılabilecek filmleri oluşturmaması,
- Rahat durulanma imkanı sağlanması,
- Kimyasal ve termik dayanıklılık,
- Zehirli olmaması,
- Ekonomik olmasıdır.

2.1.4 Dağlama [2]

Dağlama işleminin uygulanış amacı metal yüzeyinde bulunan ve yağ alma yöntemleri ile giderilemeyen kirliliklerin ortadan kaldırılmasıdır. Söz konusu olan kirlilikler yağ almadan arta kalan yağlar ki, yukarıda ifade edilen yağ alma işlemleri bazı cila ve sentetik madde benzeri kirlerin metalik yüzeyden uzaklaştırılması açısından yeterli olamamaktadır, tamamıyla yok edilememiş çizikler ve kaplamalar olabileceği gibi toz ve polisaj artığı maddeler de olabilir.

Dağlama işlemine bir alternatif olarak metalik yüzeyde arzu edilmeyen maddeleri yüzeyden uzaklaştırmak amacıyla mekanik temizleme metodları da uygulanabilir. Ancak, mekanik işlemlerin ekonomik olmayışı, işçilik ve zaman kaybı ile yüzeyde giderilmesi güç hasarlara yolaçması kimyasal olarak uygulanan ve dağlama adı verilen yüzeyi aşındırma işleminin daha verimli olmasını sağlamıştır.

Dağlama, metal kaplama endüstrisinde, yüzeydeki inorganik kirlerin belirli bir sıvı ile alınması anlamına gelmektedir ve uygulamada daldırma, püskürtme, yüzeyden çözeltiyi akıtma metodları şeklinde uygulanır. Dağlama işlemi esnasında kullanılan sıvılar, özel durumlar hariç, seyreltik asitler ve bu asitlere ilave edilen maddelerden oluşmaktadır.

Dağlama işleminde dağlama çözeltisi metal yüzeyindeki metaloksitler veya diğer metalik yüzey kirlilikleri ile tuzlar oluşturur. Bu olayı takiben dağlama çözeltisi saf metalik yüzey ile reaksiyona girerek metalik yüzeyi çözer ve aynı anda hidrojen çıkışına sebep olur. Dağlama esnasında hidrojen çok yüksek oranda oluşursa, hidrojenin uzaklaşması esnasında dağlama sıvısının belirli bir miktarı da çözeltiyi terkeder ve böylece hem asit kaybına hem de çalışma ortamındaki insanların olumsuz etkilenmesine neden olur. Bunlara ilave olarak hidrojenin çok yüksek oranda oluşması sonucunda hidrojen metal içerisinde çözünür ki buda dağlama gevrekliğine neden olur.

Dağlama işlemi esnasında oluşan hidrojen, dezavantajlarının yanında metalik yüzeyde oluşan kalıntının mekanik olarak hızla uzaklaşmasını kısa zamanda sağladığı için belirli ölçüde istenen bir olaydır.

2.1.4.1 Dağlama Çözeltileri

Dağlama çözeltisi olarak kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Sülfürikasit : Özellikle demir ve bakırın dağlanmasında kullanılmasıyla birlikte dağlama işlemi için en çok kullanılan asitler arasında yer alır. Sülfürikasit dağlama

işlemlerinde ağırlıkça %25-%30 arasında kullanılmaktadır ki bu aralık dağlama işleminin en süratli olduğu bölgeyi teşkil eder.

Hidroklorikasit : Sülfürikasit yanı sıra hidroklorikasitte çok sık kullanılan bir dağlama çözeltisidir. Bu asit demir, alüminyum, kalay, çinko, magnezyum ve krom gibi metalleri çözebilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda demir ve çinkonun dağlanmasında kullanılmakta ve buna ilave olarak yanlış kromatlanmış bölgelerden kromun uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Hidroklorikasit dağlama işlemlerinde ağırlıkça %5-%20 oranında kullanılmaktadır.

Hidroklorikasitin sülfürikasite oranla avantajları:

- Daha yüksek dağlama hızı
- Metalik yüzeydeki pas gibi oluşumlara karşı çözücülük yeteneğinin daha iyi ve dağlama yüzeyinin daha üniform olmasını sağlamasıdır.

Hidroklorikasitin sülfürikasite oranla dezavantajları:

- Hidroklorik asit kullanıldığında asidik gazlar daha kolay oluşacağından çevre ve insan sağlığı açısından daha tehlikelidir.
- Dağlanmış malzeme yüzeyinden hidroklorikasit dağlama sonrası hemen uzaklaştırılmazsa malzeme derhal oksitlenir.

Nitrikasit : Genellikle magnezyumun dağlama işleminde kullanılmaktadır. Konsantre nitrik asit, metalleri oksitleyici olarak etkir ve bu şekilde bakır, pirinç ve gümüşü rahatlıkla çözer.

Fosforikasit : Bu asit özellikle demir ve çeliklerin dağlanmasında kullanılmaktadır. Fosforikasit ile dağlanan parçalar, dağlama işleminden hemen sonra oksitlenmeye başlamazlar.

Fluorikasit : Fluorikasit silikatların çözünmesinde çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu yeteneği sayesinde çözeltilerde %2 - %5 oranında kullanılmaktadır.

Sodyumhidroksit : Alkali olarak dağlama işlemi sadece sodyumhidroksit çözeltilerinde yapılmaktadır. Bu çözelti alüminyum ve bazı özel durumlarda çinko ve demirin dağlanmasında kullanılmaktadır.

2.2 BAKIR KAPLAMA

Bakır yüksek süneklik, elektrik ve ısı iletkenliği özelliğine sahip bir metaldir. Temiz bakır yüzeyi kırmızı renkte ve parlaktır ancak havada bu parlaklığını kaybeder ve oksitlenme neticesi kahverenginde Cu_2O oluşur. Nemli havada bakır, uzun bir süre sonra yeşil bir patina tabakası ile kaplanır ki bu patina tabakası bazik bakırkarbonattan oluşur. Bütün bu özellikler elektrolitik kaplama ile elde edilen bakır tabakaları için de geçerlidir.

2.2.1 Bakır Kaplamanın Tarihçesi

Bakır kaplama ile ilgili ilk bilgiler 1800'lü yılların başlarına aittir ki ilk bakır kaplama sülfatlı asit çözeltilerinden elde edilmiştir. Siyanürlü alkali banyoların yaygın olarak kullanımı ancak 1930'larda mümkün olmuştur. Pirofosfat banyolarının kaplama patenti 1883'de alınmasına rağmen ticari olarak kullanımı 1941'de başlamıştır,[4].

Yukarıda ifade edilen bakır kaplamanın kısa tarihçesinden de anlaşılacağı gibi elektrolitik bakır kaplama hem *asit* hem de *alkali* banyolarda gerçekleştirilebilir.

2.2.2 Bakır Kaplama Banyoları

Endüstride kullanılan belli başlı bakır banyoları, [4];

1- Asit bakır kaplama banyoları

- Sülfat banyoları

- Fluoborat banyoları

2- Alkali-Siyanür bakır kaplama banyoları

- Seyreltik siyanür banyoları
- Rochelle siyanür banyoları
- Yüksek hızlı siyanür banyoları

3- Prifosfat banyoları

4- Diğer bakır kaplama banyoları

- Etilendiamin banyoları
- Sülfamat banyoları
- Fosfarik asit banyoları

Sülfürik asit esaslı olan asit banyolarının bileşim bakımından basit, rölatif olarak ucuz ve kararlı olması ve bazı koşullarda yüksek akım yoğunluklarının kullanılabilmesi bu tip banyoların avantajları olarak sıralanabilir. Asit banyolarının en büyük dezavantajları ise;

- Düşük dağıtma gücüne (throwing power) sahip olmaları,
- Elde edilecek kaplamanın, alkali banyolarda elde edilene göre daha iri taneli olması,
- Demir ve çinko esaslı malzemelerin asit banyolarına daldırılmasında elektrik akımı olmadan malzeme yüzeyinin ince, yüzeye kötü yapışmış ve gözenekli bakır ile kaplanmasıdır.

Alkali banyolarının en önemli olanı siyanür banyolarıdır ve asit banyolarındaki dezavantajlar bu tip banyolarda yoktur. Buna karşılık siyanürlü banyolarında sahip oldukları dezavantajlar mevcut olup bunlar;

- Çok kararlı olmamaları,
- Pahalı siyanür bileşiklerine ihtiyaç göstermeleri,
- Sınırlı akım yoğunluklarında çalışma imkanı vermeleri,
- Zehirli olmalarıdır.

Yukarıda asit ve siyanür bakır banyolarının detaylı olarak yapılan karşılaştırılması bir tablo haline dönüştürülebilir.

Tablo 2.2 Asit ve siyanür bakır banyolarının karşılaştırılması [5]

KARAKTERİSTİKLER	ASİT BAKIR	SİYANÜR BAKIR
Kaplama hızı	Sınırsız	Sınırlı
Kontrol	Basit	Zaman zaman kompleks
Dağıtma gücü	Zayıf	İyi
Kapatma gücü	Zayıf	İyi
Maliyet	Ucuz	Pahalı

Bu iki tip bakır banyosu arasındaki farklılığın başlıca nedeni; asit banyolarının kompleks olmayan iyonlar içermesine karşılık siyanür banyolarının kompleks iyonlar içermesidir. Başka bir ifade ile asit banyolarında metalin önemli bir miktarı kompleks olmayan iyonlar halinde mevcutken, siyanür banyolarında metalin çok küçük bir miktarı kompleks olmayan iyon olarak bulunur buna karşılık büyük bir miktarı kompleks iyonlar halindedir, [5].

Elektrolitik bakır kaplamanın yapılış amaçları şöyle sıralanabilir, [4];

- Diğer metal kaplamalarda *alt tabaka* olarak,
Çelik ve çinko alaşımları üzerine nikel-krom kaplamada, alüminyum üzerine nikel kaplamalarda *bakır alt tabaka* uygulaması yaygındır.
- Çelik ve çinko esaslı alaşımların dekoratif amaçla kaplanması,
Bakır kaplamalar şeffaf bir lak ile korunur veya kimyasal olarak renklendirilebilirler.
- Çeliklerin karbürizasyon ve nitrürasyonunda *kapatma* elemanı olarak,
Isıl işlem öncesi seçilmiş bölgeler 10-40 mikron bakır ile kaplanır ve işlem sonrası bu kaplamalar sökülür.
- Mühendislik uygulamalarında,

Bazı parçaların *kazımalı korozyonuna* engel olmak için bakır kaplama yapılır.

- Basınçlı devre imalatında
- Elektro şekillendirme uygulamalarında.

Bakır kaplamaların en yaygın kullanım alanı çok katlı kaplamalarda en alt tabakayı oluşturmasıdır. Bunun başlıca nedeni bakırın birçok metal ile çok iyi bağ oluşturmasıdır. Elektrolitik kaplamalarda çok iyi bir bağ elde etmek için metal yüzeyinin yağ, oksit ve deforme olmuş yüzey tabakasından arındırılmış olması gereklidir. Bu temiz yüzeye kaplanan metalin alt metal ile olan bağlantısı çok kuvvetlidir. Bakır kaplamalar hem çelik hem de çinko alaşımları üzerine çok iyi şekilde kaplanabildikleri gibi kendi üzerlerine kaplanan metallerle de çok iyi bağ oluştururlar. Çok katlı kaplamalarda bakır kaplamaların kullanım nedenlerinden biri de bakırın, üzerine kaplanan metalden daha ucuz olmasıdır.

2.2.3 Asitli Bakır Kaplama Banyoları [4]

2.2.3.1 Sülfat Banyoları

Asitli bakır kaplama banyoları arasında en çok kullanılan banyo *sülfat banyolarıdır*. Bu banyolarda istenilen kalınlıkta kaplama elde etmek mümkündür ve ilave maddeler kullanarak parlak, düzleme özelliği yüksek kaplama yapılabilir.

2.2.3.1.1 Banyo Bileşenleri

- Bakır sülfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).(%25.4 Cu)

Sülfat banyolarında kullanılan bakır sülfat ile sülfürik asit arasında bir ilişki mevcuttur ki bu ilişki banyodaki sülfürik asit konsantrasyonunun artışı ile banyoda çözülebilecek bakır sülfat miktarının azalması şeklindedir. Banyo sıcaklığındaki artış ile de çözünen bakır sülfat miktarı artacaktır ancak bakır sülfat, banyo sıcaklığındaki düşüşlerde, anotlarda ve çözelti yüzeyinin üzerinde kalan bölümlerde kristalize olur. Düşük bakır

sülfat konsantrasyonları da düşük akım yoğunluklarında çalışma imkanı verecektir ki bu istenen bir olay değildir.

Uygulamada kullanılması tavsiye edilen bakır sülfat oranı 150-250 g/l arasındadır.

• Sülfürik asit (H_2SO_4)

Sülfat banyolarında sülfürik asit elektrik iletkenliğini artırır ve bakır ionlarının bazik karbonat oluşturarak çökmelerine engel olur. Bunlara ilave olarak anot-katot polarizasyonunun düşük olmasını sağlar ki bu da düşük potansiyelerde dahi yüksek akım yoğunluklarına çıkma imkanı verir. Nötr çözeltilerde redüksiyonda bir değerli bakır oksit oluşur ve üzerine kaplanacak bakır gözeneklidir, asit çözeltilerde ise bir değerli bakır oksit çökmesi olmayacağından kaplama yoğun ve düzgün olacaktır.

Genelde tavsiye edilen sülfürik asit konsantrasyonu 45-110 g/l şeklindedir ve asit konsantrasyonunun artışı daha ince taneli kaplama elde edilmesine sebep olur.

2.2.3.1.2 Katkı Maddeleri

Tiüre ile beraber molas veya dekstrin kullanılması halinde ayna parlaklığında yüzey elde edilebilir. Tiüre hem parlatici hem de düzleştirici görevi görmektedir. Tavsiye edilen miktarlar 10 mg/l tiüre-100 mg/l molas, 5 mg/l tiüre-100 mg/l molas, 10 mg/l dekstrindir.

Çözeltiye 1-15 mg/l klor ionu ilavesi parlak bakır kaplamalarda tavsiye edilir.

2.2.3.1.3 Çalışma Koşulları

Asit sülfat bakır banyolarında 18-60°C arasında kaplama yapılabilir ancak uygulamada yüksek akım yoğunluklarına çıkma imkanı verdiği için 35-40°C arası sıcaklık tercih edilir. Şiddetli karıştırma ile de çok yüksek akım yoğunluklarına çıkılabilir.

Bu banyolarda katot akım verimi %100 ve kotot polarizasyonu düşük olduğu için banyoların dar bir kaplama aralığı vardır. Başka bir deyişle bu banyoların gerek *dağıtma gücü* gerekse *kapatma gücü* düşüktür. Bu sebeple banyoya anotların yerleştirilmesi önemlidir. Bu tip banyolara katkı maddesi ilave edilmez ise saçaklanma meydana gelir ancak katkı maddesi ilave edildiği zaman bile kenar ve köşe gibi yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde daha kalın kaplama elde edilecektir.

Asit çözeltilerde kullanılan bakır anotlar genellikle haddelenmiş saf bakırdır. Bununla birlikte döküm anotlar ve elektrolitik anotlarda kullanılabilir. Anotlarda yüksek polarizasyonu önlemek için karıştırılmayan çözeltilerde 5 A/dm^2 den daha yüksek akım yoğunluklarına çıkılmamalıdır. Eğer şiddetli bir karıştırma var ise 17 A/dm^2 den yüksek akım yoğunluklarına çıkılabilir. %7 gümüşlü kurşun anot gibi bazı durumlarda çözünmeyen anotlarda kullanılabilir.

Bu tip banyolarda sert ve ince taneli kaplama elde edebilmek için ;

- Düşük bakır konsantrasyonu,
- Yüksek asit konsantrasyonu,
- Kaplama bölgesinde yüksek akım yoğunluğu,
- Düşük çözelti sıcaklığı,
- Düşük karıştırma hızı,
- İlave maddeler kullanmak gereklidir.

İlk beş koşul katot civarında bakır ion konsantrasyonunu düşük tutmaya yöneliktir. Hızlı kaplama yapılmak istendiği zaman katot civarında bakır ion konsantrasyonunu yüksek tutacak tedbirler alınır.

Sülfat banyoları, bakıra göre çok aktif olan çinko, nikel ve demir gibi metallerin iyonlarına çok hassas değildir. Bu iyonların önemli miktarlarda banyoda birikmesi kaplama işlemini zorlaştırmaz. Arsenik ve antimuanın ise bakır kaplamada kötü etkiye sahip olmaları nedeni ile banyoda bulunmaları istenmemektedir.

2.2.3.2 Flüoborat Banyoları

Bu banyo yüksek kaplama hızında istenilen kalınlıkta kaplama yapma imkanı verir. Banyonun kolay kontrol edilmesiyle birlikte kararlı bir yapısı vardır ve ilave maddelerle sert ve yüksek mukavemetli kaplamalar elde edilebilir. Flüoborat banyolarının başlıca avantajları aşağıda verilmiştir.

- Flüoboratın yüksek çözünürlülüğü,
- Çözeltinin çok kararlı olması,
- Yüksek akım yoğunluklarında dahi yoğun ve ince taneli kaplamanın elde edilebilmesidir.

2.2.3.2.1 Banyo Bileşenleri

Bakır flüoborat ($\text{Cu}(\text{BF})_2$)

Bakır flüoboratın sudaki çözünürlülüğü bakır sülfattan daha fazladır. Bu sebeple flüoborat banyosundaki bakır iyon konsantrasyonu aynı miktarda asit içeren bakır sülfat banyosundan daha fazla olacaktır.

Flüoborik asit (HBF_4)

Banyonun pH 1.7 den büyük olacak şekilde flüoborik asit miktarı az ise elde edilen bakır kaplama donuk, koyu ve kırılğan olur. Buna karşılık banyoda 15 g/l den fazla flüoborik asit veya 220 g/l den fazla bakır flüoborat mevcut ise banyonun iletkenliği azalır.

Borik asit (H_3BO_3)

Flüoborat banyolarında borik asitin görevi banyoyu kararlı kılmak ve bakır flüoboratın ayrışmasını engellemektir, bununla birlikte banyo iletkenliğini de bir miktar azaltmaktadır.

2.2.3.2.2 Katkı Maddeleri

Bu tip banyolarda genellikle katkı maddelerine ihtiyaç yoktur ancak molas ilavesi kaplamayı sertleştirir ve kenar etkisini azaltır. Sülfat banyolarında kullanılan ilave maddeler bu banyoda da kullanılabilir.

2.2.3.2.3 Çalışma Koşulları

Sülfat banyolarında kullanılan anotlar bu banyolarda da kullanılabilir. Flüoborat banyoları *yüksek* ve *düşük* konsantrasyonlu olmak üzere iki gruba ayrılır. *Düşük konsantrasyonlu flüoborat banyoları* için bakır flüoborat 225 g/l, flüoborik ve borik asit konsantrasyonları 15 g/l olup pH 1.2 ile 1.7 arasında değişir. *Yüksek konsantrasyonlu flüoborat banyolarında* ise bakır flüoborat 450 g/l, flüoborik ve borik asit konsantrasyonları 30 g/l olup pH 0.2 ile 0.6 arasında değişmektedir.

2.2.3.2.4. Asitli Bakır Banyolarının Kontrolü [5]

Asitli bakır banyolarının kontrolü basittir. Bu tip banyolarda ağırlık ölçümü ve asit içeriği tayini için titrasyon işlemleri yapılır. Ölçülen ağırlık, bakır banyosundaki sülfürik asit ve bakır sülfat kristallerinin toplam içeriğini vermektedir. Titrasyon işlemi ile mevcut asit içeriği tespit edilir. Asitli bakır banyosundaki bakır sülfat kristallerinin miktarı ise toplam ağırlık miktarından asit miktarının çıkarılması ile bulunabilir.

2.2.4 Alkali Siyanür Bakır Kaplama Banyoları [6]

Siyanür bakır banyoları 1915'lerden önce alkali siyanür içerisinde bakır karbonatın çözünmesi ile elde edilmiştir. 1915 yılında Watts tarafından kaplama banyosunun bileşimi tanımlanmıştır. Watts tarafından tanımlanan banyodan elde edilen kaplama ince olup havada oksitlendiği için dekoratif amaçla kullanılmıştır.

1930'lara kadar kalın bakır kaplama için büyük bir talep olmamıştır ta ki 1930'larda çinko kokil döküm parçaların otomatik sektöründe ve diğer alanlarda geniş kullanım

imkanı bulması ile bu değişmiştir. 1934 yılında Castell tarafından çinko kokil döküm parçaları üzerine nikel ve krom kaplayabilmek için gerekli bakır alt kaplaması üzerine ilk çalışmalar yapılmıştır. Bu dönemlerde siyanür bakır banyolarından elde edilen kaplama ince olduğundan kalın bakır kaplama sülfat banyolarından elde ediliyordu. Buna karşılık asit banyolarında zayıf metal dağılımı, yüzey pürüzlülüğü ve saçaklanma söz konusuydu. Bu sebeplerden dolayı siyanür bakır banyo formüllerinde hızlı bir gelişme olmuş ve buna ilave olarak özel tekniklerin kullanımı ile yüksek kalitede bakır kaplama elde edilmiştir.

Daha yüksek konsantrelerde siyanür bakır banyo kullanımına yönelik ilk çalışmalar 1933 ve 1935 yılları arasında Pan tarafından gerçekleştirilmiştir ki bu çalışmalarda nispeten düşük serbest siyanürlü banyo kullanılmıştır. Düşük sıcaklıklarda çalışan bu banyolardan elde edilen kaplama yaklaşık 25µ kalınlıkta, pürüzlü ve mat olup ayrıca anodun polarizasyonu bir problem oluşturmıştır.

1938 yılında ticari anlamda ilk olarak yüksek hızlı siyanür banyoları bulunmuştur. Bu banyolar çelik parçalar kadar çinko kokil döküm parçaların kaplanmasında da iyi sonuç vermiştir. Bu siyanürlü banyolar işletmelerde 77-82°C arasındaki sıcaklıklarda çalıştırılmıştır. Anot korozyonunu önlemek ve banyonun iletkenliğini arttırmak için banyoya alkali ilave edilmiştir.

Yüksek hızlı siyanür bakır banyolarının bulunuşunu takip eden en önemli gelişme bakır kaplama esnasında kaplama-sökme çevriminin uygulanmasıdır. Kaplama esnasında akımı kesme veya kaplama-sökme çevrimi gibi tekniklerin uygulanması kaplamanın özelliklerini iyileştirmektedir.

Alkali siyanür bakır banyolarının kullanım alanları kısaca şöyle özetlenebilir, [4];

- Nikel - Krom kaplama öncesi *alt kaplama* olarak,
- Yüksek dağıtma gücü nedeni ile pürüzlü parçaların pürüzlerinin giderilmesi ve parlatma masraflarından tasarruf amacı ile,

- Demirden mamül malzemelerin sertleştirilmesinde yüzeyin belirli kısımlarını maskelemede,
- Elektrik endüstrisinde kullanılan çelik tellerin kalın bakır ile kaplanması,
- Elektronikte basılı devrelerde
- Dekoratif amaçlı olarak kullanılmaktadır.

2.2.4.1 Banyo Bileşenleri

Alkali siyanür bakır kaplama banyolarının iki ana bileşeni vardır ki bunlar bakır siyanür ile sodyum veya potasyum siyanürdür. Bu bileşenlerin etkileri şöyle özetlenebilir. Siyanür banyolarında bakır, bakır siyanür komplekslerini oluşturur ki bu komplekslerde bakır *bir* değerlidir (Cu^+). Genel olarak çözelti içinde bulunan 1 mol bakır siyanürün 2 mol sodyum siyanürü bağladığı kabul edilebilir. Bu miktardan fazla sodyum siyanüre *serbest siyanür* denir. Banyodaki bakır siyanür miktarı 1.1 ile çarpılırsa *bağlı sodyum siyanür* veya 1.45 ile çarpılırsa *bağlı potasyum siyanür* miktarı bulunur. Toplam siyanürden, bağlı siyanür çıkarılınca *serbest siyanür* kalır, [4].

Bakırın siyanürlü bileşiklerde kompleks halde olması sonucu kompleksin parçalanarak bakırın metalik hale geçmesi için daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Bu sebeple bu banyolarda katota sülfat banyolarına göre “bir” voltan fazla ilave potansiyel uygulamak gerekir. Bakırın metal halinde açığa çıkacağı bu potansiyel bölgesinde hidrojen de gaz halinde açığa çıkabilir. Bu nedenlerden dolayı siyanürlü banyolarda (yüksek hızlılar hariç) katot akım verimi %100 den çok düşüktür, [4].

• Bakır siyanür (CuCN)

Bakır siyanür, su içinde çözünmemesine rağmen çözünür kompleksler şeklinde alkali metal siyanür içeren sulu çözeltiler içinde eriyebilmektedir. İki ve dört siyanürlü komplekslerin mevcut olduğu bilinmesine rağmen genellikle tüm metalin üç siyanürlü kompleksler ($\text{Cu}(\text{CN})_3^-$) şeklinde mevcut olduğuna inanılmaktadır. Potasyum siyanür veya sodyumla şekillenmiş kompleks tuzların bileşimleri benzerdir ancak potasyum tuzları daha çözünürdür. Banyodaki serbest siyanür konsantrasyonu artan

sıcaklıklarda artar çünkü daha yüksek sıcaklıklarda daha düşük kompleksler şekilleneceğinden bunlar daha az sodyum siyanürü bağlayabilecektir, [6].

• **Serbest siyanür (NaCN, KCN)**

Seyreltik ve Rochelle banyolarındaki serbest siyanürün metalik bakıra oranı yüksek hızlı banyolardan daha yüksektir. Bu durum daha düşük katot verimini ortaya çıkartmaktadır. Seyreltik ve Rochelle banyolarında, katotta aynı anda hidrojen serbest bırakılır ve bu olay ilave temizlik sağlamaktadır. Seyreltik ve Rochelle banyoları, istenilen tip kaplama elde edebilmek için metale göre nispeten yüksek serbest siyanürle çalıştırılırlar. Seyreltik kaplama banyolarında kaplamanın mükemmel yapışması düşük metalle birleştirilmiş yüksek serbest siyanür olarak yorumlanabilir. Serbest siyanür, bakır anotların iyi çözünmesi için tüm siyanürlü bakır kaplama banyolarında gereklidir. Eğer serbest siyanür oranı çok düşük ise anot yalıtkan bir filmle kaplanır. Serbest siyanür, Seyreltik ve Rochelle banyolarında iletkenliği arttırmaktadır, [6]. Bununla birlikte serbest siyanürün fazla olması ise katot yani metal toplanma akım verimini azaltır. Seyreltik ve Rochelle siyanür banyolarında serbest siyanürün çözeltideki bakıra oranı yüksek olduğu için katot verimi düşüktür. Yüksek hızlı banyolarda ise tersi mevcut olduğu için %100 verimle bakır kaplama yapılabilir, [4].

• **Sodyum veya potasyum hidroksit (NaOH, KOH)**

Sodyum veya potasyum hidroksit, yüksek hızlı banyolara öncelikle dağıtma gücünü iyileştirmek ve iyi elektrik iletkenliği sağlamak için ilave edilir. Alkali, iyi anot korozyonu içinde gereklidir. Yüksek hızlı banyolardan elde edilen kaplamanın parlaklığı alkali metal hidroksit tarafından etkilenir. Genellikle Seyreltik ve Rochelle banyolarına pH belirli bir aralıkta tutmak veya ayarlamak için sadece küçük miktarda kostik ilave edilir, [6].

• **Karbonat (Na_2CO_3) veya (K_2CO_3) [4,6]**

Seyreltik ve Rochelle banyolarında karbonatlar 10.8-11.5 pH değerleri arasında kuvvetli tampon etkisi gösterir ve bunun sonucu olarak pH kontrolü kolaylaşır ve buna ilave olarak anot polarizasyonu azalır.

Önemli miktarlarda sodyum veya potasyum hidroksit içeren yüksek hızlı banyolarda ise karbonatların faydalı bir etkisi yoktur. Bu banyolarda anot yüzeyinde siyanür kökünün oksidasyonu ile kendi kendine karbonatlar oluşur. Buna ilave olarak banyodaki alkali tarafından havanın karbon dioksitinin absorplanması ve siyanürün hidrolizi ile de karbonatlar meydana gelir. Yüksek hızlı banyolarda tabii olarak oluşmuş ortalama 50 g/l sodyum karbonata rastlanır. Karbonat oluşumu banyoda siyanür sarfiyatına neden olduğu için hem serbest siyanür kontrolünü zorlaştırması hem de maksimum kaplama hızının muhafazasının zorlaşması nedeniyle banyoda 90g/l sodyum karbonat veya 120 g/l potasyum karbonat değerleri aşılmamalıdır.

• **Tartarat (Rochelle tuzu : $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)**

Tartarat düşük hızlı banyolarda kullanılır ve tartaratın anot üzerinde bakırla geçici kompleksler oluşturduğuna inanılır. Tartarat içeren banyolar, anot çözünmesi bozulmaksızın daha yüksek akım yoğunluğu ve veriminde ve daha düşük serbest siyanürle çalıştırılırlar. Rochelle tuzu kullanımı ile daha iyi kalitede kaplama elde etme kompleks tuzların oluşumu ile ilişkilendirilir. Banyolar yaklaşık 45 g/l Rochelle tuzu ile çalıştırılır, [6].

2.2.4.2 Seyreltik Siyanür Banyoları [4]

Bu banyonun kullanım amacı genellikle *ince alt kaplama* yapmaya yöneliktir. Elde edilen kaplamanın kalınlığı 0.5-1 μm arasında olup 2.5 μm 'yi geçmemektedir.

Bu tip banyolarda kaplama hızı banyodaki serbest siyanür miktarı değiştirilerek ayarlanabilir. Banyoda mevcut serbest siyanür miktarındaki artış kaplama hızında bir

azalışa neden olur. Buna karşılık banyoya bakır siyanür ilave edilirse kaplama hızında bir artış gözlenir ancak bu durumda da serbest siyanür miktarı azalacağından banyonun kontrolü güçleşir.

Seyreltik siyanür banyoları düşük konsantrasyon, sıcaklık ve verimlerde çalıştırılınca değişimlere çok hassastır. Katot verimini arttırmak için yüksek sıcaklıklarda çalışmak gereklidir.

Banyonun karıştırılması banyo bileşiminin her yerde aynı ve anot çözünmesinin daha üniform olmasını sağlar. Karıştırma havayla veya hareketli katot ile olabilir. Ayrıca banyoda hareket, akım yoğunluğunu tehlikesiz artırma imkanı vererek daha parlak kaplama yapılabilmesini temin eder.

Seyreltik siyanür banyolarına genelde katkı maddesi konulmaz. Çözeltiye konulan 4g/l sodyum hidroksit, çelik, pirinç ve bakır üzerine kaplanan bakırın sünekliğini artırır.

2.2.4.3 Rochelle Siyanür Banyoları [4]

Rochelle siyanür banyoları hem ince alt kaplama hem de kalın kaplama yapımında kullanılır. Bu banyolar seyreltik siyanür banyoları kadar düşük verimli, kontrolü zor ve yüksek hızlı siyanür banyoları kadar da kirliliğe hassas değildir. Rochelle siyanür banyolarında bir ince alt kaplama yapmadan 2.5-7.5 μm kalınlığında bakır kaplama elde edilebilir ve elde edilen kaplama ince tanelidir.

Rochelle tuzu hem anodun çabuk pasivasyonunu önleyen hem de düşük serbest siyanür ile çalışabilme imkanı veren bir *depasivatördür*. Siyanürlü çözeltide anot yüzeyinde CuCN filmi oluşur ve daha yüksek akım yoğunluklarında meydana gelen Cu^{2+} ionları çözünmeyen mavi renkte hidratlar olarak metal yüzeyinde çökerler. Bu sebepten dolayı anot akımı, bakır çözünmesi yerine oksijen çıkışı ve siyanürün siyanata oksidasyonunda sarfedilir. Halbuki Rochelle tuzu çözünebilir bakır oksitinin meydana gelmesine sebep olur, dolayısıyla anottan pasivasyon tehlikesi olmadan daha yüksek akım yoğunlukları geçirilebilir. Rochelle tuzu ile bakır konsantrasyonu sabit kalırken

siyanür sarfiyatı önemli oranda azaltılabilir. Bu hem teknik hem de ekonomik bir avantaj sağlar. Bu banyoların dağıtma gücü yüksek hızlı siyanür banyolarından daha iyidir çünkü katot veriminin yükselmesi dağıtma gücüne ters yönde etki eder.

Banyoda sıcaklık artışı hem anot hem de katot akım verimlerini arttırırken siyanür ayrışmasına ve karbonat birikimine de yolaçar. Bu sebeple Rochelle banyolarında optimum sıcaklık olarak 70°C tavsiye edilir. Çözelti için en iyi pH aralığı 12.5-12.8 dir. pH çok artarsa anot akım verimi azalırken aynı zamanda çinko basınçlı döküm parçaların kimyasal çözünmesine neden olur. Anot alanının %5 i kadar bir kısmını çelik anotla değiştirmek bakır anotların fazla polarizasyonunu önler.

2.2.4.4 Yüksek Hızlı Siyanür Banyoları [6]

Bu banyolarda adından da anlaşılacağı gibi kaplama hızı, Seyretilik ve Rochelle banyolarındaki kaplama hızından daha yüksektir. Yüksek hızlı banyolarda gerekli kalınlığı daha kısa sürede elde etmek diğer siyanür bakır kaplama banyoları ile karşılaştırıldığında bir avantajdır ve buna ilave olarak elde edilen kaplamanın parlaklığı önemli bir faktördür.

Yüksek hızlı siyanür banyolarında maksimum kaplama hızı için daha yüksek sıcaklık tercih edilmesine karşılık 60-80°C sıcaklık aralığı normal çalışma şartlarıdır. Ticari uygulamalarda katot akım yoğunluğu kaplanan parçanın şekline bağlı olarak 1-11 A/dm² arasında değişmektedir. Bu tip banyolarda iyi kalitede kaplama üretimi yapabilmek için %100 katot verimi ile çalışılmalıdır ve mat, yanık kaplama üretimine sebep olduğu için katotta hidrojen yayılımına izin verilmemelidir.

Anot akım yoğunluğu 1.5 ile 4 A/dm² arasında değiştiği durumlarda %100 anot verimi ile çalışılır. Banyonun çok düşük akım yoğunluklarında çalışması durumunda anot yüzeyinde taneler arası korozyon oluşur ve bunun sonucunda da anottan bakır tanecikleri koparak ayrılır. Anottan ayrılan bakır tanecikleri kaplanan parçanın üzerine yapışarak ciddi bir pürüzlülüğe neden olur. Bazı tip organik ilavelerin anot korozyonunu iyileştirmede önemli bir rol oynadığı ileri sürülmektedir. Bu organik

ilavelerin, muhtemelen anot yüzeyi üzerinde bir ince organik film oluşturdıkları ve bunun sonucu olarak da anot korozyonunun kolaylaşarak bakır parçacıklarının oluşum eğiliminin azaldığı şeklinde bir yorum yapılmaktadır.

Çözelti sirkülasyonu ve elektrolitin hareketi banyodan optimum performans elde etmek için önemlidir. Çözeltinin şiddetli sirkülasyonu, kaplanan parçanın yüzeyine yapışan hidrojen baloncuklarının (bubbles) sebep olduğu oyukların minimum olmasında kaplama hızını yükseltmek kadar etkilidir. Sirkülasyon, hava veya pompa ile temin edilir. Yüksek hızlı banyolarda parlatici olarak kurşun ve selenyum bileşikleri kullanılmaktadır ki selenyum istenen parlak katot akım yoğunluğunu arttırmaktadır. Tabii olarak yüksek hızlı banyolar organik kirliliğe duyarlıdır. Bu kirlilikler kaplamada matlığa ve oyuklaşmaya neden olabilirler. Yüksek hızlı banyolarda yüzey gerilimini azaltmak ve organik kirliliğe el koymak için ilave maddeler kullanılır.

Alkali siyanür bakır banyolarında, kaplama karakteristiği uygulanan akımı idare etme teknikleri kullanılarak iyileştirilebilir. Kaplanacak parça seçilen zaman içinde kaplanır ve bunun akabinde yine belirlenen zaman içinde kaplamanın bir bölümü sökülür. Bu teknik *periodik akım çevrimi* olarak isimlendirilir. 2-40 sn. kaplama ve 1/2-10 sn. sökme şeklindeki periodik akım çevrimi Jernstedt tarafından tanımlanmıştır. Uygulanan bir diğer teknik ise *akım kesme çevrimidir*. Çinko esaslı basınçlı döküm parçalar için 10sn. kaplama arkasından da 1sn. akım kesme ve hemen arkasından tekrar kaplama işlemi uygulanır. Gerek periodik akım çevrimi gerekse akım kesme yönteminin amacı düzgün bir kaplama yüzeyi elde etmektir. Yukarıda adı geçen iki yöntemden *periodik akım çevrimi* yöntemi ile daha düzgün bir yüzey elde edilir ancak *akım kesme çevrimi* yöntemi kaplanacak yüzeyin düzgün bir bakır tabakası ile örtülmesi için yeterlidir.

2.2.4.5 Alkali Siyanür Bakır Kaplama Banyolarının Bakım ve Kontrolü [6]

Analitik methodlar normal banyo bileşenlerinin konsantrasyonunu tespit etmede elverişlidir. Bununla birlikte karbonat, ferrosiyanür ve Zn gibi kirlilikleri tespit etmek

içinde bu methodlar kullanılır. Hull hücresi, organik kirlilikleri tespit etmek, ilave maddeleri kontrol etmek ve değişik temizleme işlemlerinin faydasını tespit etmek için geniş oranda kullanılmaktadır.

Kaplama öncesi parçanın iyi temizlenmesi ve mükemmel yıkanması çok önemlidir, bunun sebebi ise siyanürlü bakır banyolarının organik kirliliğe çok hassas olmasıdır. Bu tip banyolar aktif karbonlu kartuj kullanılan filtre ile sürekli olarak filtre edilmelidir. Banyodaki kirlilik oranı aşırı ise aktif karbonlama yöntemi uygulanır. Aktif karbonlama öncesi banyoya %35 lik hidrojen peroksitten yaklaşık 1 ml/l olacak şekilde ilave yapılırsa temizlemenin etkisi iyileştirilebilir.

Alkali siyanür bakır kaplama banyolarında aşırı miktardaki karbonat parlak akım yoğunluğu bölgesini azaltır ve taneli kaplama oluşmasına neden olur. Banyodaki karbonat konsantrasyonu yaklaşık 90 g/l sodyum karbonatı veya 118 g/l potasyum karbonatı aştığında mutlaka uzaklaştırılmalıdır. Banyo içindeki karbonat kalsiyum hidroksit ilavesi ile çöktürülür ve arkasından banyo süzülerek karbonat uzaklaştırılır. Bir başka yöntem olarak da banyo sıcaklığı yaklaşık 30°C ye indirilerek karbonat kristalleştirilir ancak bu prosedür tüm sıcaklıklarda potasyum karbonatın yüksek çözünürlülüğünden dolayı potasyum tuzlu banyolarda uygun değildir.

Krom 5-10 ppm gibi çok düşük konsantrasyonlarda bile varolduğu zaman siyanürlü bakır banyoları için zararlıdır. Bakır banyosundaki krom, mat ve üniform olmayan kaplama üretilmesine neden olur. Krom düşük konsantrasyonlarda mevcut olduğu zaman düşük akım yoğunluklarında lekeli kaplamaya neden olurken krom konsantrasyonundaki artış ile daha yüksek akım yoğunluklarında lekeli kaplama elde edilir. Banyo içindeki kromun olumsuz etkisi ethylenediaminetetra astetik asit tipi tutucu madde ilavesi ile giderilebilir. Bu tip tutucu maddeler indirgeyici ajanlar gibi çalışmamalarına rağmen, krom tutucu maddede bulunan Cu^{+1} ionu tarafından banyodaki krom Cr^{+3} e indirgenir. İndirgenen krom zamanla çökelir ve filtrasyon ile uzaklaştırılabilir.

Siyanürlü bakır banyolarında, yüksek konsantrasyonlardaki çinko gevrek kaplamaya neden olduğu için istenmemektedir. Banyodaki çinko konsantrasyonu 1.5-2.25 g/l kadar düşük olduğu zaman kaplama pirinç şeklinde bir görünüş kazanmaktadır. Çinko zararlı konsantrasyon miktarına ulaştığı zaman ortalama 0.3-0.5 A/dm² uygulanan elektroliz ile uzaklaştırılabilir.

2.3 NİKEL KAPLAMA

Metal kaplama sektöründe “nikel kaplamanın” önemli bir yeri vardır. Nikel kaplama başlıca üç amaçla yapılır, [7].

- 1- Dekoratif
- 2- Korozyona karşı koruma
- 3- Mühendislik

Genellikle parçanın nikel kaplanmasıyla bu amaçların birden fazlası gerçekleşmektedir. Nikel kaplama demir-çelik parçalara, çinko basınçlı döküm parçalara ve demirdışı metal veya alaşımlı parçalara uygulanabilmektedir. Bu parçaların nikel kaplanmasındaki amaç atmosferin korozyon etkisinden korunmak olduğu kadar dekoratif bir görüntü elde etmektir. Dekoratif amaçla kaplama yapılıyorsa, nikelin zamanla atmosferik etki sonucu parlaklık ve renginin değişmesini engellemek için nikel üzerine çok ince bir krom kaplama gerçekleştirilir. Gerek alt metalin içeriğine (zamak gibi) bağlı olarak yapılması zorunlu olan gerekse nikel sarfiyatını azaltmak için kullanılan alt bakır kaplama göz önünde tutulursa *bakır -nikel -krom* kaplama dekoratif *çok katlı* kaplamalardır. Tek olarak yapılan nikel kaplama ise alt metalin korozyondan korunmasını sağlamak, kimyasal ürünlerin alt metale ulaşmasını engellemek, sürtünme direncini yükseltmek ve sertliği arttırmak gibi amaçlarla yapılır, [7].

Sadece metalik parçalar değil aynı zamanda metalik olmayan parçalar da (plastik, tahta, alçı gibi) nikel kaplanabilir, [7].

Günümüzde mat, yarı parlak ve parlak nikel kaplamalar yapılmaktadır. Bununla birlikte siyah ve renkli nikel kaplamalarda üretilmektedir. Bu tip nikel kaplamaların kalınlığı yaklaşık 5-40µm arasındadır, [7].

2.3.1 Nikel Kaplamanın Tarihçesi [6]

Nikel kaplamanın tarihi bir yüzyıl öncesine kadar uzanmaktadır. İlk elektrolitik nikel kaplama 1837 yılında G. Bird tarafından yapılmıştır. Ticari anlamda uzun yıllar kullanılan nikel banyosunun mucidi ise R. Böttger'dir. Böttger'in 1843 yılında bulunduğu nikel banyosunun içeriği ise nikel ve amonyum sülfattır. 1849'da Roseleur'un çalışmasını takiben 1869 yılında Adams ilk kez ticari olarak alt metal üzerine başarıyla nikel kaplama yapmıştır ki kullandığı banyo çift tuzludur. Bunu takip eden gelişme ise Weston tarafından nikel banyosuna borik asitin ilave edilmesi ve parlatici olarak Cd tuzlarının ilavesidir. Nikel kaplamacılığında önemli bir adım ise 1916 yılında Watts tarafından *Watts banyosunun* keşfi ile olmuştur. 1934 yılında da Schlötter, parlak nikel kaplama banyosunu bulmuştur. 1959 yılından itibaren de nikel kaplama banyolarında anotlar titanyum sepetler içinde kullanılmaya başlanmıştır. Nikel banyolarında yarı parlak ve parlak nikel kaplama banyolarının dizaynı, elektrolitin sıcaklığının yükseltilmesi, yapılan kaplamanın düşük gerilme ve yüksek sünekliğinin öneminin anlaşılması ve otomatik kaplama aletlerinin gelişimi günümüzde nikel kaplamada yüksek üretim hızını ve düşük maliyeti mümkün kılmıştır.

2.3.2 Nikel Kaplama Banyoları [7]

Nikel kaplama banyolarını değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bu tip banyoları bileşimlerine göre sınıflandırmak gerekirse;

- 1- Watts banyoları
- 2- Parlak nikel banyoları
- 3- Tüm sülfatlı banyolar
- 4- Tüm klorürlü banyolar
- 5- Nikel sülfamat banyoları (Klorürsüz, klorürlü, yüksek hızlı)

6- Özel amaçlı banyolar (Tambur kaplama, siyah kaplama, plastik üzerine kaplama gibi)

Kullanım amacına göre nikel banyolarını sınıflandırmak gerekirse;

- 1- Dekoratif kaplama banyoları,
- 2- Korozyon direnci yükseltilmiş dekoratif kaplama banyoları,
- 3- Mühendislik amaçlı kaplama banyoları.

2.3.2.1 Watts Banyoları

Orjinal Watts banyosu formülü, [7];

Nikel sülfat ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	240 g/l
Nikel Klorür ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	20 g/l
Borik asit (H_3BO_3)	20 g/l

Günümüzde kullanılan Watts banyolarının formülü daha geniş bir bileşim sınırına sahiptir, [7];

Nikel sülfat ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	150-400 g/l
Nikel Klorür ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	20-80 g/l
Borik asit (H_3BO_3)	15-50 g/l

Günümüz nikel kaplamacılığında en fazla rabet gören banyolar Watts banyoları olup bu banyolarda demir, çinko ve bakır esaslı alaşımları nikel kaplamak mümkündür. Watts banyolarında mühendislik amacıyla sert nikel kaplama yapılabildiği gibi banyoya ilave edilen katkı maddeleri sayesinde parlak ve yarı parlak dekoratif amaçlı kaplamalarda elde edilebilir.

2.3.2.1.1 Banyo Bileşenleri

• Nikel Sülfat ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) [6]

Watts banyolarındaki nikel ionu içeriği nikel sülfat tarafından temin edilmektedir. Bu tuzun kullanılmasının nedenleri; suda yüksek çözünme özelliğine sahip olması, kompleks olmayan iyonlar vermesi, katotda indirgenmemesi, anotta yükseltgenmemesi, buharlaşmaması ve klorürlere göre daha az korozif olmasıdır. Bunlara ilave olarak nikel sülfat ticari olarak kolay bulunabilir ve ucuzdur.

Nikel kaplama banyolarında kullanılan nikel sülfatın konsantrasyonunun artışı yüksek akım yoğunluklarında başka bir deyişle yüksek kaplama hızlarında çalışma imkanı verir.

• Nikel Klorür ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Watts banyolarına ilave edilen nikel klorürün başlıca görevi anot polarizasyonunu azaltarak tank voltajının azalmasına sebep olmaktır. Sisteme ilave edilen klorür ionu bu etkisinin yanında banyonun iletkenliğini artırması, katot potansiyel eğrisinin eğimini, elektrolitin iletkenliğini ve katot potansiyelini arttırmasının bir sonucu olarak da banyonun dağıtma gücünü arttırması gibi özelliklere sahiptir, [6].

Klasik Watts banyolarında nikel klorür kullanılmasına karşın özellikle Avrupa da sisteme klorür nikel klorür olarak değil sodyum klorür olarak katılır. Burada sodyum klorürün kirletici iyonlar açısından nikel klorüre göre daha arı olması, daha yüksek iletkenlik sağlaması ve ucuz olmasının etkisi vardır. Buna karşılık sodyum klorür kullanıldığı zaman elde edilecek kaplamanın geriliminin daha fazla olması bir dezavantajdır, [7].

• Borik Asit (H_3BO_3) [6-7]

Borik asit, Watts banyolarında tampon çözeltisi olarak görev yapmaktadır ki tampon çözeltiler kaplama banyosunun her tarafında pH değişimlerini ayarlayarak istenilen kalitede kaplama elde edilmesini temin ederler. Tampon çözelti ilavesi yapılmaksızın olağan sıcaklıklarda elde edilen nikel kaplama sert, çatlaklı ve oyuklu olacaktır. Buna karşılık Blum ve Kasper tampon çözelti ilavesi yapmadan çok sıcak elektrolitlerden mükemmel nikel kaplama elde etmişlerdir. Borik asitin nikel banyosunu tamponlama hareketi pH 4-5 arasındadır. Borik asit konsantrasyonu Watts banyolarında kritik değildir.

Özel amaçlı ticari nikel banyoları günümüzde mevcut olup bu banyolarda tampon çözeltisi olarak borik asit yerine sitrik, tartarik, asetik asit ve bunların alkali tuzları kullanılmaktadır. Ancak genelde tampon çözeltisi olarak borik asit tercih edilir ki bunun nedeni de oldukça arı borik asitin nispeten ucuz olarak piyasadan temin edilebilmesidir.

• Katkı Maddeleri [7]

Watts banyolarında nikel kaplama esnasında az da olsa hidrojen açığa çıkmaktadır. Kaplama esnasında oluşan bu hidrojen habbecikleri metal parçanın yüzeyine yapışarak kaplamayı engellemekte ve bu noktalarda oyuk (pitting) oluşumu gözlenmektedir. Bunun için banyo çözeltisinin yüzey gerilimini azaltarak hidrojen habbelerinin metal yüzeyine yapışmalarını engellemek için çözeltiliye yüzey aktif aniyonik organik maddeler ilave edilir. En yaygın kullanılan organik ıslatıcılar sodyum loril sülfat (0.1-0.5 g/l), sodyum alkil sülfat veya diğer 8 ila 18 atom karbon içeren primer alkol sülfatlarıdır.

2.3.2.1.2 Nikel Kaplamanın Yapısı ve Mekanik Özellikleri [6]

Watts banyolarından elde edilen nikel kaplamanın mekanik özellikleri ve metallografik yapısı çözeltinin kompozisyonuna, akım yoğunluğuna, sıcaklığına ve pH'a bağlıdır.

55°C ve pH 2 çalışma şartlarında kaplama yapıldığı zaman elde edilen kaplama kolonsu yapıda olup artan kalınlıkla daha iri taneli bir yapı elde edilir. Tane incelmesi, banyoda pH veya klorür içeriği arttığı zaman veya sıcaklık azaldığı zaman gerçekleşir. Nikel kaplamanın sertliği, çekme mukavemeti ve sünekliği birbirine bağlı olarak değişir. Kaplama sertliğindeki bir artış, süneklikte azalmaya ve çekme mukavemetinde bir artışa neden olur.

Sünek bir nikel kaplama pH 4.5 veya daha düşük pH'larda elde edilir. Örneğin; 3500 kg/cm² çekme mukavemeti, %37 uzama ve 100 Vickers sertlik pH 4.5 da kaplama ile elde edilir. Kaplama banyosunda pH 3'ün altına düşürülürse sertlikte yavaş yavaş bir yükselme gözlenirken pH değeri 5'in üzerine çıkartılırsa sertlikte hızlı bir artış gözlenir.

2.3.2.2 Parlak Nikel Kaplama [6-7]

Parlak nikel kaplama banyoları temelde Watts banyolarıdır ki bu banyolar parlak kaplanmış metal yüzeyi elde edebilmek için Watts banyosuna organik maddelerin ilavesiyle elde edilir. Watts banyolarındaki nikel tuzları ve borik asit parlak nikel banyolarında da aynı fonksiyonlara sahiptir.

Tüm parlaticılar nispeten yüksek akım yoğunluklarında en iyi sonucu verdiklerinden parlak nikel banyolarında daha yüksek nikel içeriğine (75-100 g/l) ihtiyaç vardır. Bu banyolarda klorür içeriği en az 14 g/l olmalıdır ki bazı durumlarda banyonun klorür içeriği 68 g/l'ye kadar yükselir. Parlak nikel banyosundaki borik asit içeriği en az 38 g/l olmalıdır ve banyoda daha yüksek borik asit içeriği süneklik ve yapışmayı kolaylaştırır.

Parlak nikel kaplama banyolarında kullanılan parlaticılar iki farklı sınıfa ayrılır. Birinci sınıf parlaticılar polisajlı alt metal üzerinde parlak bir kaplama olmasını temin ederler ancak bu parlaklık kaplama kalınlığı arttıkça azalacaktır. Bu sınıf parlaticılar kritik üst konsantrasyona sahip değildirler ve nikel kaplamanın yapışma ve sünekliğine müdahale etmeksizin oldukça yüksek konsantrasyonlarda kullanılırlar. İkinci sınıf

parlatıcılar ise kaplama kalınlığı arttıkça parlaklığın devam etmesini temin ederler ancak bu tip parlatıcılar gerilimli ve kırılgan kaplamaların oluşumuna neden olduğundan daha düşük konsantrasyonlarda kullanılmalarına izin verilir.

Parlak nikel kaplama banyolarına konulan katkı maddeleri:

- Parlatıcılar
- Düzleyiciler
- Gerilim gidericiler
- Islatıcılar
- Depolarizörler

•Parlatıcılar [7]

a) Birinci sınıf parlatıcılar

Birinci sınıf parlatıcılar katotda redüklenen malzemeler olup yapılarındaki kükürdü nikel içine dahil ederler ancak kükürt dahil eden her organik malzemede parlatıcı değildir. Birinci sınıf parlatıcıların bir diğer koşulu da sülfon grubuna bitişik doymamış bir karbon bağına sahip olmaları gerekliliğidir ($C=C-C-SO_2^-$ veya $C=C-SO_2$ veya $C=C-C-SO_2$ gibi). Eğer organğin yapısında *doymamışlık* yoksa kükürt nikel içine dahil edilemez ki bileşen birinci sınıf bir parlatıcı değildir. Birinci sınıf parlatıcılara örnek vermek gerekirse benzen disülfonik asit, benzen trisülfonik asit, naftalin disülfonik asit ve benzen sülfonidler sayılabilir.

Birinci sınıf parlatıcıların çalışma mekanizması ise organik malzemedeki *doymamışlık* bağı ile katot yüzeyindeki büyüme noktalarına, kristallerin uç ve kenarları ile dislokasyonlara adsorpsiyonudur. Katotda mevcut bu tip noktaların sayısı sınırlı olduğundan birinci sınıf parlatıcıların kritik üst sınır konsantrasyonları yoktur.

b) İkinci sınıf parlaticılar

İkinci sınıf parlaticılar *doymamış* ve genellikle kaplamaya karbonlu malzemeler dahil eden ve genelde tek başına kullanılmayan malzemelerdir. Bu grup parlaticılar birinci sınıf parlaticılar ile birlikte kullanılarak parlak ve düzgün bir kaplama elde edilmesini temin ederler. İkinci sınıf parlaticılar tek başlarına kullanıldıklarında kaplamanın iç gerilimini çok arttırdıkları için kırılğan bir yapı elde edilir.

• Düzleyiciler [6]

Parlak nikel kaplamada parlak bir yüzey elde edilmesi kadar yüzeydeki mikro düzensizlikleri ve polisaj çiziklerini örterek düzgün ve yumuşak bir kaplamanın teminide önem taşımaktadır. Gardam, bazı kaplama solüsyonları için kaplanacak yüzeye oranla girintilerde daha fazla metalin toplanacağını ilk kez doğrulamıştır ki bu olay “düzleme” adıyla ifade edilmiştir. Düzleyici ilavesindeki amaç tercihli kaplamanın meydana gelmesidir ve tercihli kaplama, mikropiklere düzleme ajanlarının diffüzyon oranının daha büyük olmasından ileri gelmektedir. İkinci sınıf parlaticılar aynı zamanda parlak nikel kaplamada en etkili düzleyicilerdir. Düzleme için uygun banyo içeriği *kumarindir*. Diğer uygun bileşikler ise asetilenik asit, nitrojen içeren bileşikler ve pridindir.

• Islaticılar [6-7]

Islaticılar, hava ve diğer gazlar ile hidrojen kabarcıkları ile nikel yüzeyi arasındaki temas açısını azaltmak için kullanılırlar ve bu kabarcıkların yüzeyde oyuklara (pitting) sebep olacak boyuta ulaşmadan yüzeyden ayrılmasını temin ederler. Islatıcı olarak Watts banyoları konusunda “katkı maddeleri” başlığı adı altında geçen malzemeler ilave edilir.

2.3.2.3 Tüm Sülfatlı Ve Yüksek Sülfatlı Banyolar [7]

Tüm sülfatlı banyolar kaplama esnasında çözünmeyen anotların kullanılması gerekli olduğu durumlarda, yüksek sülfatlı banyolar ise çinko alaşımlarının direk nikel kaplanmasında kullanılmaktadır.

Tüm sülfatlı banyoların çalışması esnasında katotda nikel anotta ise oksijenin açığa çıkması sonucu çözelti nikel ionunca fakirleşir ve hidrojen ionunca zenginleşerek pH'ın düşmesine neden olur. Çözeltinin nikel konsantrasyonu nikel sülfat veya nikel karbonat ilavesi ile ayarlanır.

Bu tip banyolarda kullanılan anotlar platin, platin kaplı titanyum, kurşun karbon ve grafit olabilir.

2.3.2.4 Nikel Sülfamat Banyoları [7]

Nikel sülfamat banyolarıyla yüksek kaplama hızına karşılık oldukça düşük iç gerilimli kalın kaplamalar elde edilir. Bu banyolar dekoratif amaçtan ziyade endüstriyel amaçla kullanılmaktadır. Nikel sülfamat banyoları özellikle elektro şekillendirme amacıyla kullanılmaktadır.

Banyo içeriğine bakıldığında nikel sülfamat ($\text{Ni}(\text{NH}_2)\text{SO}_3)_2$), nikel klorür, borik asit, ıslatıcı, gerilim giderici ve sertleştiricilerle karşılaşılır. Banyoda nikel klorür, anot çözünürlüğünü arttırmak için kullanılmaktadır. Banyoda en az 5 g/l nikel klorür bulunmalıdır ancak fazla klorürde parçanın iç gerilimini ve çekme mukavemetini arttıracaktır. Banyodaki nikel sülfamat miktarı ise 300 - 450 g/l arasındadır. Buna karşılık çok yüksek konsantrasyonda nikel sülfamat içeren (600 g/l ve daha fazla) ve iç gerilimi istenen aralıkta ayarlanabilen *yüksek hızlı* banyolar da kullanılabilmektedir.

Nikel sülfamat banyolarının pH çalışma aralığı 3.5-4.5 arasındadır ve banyo içerisinde bulunan borik asit tamponlama görevi görmektedir.

2.3.2.5 Tüm Klorürlü ve Yüksek Klorürlü Banyolar [7]

Tüm klorürlü banyolar, yüksek akım yoğunluklarında parça kenarlarında yumru yapmadan ve çok iyi dağıtma gücü ile çalışan, elde edilen kaplamada oyuklaşma ve elektrik kesilmesi ile yapışmayan kaplama elde edilmesi tehlikesi olmayan ve anot-katot verimi yüksek olan banyolardır. Bu tip banyolardan kalın, ince taneli ve düzgün yüzeyli kaplama elde edilebilir.

Tüm klorürlü banyolardan üretilen kaplama sert, iç gerilimi yüksek ve düktilitesi düşüktür. Bu tip banyoları endüstriyel uygulaması pek yaygın değildir.

Yüksek klorürlü banyolar ise Watts banyolarına benzerler ancak bu banyolardaki sülfat-klorür oranları terstir bir başka deyişle klorür miktarı fazladır. Bu banyolardan elde edilen özellikler Watts-Tüm klorür banyolarından elde edilen özelliklerin ortasındadır. Bu tip nikel kaplama banyoları yüksek çözelti iletkenliği ve yüksek akım yoğunluğunun istendiği ve kaplama iç geriliminin önemli olmadığı koşullarda kullanılır.

2.3.2.6 Siyah Nikel Kaplama [7]

Siyah nikel kaplama dekoratif amaçla yapılması kadar fotoğrafçılık ve silah imalatında fonksiyonel görev görmektedir. Siyah nikel kaplamanın korozyon ve sürtünme direnci çok zayıf olduğu için siyah nikel kaplanacak parça önce korozyona dirençli bir metal veya alaşımla kaplanmalıdır. Bu metal genellikle mat veya parlak nikeldir.

Siyah nikel kaplama banyoları çinko (Zn^{+2}) ve tiosiyanat (CNS^-) ionu içerirler. Bu tip kaplamaların yaklaşık %50 Ni, %7 Zn ve %15 S' den oluştuğu tespit edilmiştir. Siyah nikel banyoları sülfatlı veya klorürlü olabilir. Sülfat banyoları çok iyi pH ve sıcaklık kontrolü gerektirirler ki aksi durumda renk değişimleri ile karşılaşılır. Gerekli kontrollerin yapılmasına karşılık akım yoğunluğu değişimleri bile rengi etkilemektedir. Klorürlü siyah nikel banyoları ise pH ve sıcaklık değişimine daha az duyarlı olup akım yoğunluğundaki değişiklik rengi daha az etkilemektedir.

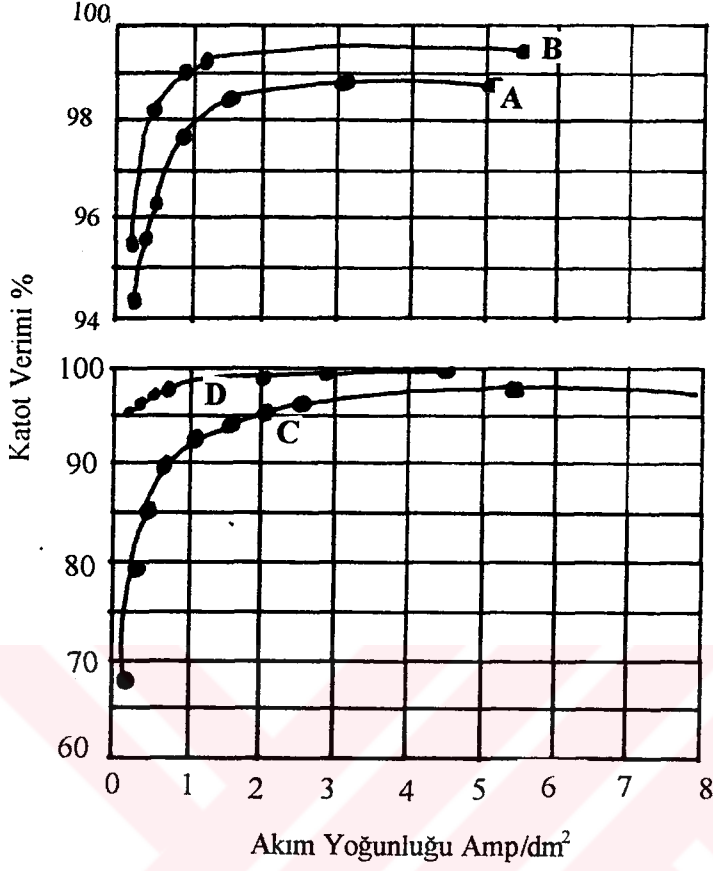
2.3.3 Kontrol Edilebilir Değişkenlerin Nikel Kaplamaya Etkileri [6]

Kontrol edilebilir değişkenler katot filminin niteliğine dolayısıyla kaplamanın kalitesine etki ederler. Bu değişkenler akım yoğunluğu, pH, çözelti hareketi veya katot hareketi ve sıcaklıktır. Bu değişkenler birbirleri ile bağlantılıdır. Örneğin tipik modern watts banyosunun makul bir karıştırma hızında çalışma şartları 6 A/dm^2 akım yoğunluğu, pH 2 ve 54°C ise gri, sünek bir kaplama elde edilir. Eğer pH'da artma ve sıcaklıkta azalma olmaksızın akım yoğunluğu 2.2 A/dm^2 'ye düşerse parlak ve gevrek bir kaplama elde edilecektir.

Tüm nikel banyolarında katot verimi akım yoğunluğundaki artış ile yükselme gösterecektir ki bu yükseliş limit akım yoğunluğuna kadar devam edecektir. Gerek banyo konsantrasyonundaki artış gerekse sıcaklıktaki artış katot veriminde yükselişe neden olacaktır. Katot verimi üzerinde pH'ın etkisi son derece kesin olup sert, Watts ve klorürlü nikel kaplama banyoları için katot verimi-akım yoğunluğu eğrisi Şekil 1 de verilmiştir.

Yukarıda da açıklanmaya çalışıldığı üzere nikel banyolarında akım yoğunluğunu arttırmak için pH'ı düşürmek gerekmektedir. Kaplama banyosunun pH değerinin düşürülmesi daha geniş akım yoğunluğu aralığında tatminkar kaplama yapma, anot çözünmesinin daha iyileşmesi, çözeltide askıda partikül bulunmaması, katotda harcanan nikelin anot çözünmesi ile kolayca karşılanması gibi avantajları vardır. Buna karşılık kaplama yüzeyinde yer yer fazla birikime neden olması, düşük akım verimi, fazla anot çözünmesi, korozyona daha dirençli malzeme kullanma zorunluluğu, parlak kaplama elde edebilmek için ancak düşük sıcaklıklarda çalışma zorunluluğu ve çinko, alüminyum metal ve alaşımlarının kaplanamaması gibi dezavantajlarda mevcuttur.

Akım verimi, pH ve akım yoğunluğu ile ilişkili olduğu için asit çözeltide karışık yapıları parçaların muntazam olarak kaplanması mümkün değildir ve daha üniform bir kaplama elde edebilmek için yüksek pH'lı çözeltiler tercih edilir. pH'ın kaplamanın sertliği üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Nikel kaplama banyosunun pH'ı yükseldiği zaman kaplama sertliğide artmaktadır.



Şekil 2.1 Katot verimi-Akım yoğunluğu eğrisi. A, sert nikel kaplama pH 5.9; B, Watts banyosu pH 5.5; C, Watts banyosu pH 2; D, klorür banyosu pH 2.

Kaplanan metal üzerine kaplama metalinin eşit kalınlıkta yayılması *dağıtma gücü* olarak tanımlanmaktadır. Bir banyonun dağıtma gücünü etkileyen faktörler ise katot polarizasyonu, çözelti iletkenliği ve katot verimidir.

Watts banyolarında çözelti iletkenliği, toplam nikel ve klorür iyon konsantrasyonlarının ve sıcaklığın artışı ile artar. Çözelti iletkenliğinin artmasına neden olan bu faktörler aynı zamanda dağıtma gücünün de artmasına sebep olurlar. Kaplama banyosunun pH'ının artışı da dağıtma gücünde bir yükselişe neden olacaktır.

2.3.4 Nikel Banyolarının Bakım ve Kontrolü [5-7]

Bir modern kaplama banyosu son derece karışık üretim ekipmanı olarak görülmeli ve hassas bir makineye gösterilen tüm dikkat kaplama banyosuna da gösterilmelidir. Kaplama banyosunun kontrol ve bakımının herhangi bir safhasındaki dikkatsizlik veya ihmal hatalı üretime, zaman kaybına ve yüksek üretim maliyetine sebep olacaktır.

Nikel banyolarının bakım ve kontrolü tank ve tankın yardımcı ekipmanlarının yerleştirilmesi ile başlamalıdır. Kaplama banyolarında tam test edilmiş tank iç kaplaması ve iç ısıtma elemanları uygundur. Nikel kaplamada çelikten yapılmış tanklar sert veya tabii veya suni plastiklerle kaplanmıştır ve bu banyolarda dıştan ısıtma ve soğutma tercih edilen bir yöntemdir. Bu ısıtmaya alternatif bir yöntemde daldırma yoluyla ısıtmadır. Daldırma ile ısıtmada titanyum helezonlar, silika veya titanyum astarlı elektrik ısıtıcıları kullanılır ancak bu tip ısıtma elemanları fluoborat çözeltilerine dayanıklı değildir.

Kaplama banyosundaki izolasyon hataları zayıf yapışmaya, akım kayıplarına veya zayıf akım dağılımına neden olabilir. Banyodaki su, buhar ve hava için olan tüm boru bağlantıları kısa devreleri önlemek için sürekli izole ile donatılmalıdır. Tüm anot ve katot çubukları, askılar ve kontak noktaları iyi elektrik iletkenliği için kristalleşmiş tuzlardan arındırılmalıdır. Bakır ile banyonun kirlenmesinden kaçınılmalıdır. Askıların plastik ile kaplanması akım kayıplarını azaltmada önemli bir adım olacaktır.

Nikel banyolarında, satına nikel banyoları hariç, özellikle alt metalin üretim yöntemine bağlı olarak devamlı veya sık sık filtre edilmesi nikel banyosunun bakımında önemli bir yer tutmaktadır.

Watts, parlak ve yarı parlak nikel kaplama banyolarında sülfat, klorür, borik asit ve pH değerleri analizler ile tespit edilebilir. Yukarıda sayılanlar arasında yer alan pH, banyo içerisinde hızlı değişimler gösterir. pH değişimlerinin, kaplamanın özelliklerini olumsuz yönde etkilememesi için, gözlemlenmesi gerekir. pH ölçümleri sonucunda pH değerinde bir artış gözleniyorsa, banyoya asit takviyesi ile bu artış bertaraf edilir.

Banyodaki organik katkı maddelerinin etkileri ise Hull-cell gibi özel kaplama testleri ile tespit edilebilir.

2.3.5 Nikel Kaplama Banyolarındaki İnorganik ve Organik Kirliliğin Etkisi [6]

Modern nikel kaplama banyolarında Fe, Zn, Cu veya Pb gibi inorganik kirliliğin ufak miktarları dahi kaplamanın mekanik yöntemle parlatılabilmesi, korozyon direnci ve görünüşü üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Kaplama banyosundaki tek metalik kirliliğin etkisi ile birden fazla metalik kirliliğin etkisi farklı olacaktır. Madsen'a göre banyodaki Fe miktarındaki artış yüksek pH'lı banyolardan elde edilen kaplamanın gevrekliğini arttıracaktır. Pinner'e göre ise çok düşük Fe miktarı elde edilen yarı parlak nikel kaplamanın korozyon direncini ve mekanik yolla parlatılabilirliğini etkiler. Düşük pH'lı banyolarda ise Fe kirliliğinin daha geniş miktarına müsadde edilmektedir.

Nikel kaplama banyosunda aşırı miktardaki Cu, koyu renkli ve mekanik olarak parlatılması zor kaplamalara neden olmaktadır. Cu, özellikle düşük akım yoğunluğu bölgelerinde parlak nikel kaplama için zararlıdır. Phillips'in gözlemlerine göre Cu, düşük pH'lı Watts banyolarında kaplamanın oyuklu olmasına neden olmaktadır ki Ewing ve Gordon'ın buluşlarına göre bu olay kaplamanın korozyon direncini ciddi anlamda etkilemektedir. Genellikle yeterli miktardaki Zn, Cu gibi aynı etkiyi göstermektedir. Haring'in araştırmalarının sonucuna göre hem Zn hem de Cu özellikle düşük akım yoğunluğu bölgelerinde *dağıtma gücüne* zarar vermektedir.

Pb'nin nikel banyosundaki varlığı ise kaplamanın soyulmasına neden olmaktadır, aynı zamanda ince taneli ve gevrek kaplamaların meydana gelmesi söz konusu olacaktır.

Çeşitli faktörlere bağlı olan inorganik kirliliklerin banyodaki kabul edilebilir miktarları nikel banyolarının çeşidine göre değişmektedir. Parlak ve yarı parlak nikel banyoları metalik kirliliğe Watts banyolarından çok daha hassasdır ve iki banyonun metalik kirlilik toleransları büyük oranda farklılık göstermektedir. Kaplamalarda, metalik kirlilik, düşük akım yoğunluğu bölgelerinde görüldüğünden kirlilik miktarı katodun şekline bağlı olarak değişecektir.

2.3.5.1 İnorganik Kirliliğin Uzaklaştırılması

Nikel kaplama banyosu içindeki tüm metalik kirlilikler önce çözünmeyen tuzlar haline getirilir ve arkasından da kaplama banyosunun filtre edilmesi suretiyle inorganik kirlilikler uzaklaştırılmış olunur.

Çöktürme metodu kullanıldığı zaman metalik kirliliğin tamamen uzaklaştırılması mümkün değildir. Bu yöntemin başlıca dezavantajı tahmin edilen zaman içinde banyoda operasyonun tam olarak tamamlanmamış olmasıdır. Modern uygulama ise düşük akım yoğunluklarında elektrolitik temizlemedir. Bu işlem banyonun kullanılmadığı zamanlar içinde gerçekleştirilir. Akım yoğunluğunun ve katot şeklinin özel seçimi ile banyodaki Fe, Zn, Cu ve Pb gibi kirlilikler tamamen uzaklaştırılabilir.

2.3.5.2 Organik Kirliliğin Uzaklaştırılması

Organik kirlilikler havadan taşınan tozlar, temizleme metotları, operasyonun normal seyri boyunca yapılan organik ilaveler, uygunsuz seçilen tank astarı veya kaplama askıları ile banyoya girmektedir. Banyoda kullanılan ıslatıcı tarafından organik kirlilikler banyo içinde yayılmakta ve değişik olumsuzluklara neden olmaktadır.

Bu tip kirlilikler, banyonun filtrasyonu ile uzaklaştırılmazlar. Aktive karbon üzerine toplama ile en iyi kontrol sağlanmış olunur. Bu işlemde önce banyo yardımcı bir tanka pompalanır ve bunu takiben banyoya hidrojen peroksit gibi bir oksitleyici ajan ilave edilir ve sonra banyo sıcaklığı 65°C ye çıkarılır ve arkasından banyoya 1.2-2.4 g/l olacak şekilde aktif karbon ilave edilir. İlave edilen aktif karbonun banyoya hazmetmesi için bir kaç saat sürekli olarak banyo karıştırılır ve bu süre sonunda aktif karbonun çökmesi için banyo dinlendirilir. Filtre yardımıyla banyo esas tanka pompalanır ki burada dikkat edilmesi gereken nokta organik kirliliğin toplandığı yardımcı tankın dibine çökmüş aktif karbonun esas tanka geçmesine engel olmaktır. Bu yöntem mümkün olduğu ölçüde tüm organik kirliliklerin uzaklaştırılmasında etkilidir.

2.3.6 Nikel Banyolarında Kullanılan Anotlar [7]

Nikel kaplama banyolarında günümüz koşullarında kullanılan dört tip anot vardır.

- Haddelenmiş “karbon” anotlar
 - Döküm “karbon” anotlar
 - Haddelenmiş depolarize anotlar
 - Elektrolitik levha anotlar
- **Haddelenmiş “karbon” anotlar**

Yaklaşık olarak %0.25 karbon, %0.25 silisyum içeren nikelden haddelenmiş veya dövme ile elde edilmiş anotlardır. Bileşimdeki karbon ve silisyum anodun kolay çözünmesini sağlarken aynı zamanda anodun pasifleşmesini engeller. Özellikle organik parlaticıların kullanıldığı çözeltilerde “karbon” anotlar tercih edilmektedir. “Karbon” anotlar sadece pH 4.5 veya daha düşük olan banyolarda kullanılmaktadır. “Karbon” anotlar $1.5-3 \text{ A/dm}^2$ akım yoğunluklarında kullanılmalıdır.

• **Döküm “karbon” anotlar**

Bu tip anotların özellikleri haddelenmiş elektrotlar gibi olup tek fark şekillendirmenin haddeleme yerine döküm yolu ile olmasıdır.

• **Haddelenmiş depolarize anotlar**

Bu tür anotlar muntazam çözünmeyi temin etmek ve pasifleşmeyi engellemek için nikel %0.5 nikel oksitle birlikte haddelenir. Bu anotlar ince tanelidir ve tane sınırlarında toplanan nikel oksit çözünmenin muntazam olmasını temin eder.

• Elektrolitik levha anotlar

Elektrolitik levha anotlar, küçük parçalara ayrılmış durumdadır. Elektrolitik nikel %0.02 oranında kükürt içerir ve yüksek safiyette olmasına rağmen çok muntazam çözünür.

Küçük parçalara ayrılmış olan elektrolitik levha anotlar ancak titanyum sepetlerin yardımı ile kullanılabilir. Titanyum sepetlerde küçük boyutlu, kükürtsüz saf elektrolitik nikel anot olarak kullanılabilir ki anot yüzeyinin çok geniş olması pasifleşme tehlikesi olmadan elektrolitik saflıktaki nikelin anot olarak kullanılmasını mümkün kılar.

• Çözünmeyen Anotlar

Çözünen anotlar yerine bazı durumlarda çözünmeyen anotlar da kullanılabilir. Çözünmeyen anotlar platinize (2.5 μm) titanyum kurşun ve karbondan yapılmıştır. Bazı durumlarda pasifleşmiş saf nikel de kullanılabilir. Bu tarz anotların kullanılması ile çözeltide nikel konsantrasyonu azalacağı için çözünen anotlarla birlikte bileşim ayarlamak amacıyla kullanılabilirler. Çözünmeyen anotlar tek başlarına kullanıldığı zaman banyonun konsantrasyonu dikkatle takip edilmeli ve gerektiğinde takviye yapılmalıdır.

2.4 KROM KAPLAMA [8]

Krom kaplama genellikle çelik, pirinç veya çinko pres döküm esaslı parçaların kaplanmasında son kaplama işlemi olarak uygulanmaktadır. Krom kaplamanın başlıca iki tipi vardır bunlar;

- Dekoratif kaplama; Bu tip krom kaplama ile lekesiz, sürekli ve parlak bir kaplama elde edilir.
- Endüstriyel (sert) krom kaplama; 0.5 mm. ve daha kalın krom kaplama üretmek mümkündür. Bu tip krom kaplama kromun ısı, aşınma, korozyon dirençleri ve düşük

sürtünme katsayısı gibi özelliklerinden yararlanmak için yapılmaktadır. Sert krom kaplama uygulamalarında krom genellikle herhangi bir ara kaplama olmaksızın doğrudan alt metalin üzerine kaplanır. Kesme aletleri gibi özel uygulamalarda sert krom kaplama kalınlığı dekoratif krom kaplama kalınlığına yaklaşık olarak eşittir.

Yukarıda adı geçen iki tip krom kaplama dışında bir diğer krom kaplama türü siyah krom kaplamadır. Siyah renkte olan siyah krom kaplama tabakaları ısı ve ışık refleksiyonunu önler ve bu nedenle silah endüstrisi ve bazı makina parçaları gibi özel amaçlarla kullanılır.

2.4.1 Krom Kaplamanın Tarihçesi [6]

Krom kaplamanın tarihsel gelişimine bakıldığında zaman ilk defa 1854 yılında Almanya'da R.W.Bunsen tarafından sıcak CrCl_3 sulu çözeltilerden karbon anot kullanılarak krom kaplamanın gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunu takip eden yıllarda VI değerli krom bileşimleriyle daha iyi sonuçlar alınacağı belirlenmiştir. Krom kaplamanın ticari prosesi başlıca 1923 ve 1924 yıllarında C.G.Fink ve C.H.Eldridge'in çalışmalarında kromik asit banyolarına H_2SO_4 ilavesinin yararlarının saptanması ile ortaya çıkmıştır. Kromik asit çözeltisinden krom kaplamada önemli bir gelişmede 1949 yılında kendi kendine kontrollü yüksek hızlı (SRHS) krom banyolarının keşfi ile olmuştur.

2.4.2 Krom Kaplama Teorisi ve Çalışma Koşulları [5,6,8]

Krom kaplama banyosuna katalizör ilave edilmeksizin kromik asit ve su içeren bir çözeltiden metalik kromu ayırtmak mümkün değildir. Krom banyosuna yardımcı veya yabancı asit olarak adlandırılan H_2SO_4 , HF, H_2SiF_6 veya bu asitlerin tuzları ilave edilir. Krom banyolarında genelde kullanılan asit kökleri sülfat ve flüorürdür. Banyoya ilave edilen flüorür kompleks şeklindedir. Kompleks olmayan flüorürler küçük miktarlarda bile etkili olduğundan banyonun kontrolü zorlaşacağından kompleks olmayan flüorürler katalizör olarak tercih edilmezler. Katalizör ilavesinde katalitik etkiyi sağlayan, yardımcı asit veya tuzunun dissosiyasyonu ile meydana gelen

anyonlardır. Krom banyosunda başarılı ve sürekli bir operasyon için banyodaki toplam katalizör asit köklerinin kromik asite ağırlıkça oranı belirli sınırlar içinde tutulmalıdır. Seçilen katalizör asit kökü sülfat ise yaklaşık 100 : 1 oranı uygun olmaktadır. CrO_3 'ün suda çözünmesiyle;



gereğince $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ve bunun dissosiyasyonu sonucu da sırasıyla;



dengeleri kurulur. Cr^{6+} iyonlarının metalik kroma redüklenmesi konusunda bir çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, katalizör içeren banyolarda farklı ürünler veren 4 farklı redüksiyon bölgesi belirlenmiştir. Bu farklı dört bölgeden katot potansiyelinin en pozitif olduğu ilk bölgede Cr^{6+} iyonları

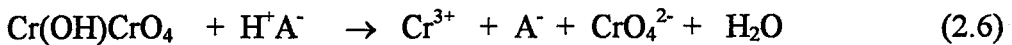


reaksiyonu sonucu Cr^{3+} iyonlarına redüklenir.

Katot potansiyelinin daha negatif değerlere kaymasıyla geçilen 2. bölgede Cr^{6+} iyonlarının indirgenmesi ile banyo çözeltisinde çözünmeyen Cr(III) bileşikler ve E. Müller'e göre özellikle Cr(OH)CrO_4 meydana gelir. Bu bileşikler katot yüzeyinde bir örtü filmi oluştururlar.

3. Bölge hidrojen gazı çıkışının başladığı bölgedir. Katot potansiyelinin daha da azalmasıyla, belli bir kritik akım yoğunluğu bölgesine ulaşıldığında, hidrojen çıkışı ile birlikte Cr^{6+} ve Cr^{3+} iyonlarının metalik kroma redüklenmesi gerçekleşir. Krom banyosuna katalizör ilavesine rağmen hidrojen gazı çıkmaksızın metalik krom ayırtırmak mümkün değildir. Akımın önemli bir kısmı H^+ iyonlarının H_2 'e ve Cr^{6+} iyonlarının Cr^{3+} e redüklenmesine harcadığından akım verimi oldukça düşüktür ve çalışma koşulların bağlı olarak %10-%30 arasında değişir. Akım verimi banyo sıcaklığındaki artış ile artacaktır. Krom kaplama banyolarında düşük akım verimine karşılık oldukça yüksek kaplama hızı, kullanılan yüksek akım yoğunluğu ile elde edilir. Operasyon şartlarına bağlı olarak kullanılan voltaj 4-10 V arasında değişmektedir ve krom kaplama için gerekli olan voltaj diğer tüm elektrolitik kaplama proseslerindekiinden daha yüksektir. Bunun sonucu olarak Cr kaplama için gerekli olan jeneratör kapasitesi diğer tüm kaplamalar için gerekli olandan daha büyük olacaktır ancak bu dezavantaj prosesin yaygın kullanımını ciddi olarak engellememiştir.

Yukarıda açıklanan 2. redüksiyon bölgesinde oluşan (Cr(OH)CrO_4) Cr(III) bileşiği katot üzerinde bir örtü filmi oluşturduğundan sadece kromik asit içeren banyodan kromun kaplanması mümkün değildir. Bununla birlikte yardımcı asit anyonlarının katalitik etkisi tam olarak bilinmemekle birlikte teorisyenler arasında katot yüzeyinde meydana gelen örtü tabakasını



reaksiyonu sonucu çözerek kaplamanın gerçekleşmesine olanak sağladığı görüşü hakimdir.

Kritik akım yoğunluğunun altındaki akım yoğunluklarında kaplanması amaçlanan parçanın yüzeyinde gökkuşağı görünümünde renklenme meydana gelir ve parça krom kaplanmaz. Karmaşık şekilli parçalarda da, akım yoğunluğunun düşük kaldığı bölgelerin kaplanması sorun oluşturmaktadır. Bu sebeple akım yoğunluğu tüm parçanın kaplanacağı şekilde seçilmelidir. Krom kaplama banyolarının dağıtma gücü oldukça zayıftır ancak katalizör asit köklerine kromik asitin en uygun oranı muhafaza edilirse iyi bir krom örtme gerçekleşecektir. Banyoda yardımcı asit miktarının artışı ile krom kaplamanın başladığı kritik akım yoğunluğu değeri büyür ve dolayısıyla kaplamanın sürekliliğinin sağlanması zorlaşır.

Krom kaplama banyolarının çalışma koşullarını kısaca şöyle özetlenebilir;

- Krom kaplama banyoları çok yüksek akım yoğunluklarında çalışır,
- Banyonun akım yoğunluğu arttırılırsa, banyo sıcaklığında arttırılmalıdır,
- Banyonun akım yoğunluğu arttırıldığında kaplama hızı da artacaktır,
- Banyonun akım yoğunluğu artınca daha yüksek voltaja ihtiyaç duyulacaktır,
- Krom kaplama parlak ise aynı zamanda da serttir,
- Krom kaplamanın dağıtma gücü zayıftır.

2.4.3 Krom Kaplamanın Fiziksel Özellikleri [6]

• Sertlik Ve Aşınma Direnci

Krom kaplamanın aşınma direnci ve sertliği servis şartlarında oldukça iyidir. Genellikle parlak krom kaplamanın sertliği yaklaşık olarak 900-1000 kg/mm² arasındadır.

• Sürtünme Katsayısı

Diğer metallerle karşılaştırıldığında krom kaplamanın düşük sürtünme katsayısı şaftlarda, içten yanmalı motor silindirleri ve benzer uygulamalarda tercih edilen önemli bir özelliktir.

• Elektrik Direnci

Elektrik direnci, yoğunluk gibi metalin sürekliliğinin ve saflığının bir ölçüsüdür. Krom kaplamadaki çatlakların boyutu, dağılımı ve sayısı kaplama şartları ile ilgilidir. Bu sebepten dolayı krom kaplamanın elektrik direnci kaplama şartlarına göre değişmektedir.

• Oksitlenme

Normal şartlarda krom kaplama yüzeyinde çok ince bir oksit filmi oluşmaktadır. Bu oksit filmi oldukça stabil olup ısıya dayanıklı ve kaplamayı korozyondan koruyucu özelliğe sahiptir. Krom kaplama 260°C 'ye kadar olan sıcaklıklarda parlak kalabilmektedir. Kaplama yaklaşık 315°C ısıtıldığında oksit filmi kalınlaşmakta ve koyu bir renk almaktadır.

Krom kaplama işlemi sonrası çok kısa bir süre içinde oksit filmi kaplama tabakası üzerinde şekillenir ve böylece kaplamanın donuklaşması gibi bir problem ile karşılaşılmaz.

2.4.4 Banyo Bileşenleri [6]

Krom kaplama banyosunda mevcut iki ana bileşen vardır bunlar; kromik asit ve katalizör asit kökleri veya anyonlardır.

• Kromik Asit (CrO_3)

Metal parça üzerine kaplanacak krom bir kimyasal olarak kaplama banyosuna ilave edilmektedir ki bu kimyasal krom trioksit (CrO_3) olup genellikle kromik asit olarak adlandırılır. Kromik asit kırmızımsı kahverenginde, nemçeken bir malzemedir. Kromik asitin suda kolayca eriyebilme özelliğine sahiptir. Günümüzde katalizör asit köklerinin ufak miktarlarının bile etkileri bilindiğinden krom kaplama için kullanılan kromik asit özellikle saf kalitede üretilmektedir. Üretilen kromik asit teknik şartnamelere uygun olması gerekir ki kromik asitin cüzi sülfat yüzdesinden fazlasını ve klorit gibi diğer katalizörleri içermemesi sağlanabilsin.

• Katalizör

Krom kaplama banyosunda mevcut olan ikinci bileşen de katalizördür. Kaplama banyosunda kromik asit konsantrasyonu, akım yoğunluğu ve banyo sıcaklığı belirli bir seviyedeysen gerek krom kaplamanın yapılamaması gerekse kaplanacak parça üzerinde kahverengi oksit lekeleri katalizör miktarının çok az olduğunu ortaya çıkaracaktır buna karşılık banyonun katalizör içeriği çok yüksek ise kısmi kaplama ya da tamamen kaplamanın yapılamaması ve katotta Cr(III) ün kolayca oluşması sonuçlarıyla karşılaşılır.

Kaplama banyolarında 50 g/l den doyana kadar kromik asit konsantreleri kullanılabilmesine rağmen tüm ticari krom kaplama banyoları 150 g/l ile 400 g/l arasında çalışmaktadır. Daha yüksek konsantreler ise çok düşük akım verimine yol açacaktır. Banyoda önemli olan kromik asit-katalizör asit kökü arasındaki orandır. Krom kaplama banyolarında daha seyreltik olanlar katalizör asit köklerinin ilavesine veya uzaklaşmasına daha duyarlıdır.

Krom kaplama banyolarının asitlik derecesi çok yüksek olduğu için banyonun pH'ı kontrol edilemez ve ölçülemez.

Krom kaplam banyosunun hem dağıtma hem de kapatma gücü, bakır ve nikel kaplama banyoları ile karşılaştırıldığı zaman zayıf olduğu görülür buna karşılık krom banyosunun iletkenliği yüksektir ancak banyodaki demir ve bakır gibi safsızlıklar tarafından bu iletkenlik azalır. Krom kaplama boyunca katot polarizasyonu nispeten sabittir.

2.4.5 Krom Kaplama Banyoları

Parlak krom kaplama banyolarında CrO_3 miktarı, sert krom kaplama banyoları ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Bu sayede daha yüksek iletkenlik elde edileceğinden değişik şekilli parçaların kolaylıkla kaplanmasına olanak sağlanır. Yardımcı asit olarak genellikle H_2SO_4 ve bazı durumlarda da HF , H_2SiF_6 kullanılır.

2.4.5.1 H_2SO_4 Katalizörlü Banyolar [8]

• Parlak krom kaplama banyoları

Bu tip banyolarda H_2SO_4 konsantrasyonunun CrO_3 konsantrasyonuna oranı %0.8-%1.2 arasında tutulmalıdır. Buna ilave olarak banyoda en az 3 g/l Cr^{3+} bulunmalı ancak bu miktar koşullara göre 20-30 g/l'yi aşmamalıdır. Banyo içinde yüksek Cr^{3+} konsantrasyonunun varlığı yeşilimtrak kaplama tabakası elde edilmesiyle farkedilir. Kılcal çatlaklar içermeyen ve korozyon dayanımı daha yüksek olan parlak kaplama tabakaları istendiği takdirde çözeltinin CrO_3 konsantrasyonu 350 g/l H_2SO_4 konsantrasyonu ise 2.5 g/l civarında tutulur ve 55-60°C sıcaklıkta, 30-45 A/dm² akım yoğunluğu ile çalışılır.

• Sert krom kaplama banyoları

Bu tip krom kaplama banyoları genellikle 250 g/l CrO_3 ve 2.5 g/l H_2SO_4 içerir. Sert krom kaplama banyolarında katalizör konsantrasyonunun kromik asit konsantrasyonuna oranı %0.9-%1.3 arasında tutulur ve banyonun sıcaklık aralığı 35- 70°C 'dir.

2.4.5.2 HF Ve H_2SiF_6 Katalizörlü Banyolar [8]

- Parlak krom kaplama banyoları

Oda sıcaklığında ve $0.5-4 \text{ A/dm}^2$ akım yoğunluğu uygulanarak kullanılan bu tür banyolar özellikle dolapta kaplanan küçük parçalar için uygundur. Akım yoğunluğu düşük olduğundan, elektrik kesilmelerinde parçalar parlaklığını kaybedip matlaşmaz. Bu tür krom kaplama banyoları $200-450 \text{ g/l CrO}_3$ ve bunun %0.35'i kadar HF veya uygun miktarda H_2SiF_6 içerir.

- Sert krom kaplama banyoları

Sert krom kaplama banyolarında H_2SO_4 yerine H_2SiF_6 katalizör olarak kullanıldığında aynı çalışma koşullarında kaplama hızı %30 oranında artırılabilir. Bu krom kaplama banyolarında $160-180 \text{ g/l CrO}_3$ ve bunun %2.7'i kadar H_2SiF_6 bulunmaktadır.

2.4.5.3 Kendi Kendine Kontrollü Yüksek Hızlı (SRHS) Krom Banyoları [6,8]

Bu krom kaplama banyoları kromik asit ve katalizör asit kökü olarak sülfat veya silikoflorit içeren banyolardır. Bu banyolarda kullanılan kimyasalların çözünürlük karakteristiklerinden dolayı banyo konsantrisi otomatik olarak kendini kontrol eder. SRHS banyolarının kendini kontrol etmesi nedeniyle kimyasal analizler geniş oranda ortadan kalkmıştır.

Kaplama banyosunda aşırı olmayan bozukluklar sistemin kendisi tarafından giderilir. Bu tip krom banyolarında tankın dibinde katalizör çözünmemiş bir tuz birikintisi şeklinde normal olarak mevcut olup eğer banyoda katalizöre ihtiyaç varsa banyonun ısıtılması veya karıştırılmasıyla mevcut katalizör kolayca eritilebilir.

SRHS banyolarından elde edilen krom kaplama iyi bir örtme yeteneğine sahip ancak buna karşılık mat ve pürüzlü ise bu katalizör azlığını ifade etmektedir ki böyle bir durumda banyo karıştırılarak daha yüksek katalizör konsantrasyonu elde edilir. Diğer

yandan banyo zayıf örtmeye sahipse bu durumda banyoda katalizör miktarı fazla demektir ki dengeyi sağlamak için bir miktar kromik asit ilavesi yapılır ve böylece kromik asit konsantrasyonu artarken katalizör miktarı azalır.

Bu tip banyoların sıcaklığı artırıldığında iki tip etki ile karşılaşılır;

- Daha yüksek sıcaklık, çözeltinin daha geniş bir parlaklık bölgesine sahip olması sağlar ki böylece krom kaplamanın yanma eğilimi daha az olur,
- Katalizörün eririliğinde bir artış görülür.

Genelde bu etkiler aynı şiddete sahiptir. Eğer daha yüksek sıcaklıklarda işlem arzu ediliyorsa artan katalizör içeriğini dengelemek için daha yüksek kromik asit konsantrasyonu muhafaza edilmelidir.

Kompleks fluorür katalizörleri içeren SRHS banyolarında 90-100°C gibi yüksek operasyon sıcaklıklarında daha yüksek akım verimi elde edilirken sülfat katalizörlü banyolarda yüksek sıcaklıklarda akım veriminde aşırı bir azalma olmaktadır.

Kendi kendini kontrol eden yüksek hızlı krom kaplam banyo sistemi 1953 yılında Dow ve Stareck tarafından çatlaksız krom kaplama üretimine uyarlanmıştır. Bu proses oldukça yüksek sıcaklık (65°C) kullanımını içermektedir ve elde edilen kaplama yumuşaktır. Bu tip kaplama korozyon ve aşınma direncinin birlikte gerekli olduğu yerlerde kullanılır.

2.4.5.4 Poli-Kromat Banyoları [8]

Krom kaplamada kullanılan bir diğer banyoda poli-kromat ve özellikle tetra-kromat banyolarıdır. Alkali içerdiğinden diğerlerinden daha az asidik olan bu banyolar çinko ve diğer metallerin kaplanmasında iyi sonuç vermektedir. Düşük sıcaklıklarda ve 100 A/dm²'e varan akım yoğunluklarında kullanılan bu banyoların en önemli avantajı ağır metal iyonları kirlenmesine karşı fazla duyarlı olmamaları ve kaplama tabakalarının diğer banyolarda elde edilenlerden daha yumuşak olup sonradan bir problem

yaşanmadan mekanik olarak parlatılabilmektedir. Tipik bir poli-kromat banyosu bileşimi aşağıda verilmiştir:

Krom (VI)- oksit	CrO_3	300	g/l
Sülfürik asit	H_2SO_4	0.6-1	g/l
Sodyum hidroksit	NaOH	50	g/l
Alkol		1	ml/l

2.4.5.5 Siyah krom kaplama banyoları [6,8]

Diğer krom kaplama banyolarında kullanılan akım yoğunluğundan daha fazlası oda sıcaklığında uygulanarak siyah krom kaplama tabakaları elde edilir. Bu tabakalar %75 metalik krom yanında %25 Cr(VI)-oksit içerirler. Siyah krom kaplama doğrudan çelik, bakır ve pirinç üzerine kaplanabileceği gibi, nikel ve bakır-nikel kaplamalardan sonra da uygulanabilir. Tipik bir siyah krom kaplama banyosu 250 g/l CrO_3 ve 5ml/l sirke asidi içerir ve 80 -100 A/dm² akım yoğunluğu ve 25 °C sıcaklıkta kullanılır. Carveth'e göre erimiş siyanür içerisine krom kaplama daldırılırsa da siyah renk elde edilir.

2.4.6 Krom Kaplama Banyolarında Kullanılan Anotlar [6,8]

Kromik asit çözeltilerinde genelde çözünmeyen kurşun anotlar kullanılmaktadır. Kurşun anotların kullanımı boyunca anotların üzerinde oluşan kurşun peroksit filmi Cr(III)'ün sürekli olarak CrO_3 oksitlenir böylece banyo içindeki Cr(III) konsantrasyonu düşük değerlerde tutulmuş olunur. Kaplama banyolarında kimyasal kurşun anotlar kullanılabilir ancak bu anotlar alaşım anotlarla karşılaştırıldığında çözelti tarafından çok daha kolay aşındırıldığı ve aşırı miktarda kurşun kromlu çamurun oluşmasına sebep olduğu ortaya çıkmıştır. Antimuanlı kurşun anotlar daha yüksek korozyon direnci ve mukavemetinden dolayı kimyasal kurşun anotlara tercih edilirler. Kurşun kalay alaşımları en yüksek korozyon direncine sahiptir ve anot için mevcut en iyi malzeme olarak tavsiye edilir.

Krom kaplama için gerekli olan yüksek akımı iletmek için yeterince kalın anotların kullanılması gereklidir. Anotlar çok ince olursa kullanım esnasında ısınacak, korozyon eğilimi artacak ve büyük oranda şeklini değiştirecektir.

Krom kaplama banyosunda kullanılan kurşun anotlar çok ağır olmamalı ve anotların yüzeyinde düzensiz kurşun peroksit tabakası oluşumuna imkan tanınmamalıdır. Kaplama banyosunda kullanılan anotların temizlenmesi asite batırma yoluyla veya fırça ile kazıma şeklinde olmaktadır ki son işlem zor ve zaman alıcı olmakla birlikte anot üzerindeki izole film tam olarak uzaklaştırılmaz.

Kurşun peroksitle kaplı anotlar banyoda bir süre kaplama yapılmaması halinde pasifleşme eğilimi gösterirler. Orjinal iletkenliği yeniden sağlamak amacı ile banyoda birkaç dakikadan bir saati aşmayacak zaman aralığında tüm tank voltajı ile elektroliz yapılması gereklidir.

Banyolarda bir süre kaplama yapılmaması sonucu anotlarda pasifleşme eğiliminin görülmesi muhtemelen kurşun kromat ve kurşun florit gibi çözünmeyen kurşun bileşiklerinin izole edici özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu olumsuz etkiyi önlemek için en iyi yol kullanım sonrası anotların derhal tanktan uzaklaştırılarak yıkanmasıdır ancak bu yol daima pratik değildir.

2.4.7 Kontrol Ve Bakım [6]

Krom banyosunda Cr(III), Fe, Cu, Ni, Zn ve Na gibi elementler bulunabilir. Cr(III) genellikle banyoda küçük anot-büyük katotla çalıştırıldığı zaman veya organik malzeme banyoya girdiği zaman ortaya çıkmaktadır. Cr(III) miktarı katot alanı ile ilişkili olduğundan kullanılan kurşun anodun alanının artırılmasıyla bu iyonun miktarının yükselmesine engel olunabilir. Fe, Cu, Ni, Zn ve diğer safsızlıklar değişik yollarla banyoya girebilir ve bu safsızlıklar banyonun direncinde bir artışa neden olurlar. Yukarıda adı geçen safsızlıkların hiçbirinin banyonun çalışmasına olumlu bir etkisi yoktur.

Krom kaplama banyoları filtrasyon tavsiye edilmesine rağmen nadir olarak filtre edilirler. Eğer krom banyosunun temizlenmesi isteniyorsa banyo bir akşam dinlenmeye bırakılır bu esnada banyodaki tortular dibe çöker ve ertesi gün banyo karıştırılmadan dikkatle boşaltılır ve isteğe bağlı olarak krom çözeltisi cam yünü yardımıyla veya fiber glas filtrelerle filtre edilebilir ki burada önemli olan filtrelerin kromik asite tam dayanıklı olmasıdır.

Krom kaplama banyoları kullanım esnasında oldukça kararlıdır. Bu banyolar fiziksel veya kimyasal analizler ile kolayca kontrol edilebilirler. Banyoda ne zaman kaplama yapılmaya başlanırsa kromik asitin bir miktarı Cr(III) e indirgenir ancak bu Cr(III) genelde kullanılan kurşun anodun yüzeyindeki kurşun peroksitle sürekli olarak kromik asite tekrar oksitlenir. Banyodaki kurşun anot alanı yeterli ise Cr(III) miktarı otomatik olarak düşük miktarlarda muhafaza edilir. Banyoda kurşun anot dışında anot kullanılırsa Cr(III) ün kromik asite yeniden oksitlenmesi kurşun anottaki kadar iyi olmayacağından Cr(III) konsantrasyonu banyo kullanıldıkça zenginleşecektir. Kurşun dışında kullanılan anotlar kurşun kadar iyi çözünmediği için banyoya demir (Fe) gibi safsızlıklar girer bu sebeplerden ötürü bu tip anotları kullanmaktan kaçınılmalıdır.

Krom kaplama banyolarından elde edilen kaplamada oyuk oluşumu ile karşılaşmaz ve yüzey gerilimini azaltmak amacı ile banyoya ilave yapılmaz. Bu tip banyolara sadece kaplama süresince yayılan gazı en aza indirmek için ıslatıcılar eklenir.

Özel fiziksel ölçümler veya kaplama testleri, banyonun şartlarını kontrol etmek ve mevcut asit köklerinin etkisini hesaplamak için genelde yapılmaktadır. Ptanhauser, krom kaplama banyosundaki yaklaşık katalizör içeriğini kontrol eden *potansiyometrik* olarak adlandırılan metodu geliştirmiştir. Bu metotta bir reosta, 4-5 voltluk bir doğru akım kaynağı ile küçük kaplama banyosuna bağlanmış bir voltmetre ve ampermetreye ihtiyaç vardır. Test edilecek çözelti bir pirinç katot ve kurşun anotla hücre içerisine yerleştirilir. Hücreye uygulanan voltaj, krom kaplama görününceye ve voltajda ani bir yükselme oluncaya kadar yavaş olarak yükseltilir. Akım yoğunluğu not edilir ve sülfat cinsinden banyonun katalizör içeriği, içeriği bilinen çözelti için çizilmiş akım- voltaj referans eğrisinden tahmin edilebilir.

2.4.8 Krom Kaplama Tesislerinde Hijyen [6]

Krom kaplama süresince büyük miktarda yayılan hidrojen ve oksijen, kromik asitin sıvı damlacıklar halinde yayılmasına sebep olur. Kromik asitin kaplama ünitesi içine yayılmasına izin veriliyorsa bu hem çevre açısından hem de insan sağlığı açısından tehlikelidir. Kromik asit konsantrasyonunun havada $1\text{mg}/10\text{m}^3$ üzerine çıkmasına müsaade edilmemelidir. Çalışma ortamına yayılmasına izin verilen kromik asit insanların burun ve boğazlarında tahriş edici bir özelliğe sahiptir.

Kaplama atölyesinde gerekli havalandırma tertibatının kurulması, yüzen plastik topların ve ıslatıcı ajanların kullanılması ile probleme bir çözüm getirilebilir.



BÖLÜM 3

KALİTE KAVRAMININ GELİŞİMİ

3.1 KALİTE NEDİR?

Kalite sözcüğü kullanım amacına göre değişik anlamlar ifade etmektedir. Birçok kişiye göre kalite “pahalı”, “lüks”, “az bulunur”, “üstün nitelikte” ve benzeri kavramlarla eş anlamlıdır.

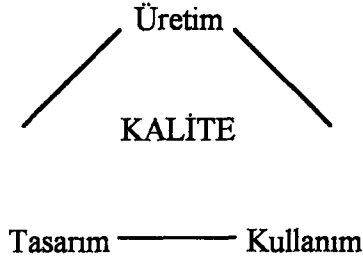
Teknik formasyondaki kişilere göre ise kalitenin en klasik tanımı “standartlara uygunluk” şeklindedir.

Ancak günümüzde bu tanım yeterli olmamaktadır ve kalite “herhangibir ürünün, hizmetin veya fonksiyonun özelliklerinin müşteri istek potansiyelini karşılayabilme derecesidir” şeklinde tariflenmektedir, [9]. Bu tanımdan ortaya çıkan, kalitenin ne olduğunu müşteri gereksinimleri ya da kısaca müşterinin kendisinin belirleyeceğidir. Bu noktadan hareketle klasik yönetim anlayışında gerekli ve yeterli sayılan standartlara uygunluk yetersiz kalmakta ve buna ek olarak müşteri beklentilerindeki dinamik değişimler aynı hızda standartlara yansıtılamamaktadır.

Günümüzde, kalite kavramı tüm tasarım çalışmalarını ve ürünün yararlı ömrünü kapsayan bir içerik kazanarak, güvenilirlik ile tümleşik olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kalite en yalın anlamı ile bir ürünün alıcıya sunduğu niteliklerdir. Güvenilirlik ise, bunların kullanım süresi içinde korunmasıdır. Kalite ve güvenilirlik için yapılan bu tanımlamalar, mühendislik çalışmalarının birbirini tamamlayan üç boyutunu ortaya koymuştur, [10];

- Beklentileri istenilen düzeyde cevaplayan teknik çözümler getirebilmek,
- Bu çözümleri gerçekleştirebilmek,
- Kullanım süresince beklenmedik bir problemin ortaya çıkmasını önlemek.

Ürünün tasarımı, üretimi ve kullanım süreci arasında kurulan bu ilişki doğrultusunda da ürünün kalitesi oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Ürün kalitesinin oluşumu [10]

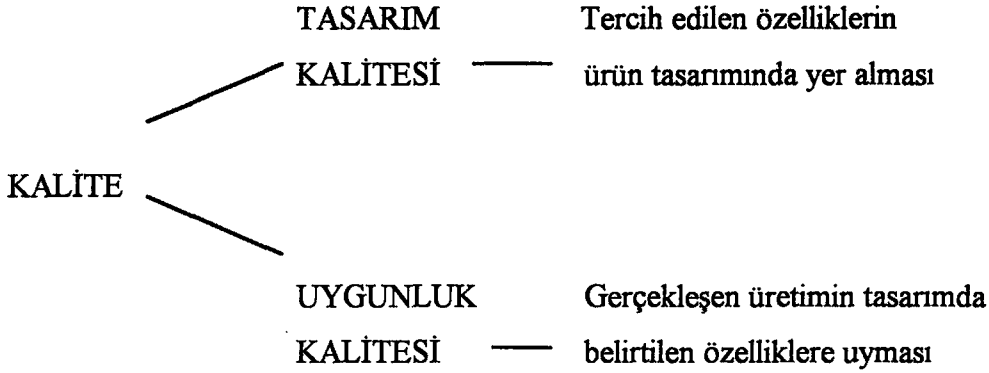
Kalite kavramı iki bileşenden oluşmaktadır:

- Tasarım Kalitesi
- Uygunluk Kalitesi

Tasarım kalitesi genellikle hedeflenmiş kalite olarak adlandırılmaktadır. Bir sanayi, bir ürünü belli bir kalite düzeyiyle, yani hedeflenmiş kaliteyle, üretmek ister. Genellikle tasarım kalitesi yükseltmek istendiği zaman maliyette yükselir, [11].

Uygunluk kalitesi, uygun kalite olarak da adlandırılır bunun nedeni de ürünün tasarım kalitesine ne kadar uyduğunun bir göstergesidir. Eğer tasarım kalitesi ile uygunluk kalitesi arasında bir fark varsa, bu hataların ve yeniden işlemlerin sistemde var olması demektir. Uygunluk kalitesi yükseldiği zaman maliyette düşüş olacaktır. Tasarım kalitesi müşteri isteklerine uygunsa satışlarda yükselme meydana gelecek, şirket verimli duruma gelecek ve bunların sonucu olarak maliyet daha da düşecektir, [11].

Kalitenin iki bileşenini aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür:



Şekil 3.2 Kalitenin iki boyutu [12]

Gerek üretici gerekse tüketici açısından bir ürünün kalitesinden beklenenler şöyle sıralanabilir; [13].

- Kalitenin hedeflenen düzeyde olması,
- Kalitenin sürekliliğinin sağlanması,
- Kalitenin kabul edilebilir bir maliyetinin olması,
- Tüketici ihtiyaçlarını sağlayacak düzeyde olmasıdır.

Bu noktada üretim, satış ve kalite kontrol faaliyetleri için oldukça sık kullanılan “Kabul Edilebilir Kalite Düzeyi” (AQL: Acceptable Quality Level) tanımı üzerinde durmak gerekmektedir. Günümüzde bile geçerli fakat hızla geçerliliğini yitirmekte olan bu kavram, ürünlerin yüzde kaçının uygun olmasının müşteriye tatminkar olacağı ile ilgilidir. Rekabetin yoğunlaşması ve “Toplam Kalite” felsefesinin uygulamaya geçirilmesi ile “Kabul Edilebilir Kalite” anlayışı yerini “%100 Kalite” ya da “Sıfır Hata” anlayışına terk etmiştir, [12].

3.2 KALİTENİN TARİHSEL GELİŞİMİ

II. Dünya savaşı öncesi üretilen mamül miktarı az olduğu için ürünün kontrolü üretim sonrası gerçekleştiriliyor ve böylece kaliteli olarak adlandırılan mamüller müşteriye sunuluyordu. Müşteriden gelen şikayetler doğrultusunda ise atölyede çalışan elemanlar ikaz ediliyor ve buna paralel olarak üretim sonrası kontroller daha hassas yapılmaya çalışılıyordu.

II. Dünya Savaşının getirdiği ağır çalışma koşulları, üretim miktarındaki büyük artış ve hassas ölçülerde imalatın bir sonucu olarak ürün kontrolünde modern ölçme gereçlerinin ve istatistik yöntemlerinin kullanılması zorunlu hale gelmiştir, [14]. Ancak savaş sonrası oluşan ağır ekonomik şartlar ve pazardaki rekabet sonucunda üreticilerin kalite ve kalite geliştirilmesi üzerindeki düşünceleri etkilenmiştir. Dünya pazarındaki savaş sonrası gelişmeleri aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz:

II. Dünya Savaşı sonrası arz açığı çok fazla olduğundan bu dönemde rekabet esasen *üretim odaklı* olmuştur. Başka bir ifade ile talep edilen ürünleri üretenler kazanmıştır. Büyük üretim, karlı ve güçlü şirketleri meydana getirmiştir, [9].

Arz-talep dengesinin oluştuğu dönemde rekabet *maliyet odaklıdır*. Bu dönemde aynı malı daha ucuza üretebilen daha ucuza da satabildiğinden, rakiplerine de üstünlük sağlayabilmiştir, [9].

1970 ve 1980'li yıllara gelindiğinde artık maliyet tek başına yetersiz kalmış ve *kalite üstünlüğü* rekabette ön plana geçmiştir. Gerek müşteri beğenisine dönük kalite, yani *tasarım kalitesi*, gerekse hatasızlık anlamına gelen *uygunluk kalitesi* belirleyici olmuştur, [9].

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda, dünya endüstri tarihinde 1950 ve 1960'lı yıllar kitle üretim ve tüketim devri, 1970 ve 1980'li yıllar ise kalite yılları olarak isimlendirilebilir. 1970'lerden itibaren kalite olgusunun ön plana çıkmasının nedeni dünyadaki tüketicilerin bilinçlenmeye başlaması ve bunun sonucu olarak bir ürünün

tercihinde güvenilirlik, kalitede süreklilik ve kişisel tatminlerini asgari ölçüde karşılayan standartlarda ürünler talep etmeleridir.

Müşteri bilinçlenmesinin sonucu yüksek kaliteli firmalar pazar paylarını yükseltmiş buna karşılık kötü kaliteli ne yaparlarsa yapsınlar müşterinin satın almasını bekleyen firmalar pazar paylarını kaybetmiş ve iş hayatından silinmişlerdir, [15].

Kalite kontrol kavramının tohumları Amerika'da atılmış olmasına rağmen bu ülkede pek rabet görmemiştir. Kalite konusunda kuşkusuz en büyük atılımı II. Dünya Savaşı sonrası Japonya yapmıştır.

Japonya'da kalite kontrolün tarihsel gelişimine bakıldığında ilk göze çarpan 1946 yılında kurulan Japon Bilim Adamı ve Mühendisler Birliği (JUSE) nin 1949'da üniversitelerden, endüstri ve kamu sektöründen biraraya getirdiği üyelerle Kalite Kontrol Araştırma Grubu'nu (QCRG) kurmalarıdır. Amaç kalite kontrol araştırmaları yapmak ve bu düşünceyi yaymaktır. Üyeler Japon endüstrisini rasyonel bir düzene oturtma, dış ülkelere kaliteli ürün ihraç etme ve Japon insanının yaşam standardını yükseltme yollarını aradılar. Bu amacı gerçekleştirmek için Japon endüstrisinde kalite kontrolü uygulamak istediler. QCRG ilk Kalite Kontrol Temel Kursunu Eylül 1949 yılında gerçekleştirdi. 1950'de JUSE A.B.D.'den Dr.Edwards Deming'in konuşmacı olarak çağrıldığı bir seminer düzenledi. Deming'in seminerinin ana hatları şöyleydi, [11]:

- Planla-Yap-Denetle-Harekete Geç döngüsünün kaliteyi yükseltmek amacıyla nasıl kullanılacağı,
- İstatistikte veri dağılımının sağlıklı olup olmadığını teşhis edebilmenin önemi,
- Kontrol çizelgeleri yoluyla proses kontrol ve çizelgelerin kullanımı.

Japon mucizesinin gerçekleşmesinde önemli bir yeri olan Deming'in kalite kontrol konusundaki felsefesi ise şöyle özetlenebilir, [15];

- Müşteriler ile satıcılar arasında yakın ilişki kurmak,

- Hataları azaltmak ve sapmaları daraltmak için İstatistiksel Proses Kontrolü kullanmak,
- Son mamul muayenesine dayanan çalışma şeklini ortadan kaldırarak, bunun yerine mamul ve hizmet kalitesini güvence altına alacak proses kontrolünü uygulamak,
- Bölümler arasındaki engelleri ortadan kaldırmak, yönetim ile işçiler arasındaki güveni arttırmak ve insanları eğitmek için sürekli çaba vermek,
- Sürekli iyileşmeyi sağlamak için uzun vadeli planlar yapmak,
- Üst yönetimin destek, katkı ve liderliğini sadece aylar veya birkaç sene değil çok uzun bir süre sürdürmek.

Deming'in Japonya'yı ziyaretinin arkasından 1954 yılında JUSE bu kez Dr.J.M.Juran'ı Japonya'ya davet etti. Dr.Juran'ın ziyareti kalite kontrolün fabrikalarda yalnızca teknoloji ağırlıklı bir çalışma olmaktan çok tüm yönetimi ilgilendiren bir kavram olduğunun idrak edilmesine yol açtı. Başlıca uygulayanları mühendisler olan istatistiksel kalite kontrol belli bir limite kadar gelişebilirdi. Juran'ın ziyareti ile kalite kontrolün bir yönetim aracı olarak algılanmasını sağlayan bir atmosfer oluşturulmuş ve böylece Japon Tarzı Toplam Kalite Kontrole geçiş için bir yol açılmıştır, [11].

Japonya'nın ilerleyen yıllarda kaliteli mamul üretimi konusundaki bu atılımı gerek Avrupalı gerekse Amerikalı şirketlerin dikkatini çekmiş ve pazar paylarını Japon şirketlerine kaptırmamak için Japonya'yı örnek alarak kalite konusunda çalışmaya başlamışlardır. Amerika'da bu konuda ilk atılımı General Motor ve Ford şirketleri yapmıştır. Bu iki şirket Deming, Juran ve diğerlerinin prensipleri üzerine kurulan bir yönetim felsefesi olan Sürekli Kalite İyileştirmeyi (Continous Quality Improvement = CQI) benimsemiştir. CQI, giren malzeme yüksek kalitede olmadıkça, yüksek kalitede ürün üretmek mümkün değildir, başka bir ifade ile "çöp girerse, çöp çıkar", prensibini ortaya koymuştur. CQI'ı benimseyen General Motor ve Ford, satıcı firmalarını kaliteli ürün üretmeleri konusunda ikna etmiştir ve böylece şirketten şirkete yayılan kalite olgusu tüm ülkeyi kaplamıştır, [15].

3.3 ÜRETİMDE KALİTE DÜZEYİ OLUŞTURMANIN TARİHSEL GELİŞİMİ

II. Dünya Savaşından günümüze kadar geçen süreye bakıldığında belli bir kalite düzeyi oluşturma çalışmalarındaki gelişmelerin aşağıdaki şekilde geliştiği görülür, [9]:

- Muayene (iyiyi köyüden ayırma)
- İstatistiksel Proses Kontrol (1960'lı yıllara kadar)
- Toplam Kalite Kontrol (1960 sonrası)
- Uluslararası Standartlar ve Kalite Güvence Sistemleri (1987'den sonra)

3.3.1 Muayene

Kalite düzeyi oluşturulmasında ilk benimsenen, muayene yöntemi olup nihai üründe uygulanabildiğinden hata yakalandığında geriye dönüş çok zordur. Ayrıca bu yöntem her bir parçanın tek tek kontrolünü gerektirir, [9]. İşleminin yerine getirilebilmesi için işletmede muayene bölümü bağımsızlaştırılır ve yetkisi artırılır. Kısaca kalite güvenliğini ortaya çıkarmak için denetimi güçlendirmeye önem verilir. Bu sebepten dolayı denetleyicilerin, doğrudan iş üreten çalışanlara oranı çok yüksektir, [11].

Bu yöntem ile sadece kontrol edilebilen parçalarda mevcut olan hatalar bulunabilmekte ancak bu hatanın tekrar oluşmaması için birşey yapılamamaktadır. Buna ilave olarak muayene yöntem ile kalitenin ucuza mal edilmesi ve bir ileri adım olan "sıfır hata"dan söz etmek mümkün değildir.

3.3.2 İstatistiksel Proses Kontrol

İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri ile partiden rastgele temsili örnekler seçilir ve bu örnekler analiz edilerek proses performansı hakkında kararlar verilir. Kaliteye yönelik istatistik bilimi çalışmaları ilk olarak 1920'lerde başlamış ancak 1960'lı yıllarda kaliteye daha sistematik biçimde yaklaşımlarda bulunulmuştur, [9].

İstatistiki Proses Kontrol’de, proses bazı diagramlar ve teknikler yardımıyla kontrol altında tutulur. Bir proseste değişmelere yol açan ve dolayısıyla kontrolü güçleştiren faktörleri iki ana başlık altında toplamak mümkündür, [9]:

Özel Faktörler: Varlıkları sürekli olmayıp zaman zaman ortaya çıkarlar. Meydana getirdikleri değişim nispeten büyüktür. İyi bir yorumlama ve inceleme ile değişim nedeni tespit edilir ve düzeltici önlemlerle proses tekrar kontrol altına alınır.

Tesadüfi Faktörler: Proseste meydana getirdikleri değişimler nispeten küçüktür. Prensipte olarak bu tür küçük değişimler doğal kabul edilir. Kontrol sınırları saptanırken, tesadüfi faktörlerin yol açtığı değişimlerin bu sınırları aşmaması öngörülür ve bu yönde tedbirler alınır.

Kalite özelliklerindeki değişikliklerin “tesadüfi olarak mı” yoksa bir takım “tespit edilebilir nedenlerden mi” kaynaklandığı kontrol şemaları yardımıyla anlaşılır. Kontrol şemalarını “ürünün gerçek kalite spesifikasyonlarını, geçmiş deneylere dayanarak saptanan limitlere göre kronolojik kıyaslamaya yarayan grafikler” şeklinde tanımlamak mümkündür, [9]. Kontrol şemaları “ölçülebilir değişkenler” ve “sayılabilir değişkenler” için düzenlenebilir. Tutulan kalite özellikleri şemalara işlenir. Şemalardan elde edilen bilgiler “proses yetenek çalışmalarında (Process Capability Index)” kullanılır.

Ölçülebilir değişkenler için kontrol şemaları olarak ortalama ($\bar{x}$), standart sapma ($\bar{s}$) ve değişim genişliği (R) diagramları, sayılabilir değişkenler için kusurlu oranı (p-şeması), kusurlu sayısı (np-şeması), kusur sayısı (c-şeması) ve birim başına düşen kusur sayısı (u-şeması) diagramları sıralanabilir. Proses kontrol altında ise değerlerin dağılımı “normal dağılım”dır. Dağılımda simetri bozuklukları ve limitlerin dışına çıkma halleri varsa buradan hareketle hata sebebi araştırılır ve prosesin nasıl daha iyi hale getirilebileceği hakkında yorumlara gidilir, [9].

İstatistiki Proses Kontrol Yöntemlerinde Pareto analizi, Sebep-Sonuç (Kılçık) Diyagramı, Histogramlar ve Kontrol Şemaları gibi yardımcı araçlar kullanılmaktadır,

[9]. Bununla beraber tecrübeler göstermiştir ki proses kontrolün bir sınırı vardır ve sadece proses kontrol ile kalite güvenliğini gerçekleştirmek mümkün değildir, [11].

3.3.3 Toplam Kalite Kontrol

Kalite kontrolde istatistiksel metodlar kullanılması ile kısa sürede başarı sağlanmasına rağmen başarılar bir limite dayanmıştır. İstatistiksel Kalite Kontrol yönteminde kalite sadece üretim bölümünün sorumluluğu altında olup firmanın diğer bölümleri kalite olgusu dışında yer almıştır. Buradan hareketle kalite kontrolün tüm işlere yayılması gereği ve bunun da yönetim mekanizmasını ilgilendiren bir kavram olduğu görüşü ileri sürülmüştür ki bu da *Toplam Kalite Kontrol* terimi ile ifade edilmiştir. Toplam Kalite Kontrol, üretimin tüm aşamalarında istatistiki kalite kontrol yöntemlerinin uygulanması ve hatanın olduğu noktada giderilmesidir. Böylece hataların üretim hattında ilerlemesi önlenmekte, hatalı ürünlere yapılan masrafta ortadan kaldırılmakta ve maliyetlerde düşmektedir, [9].

Toplam Kalite Kontrol kavramının bir adım ilerisi ise Toplam Kalite Yönetimi olmuştur. Toplam Kalite Yönetiminin temelinde koşulsuz müşteri memnuniyeti felsefesi yatmaktadır.

3.3.4 Uluslararası Standartlar ve Kalite Güvence Sistemleri

Kalite Güvencesi kavramı son zamanlarda geliştirilmiş bir kavram olup, çoğu zaman kalite kontrol ile karıştırılmaktadır. Kalite Güvencesi, bir ürünün elde edilmesindeki tüm aşamalarda, kaliteli ürünü gerçekleştirmeğe yönelik planlı çalışmaları kapsar. Başka bir deyişle Kalite Güvencesi Kavramı, bir ürün için öngörülen ve gerekli olan kalite düzeyinin tasarımdan başlayarak üretimin tamamlandığı ana kadar her aşamada kalıcı olarak sağlanmasındaki organizasyon ve etkinliklerin toplamıdır, [9].

Günümüz koşullarında müşterilerin temel beklentileri satın aldıkları ürünün her zaman beklenen kalite özelliklerine sahip olmasıdır. Üretimin sürekli kusursuz olarak üretimi, onu üreten sistemin hatasız olmasını gerektirir. Ürün hatalarına neden olan sistem

hataları olduğundan, bu hataları önlemek, alıcı ve tedarikçileri ortak bir anlayışa getirmek için Kalite Güvenliği Standartları geliştirilmiştir. Bu standartlar Uluslararası Standardizasyon Kurulu (ISO)'nun 176 no'lu Teknik Kurulunun 7 yıllık çalışması sonucu hazırladığı ve ISO 9000-9004 olarak anılan standartlardır. Aynı standartlar TSE tarafından da benimsenerek TS 9000-9004 olarak 5 Temmuz 1988 yılında yayımlanmıştır, [9].

“Kalite Yönetimi, Kalite Güvencesi Sistemleri” olarak tanımlanan bu standartlar ISO 8402 (TS 9005) Kalite Sözlüğü ile de desteklenmiştir. Bu standartlar aşağıda kısaca açıklanmıştır, [9]:

TS (ISO) 9000	-	Standartların seçim ve kullanım klavuzu
TS (ISO) 9001	-	Kalite Sistemleri - Tasarım, Üretim, Tesis ve Hizmette Kalite Güvencesi modeli
TS (ISO) 9002	-	Kalite Sistemleri - Üretim ve tesiste Kalite Güvencesi modeli
TS (ISO) 9003	-	Kalite Sistemleri - Son muayene ve deneyler için Kalite Güvencesi modeli
TS (ISO) 9004	-	Kalite Yönetimi ve Kalite Sistemi Elemanları Kılavuzu
TS (ISO 8402) 9005	-	Kalite sözlüğü

Yukarıda ifade edilmeye çalışılan kalite olgusunun tarihsel gelişiminden yola çıkılarak oluşturulmaya çalışılan kalite düzeyleri ve bunlar arasındaki temel farklılıklar Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1’den ortaya çıkan sonuç şu olmuştur: Kalite, ilerleyen zaman içerisinde kişilerin ve bölümlerin kontrolünden çıkarak şirketin tüm çalışanlarının görevi haline gelmiştir.

Tablo 3.1 Kalite olgusunun tarihsel gelişimi [13]

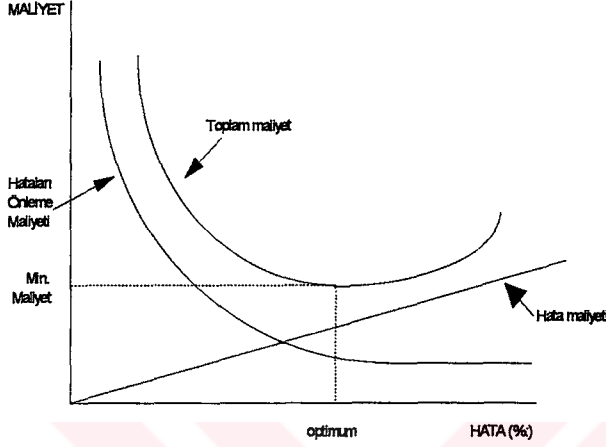
Belirleyici Özellikler	Muayene	İstatistiksel Proses Kontrol	Toplam Kalite Kontrol	Toplam Kalite Yönetimi
Temel Prensipler	Meydana çıkarma	Kontrol	Koordinasyon, firma	Süreç ve insan odaklılık; sürekli gelişme
Kaliteye bakış açısı	Çözülmesi gereken bir problem	Çözülmesi ve izlenmesi gereken bir problem	Tasarım aşamasında yaratılan unsur, kalitesizlik ortaya çıkmadan önlenmesi gereken bir problem	Koşulsuz müşteri tatmini
Vurgu	Standart ürün	Muayenenin azaltıldığı standart ürün	Tüm üretim hattında, tasarımdan pazarlamaya tüm hatlarda ve fonksiyonel gruplarda kalitesizliğin önlenmesi	Başta yönetim süreçleri olmak üzere tüm süreçlerde "kalite"nin paylaşılan vizyon olması ve birey kalitesinin artırılması
Metot	Örnekleme ve ölçme	İstatistiksel araçlar ve teknikler	Programlar ve sistemler	Yönetim anlayışı ve sistemi
Kalite sorumlularını rölü	Muayene, çeşitleme, hesaplama	Problemin tesbiti ve istatistiksel metodların uygulanması	Kalitenin ölçümü, planlanması ve tasarımı	Kalitenin oluşturulmasında görevdeşlik sağlanması
Kaliteden kim sorumlu	Muayene bölümü	Üretim ve mühendislik departmanı	Üst yönetim, tüm departmanlar	Üst yönetim, tüm departmanlar ve işletmedeki tüm bireyler
Temel yaklaşım	Kalitede muayene	Kalitede kontrol	Kalitede yapılanma	Yaratılan kalite

3.4 KALİTE MALİYETLERİ VE KALİTESİZLİĞİN BEDELİ

Dünya pazarında kalite bazındaki rekabet, maliyet olayını ekarte etmemiş aksine yüksek kalite ve düşük maliyet bir arada istenmiştir. Günümüz koşullarında bu iki boyuta bir de *hız* kavramı eklenmiştir. Yüksek rekabet gücü, Kalite-Maliyet-Termin üçlüsünün her birinde üstünlüğü gerektirmektedir, [9].

Klasik yönetim anlayışında Kalite ve Maliyet olguları çelişmektedir. Bunun sebebi ise belli bir seviye üzerinde kaliteyi temin edebilmek ancak maliyetlerin artışı ile

mümkündür. Klasik yöntemde en düşük maliyet *optimum kalitede* başka bir ifade ile belli bir hata yüzdesinde gerçekleşmektedir. Bu anlayışa göre hatayı daha düşük oranlara indirmek maliyeti arttıracak, “sıfır hataya” ulaşmak ise muhtemelen mümkün olmayacaktır, [16].



Şekil 3.3 Klasik yönetimde kalite-maliyet ilişkisi , [16]

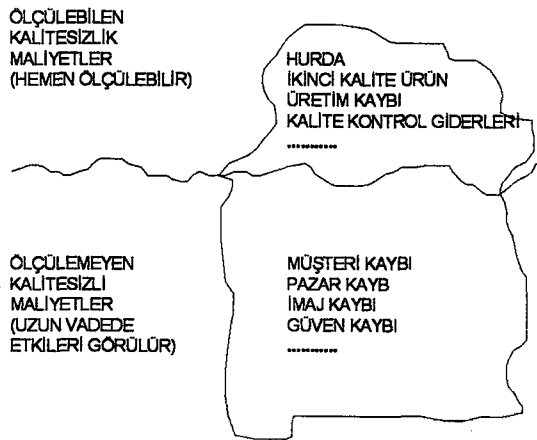
Fonksiyonların ayırımına dayalı klasik model ile kimileri üretimi yaparken, kimileri de kaliteyi kontrol ederek sıfır hataya varılamaz. Muayene ile %100 kalite sağlanamaz çünkü belirlenen her özelliği ürüne hasar vermeden %100 muayene etmek mümkün değildir. Şekil 3.3’de belirtilen *hataları önleme maliyetinin* daha düşük seviyelerde gerçekleşmesi için muayeneden vazgeçilerek kalitenin, önleyici yaklaşımla sağlanması gerekmektedir, [16].

Kalite maliyetlerini iki ana grup altında toplamak mümkündür: Kaliteye uygunluk ve uygunsuzluk maliyetleri. Kaliteye uygunluk maliyeti, önleme ve ayıklama maliyetleri; kaliteye uygunsuzluk maliyetleri de firma içi ve firma dışı hata maliyeti olacak şekilde sınıflandırılabilir, [17].

Bu dört temel kalite maliyetini biraz daha açarsak, [17]:

- **Önleme Maliyeti:** Üretilen düşük kaliteli ürün nedeniyle meydana gelir. Uygunsuzluğu önleme işlemleri; Proses kontrolünde yapılan geliştirmeler, kalite güvence sistemleri, kalite eğitimleri ve kalite planlamalarında meydana gelir.
- **Ayıklama Maliyeti:** Düşük kalitedeki ürünün müşteriye gitmesinin önlenmesi için yapılan işlemlerin maliyetidir.
- **Firma İçi Hata Maliyeti:** Kalite standartlarına uygun olmayan ürün veya servisin müşteriye gitmeden belirlendiği zamanki maliyetidir. Bunlar, tekrar işleme, tamir etme, ilave olarak kalite problemleri nedeniyle duruş, fire ve malzeme kayıplarını da kapsar.
- **Firma Dışı Hata Maliyeti:** Bu, düşük kaliteli ürünün müşteriye gitmesi ile ortaya çıkar. Bunlar, müşteri güveninin kaybolması, hukuki davalar, pazar kaybı gibi etkilere sahiptir.

Kalitesizliğin getireceği maliyeti *ölçülebilen* ve *ölçülemeyen* şeklinde iki başlık altında toplamak mümkün olacaktır. Kalitesizlik maliyetini en güzel ifade eden *kalite buzdağıdır*. Kalite buzdağı analojisinden de görüleceği gibi ölçülebilen kalite maliyetinin etkisi çok kısa bir zaman içinde farkedilir ancak ölçülemeyen kalite maliyetinin etkisi uzun bir zaman dilimi içinde kendini hissettirir.



Şekil 3.4 Kalite Buzdağı, [16]

Yukarıda ifade edilen klasik yönetim anlayışı ile kalitenin elde edilmesinin pahalı olması ve kalitesizliğin getireceği ölçülebilir ve ölçülemez maliyetler gözönüne alındığında otokontrole dayalı bir yönetim anlayışı ve önleyici kalite kontrol yöntemlerinin uygulanması ile ucuza kalite satın alınabilir.

3.5 TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ

Kalitenin tarihsel evrimine bakıldığında son yıllarda tüm dünyada uygulanmaya çalışılan sistemin *Toplam Kalite Yönetimi* olduğu görülmektedir.

Toplam Kalite Kontrol kavramını ilk defa ortaya atan Dr. Feigenbaum olmuştur. Feigenbaum'a göre Toplam Kalite Kontrol "bir organizasyondaki değişik grupların kalite geliştirme, kaliteyi koruma ve kalite iyileştirme çabalarını müşteri tatminini de gözönünde tutarak üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek için birleştiren etkili bir sistem" olarak tanımlanmıştır, [11].

Bir şirkette, herkesin görevi olan kalitenin hiç kimsenin görevi olmama haline dönüşebileceğinden korkan Feigenbaum, her bölüme kalite kontrol uzmanları yerleştirmeyi uygun görmüştür. Ancak Japonya'da Toplam Kalite Kontrol, şirketin bütün bölümlerindeki her bir elemanın kalite kontrolü öğrenmesi, uygulaması ve çalışmalara katılması şeklinde uygulanmıştır.

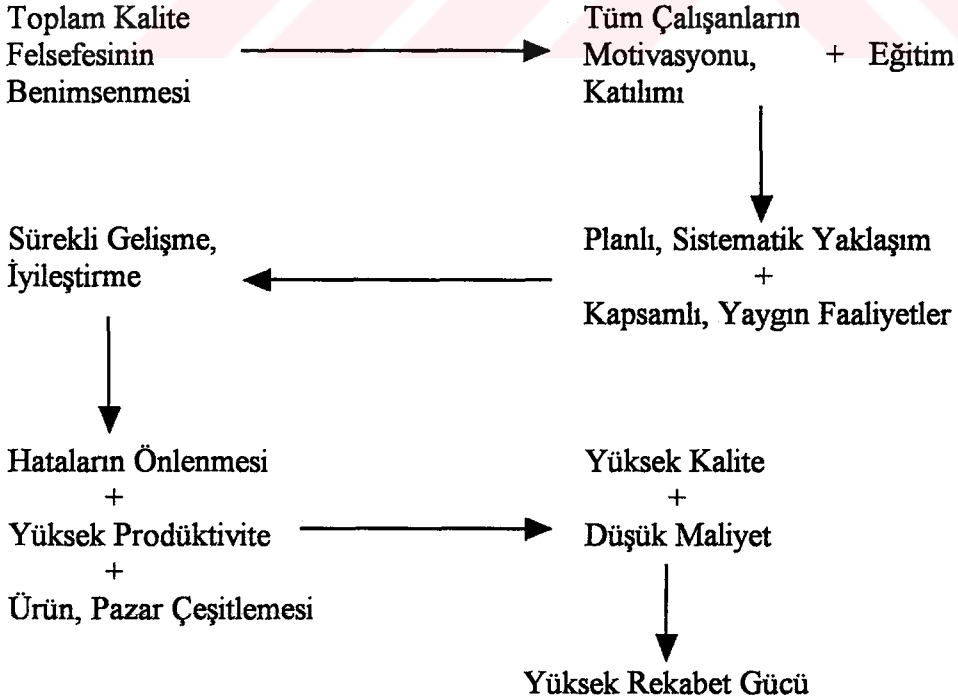
İşletmede Toplam Kalite Kontrol Yönteminin başarıya ulaşabilmesi için kalitenin herkesin görevi olduğu, yapılan işlerin ne kadar başarılı olursa olsun daha iyisinin mutlaka mümkün olduğu bilincinin ilk kademe çalışanlarına kadar özümsetilmesi gereklidir, [9].

"Toplam Kalite", müşteri odaklılık, sürekli gelişme, istatistik, katılımcı yönetim, önleyici kalite kontrol, sıfır stok, esnek üretim ve diğer pekçok kavramı içeren bir yeni sistemdir. Bu noktada Toplam Kalite nedir? sorusuna bir cevap vermek gereklidir. Çok kısa bir tanımla toplam kalite, müşterilerin ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayan bir yaklaşım olduğu kadar maliyetleri de düşüren bir yönetim tarzıdır. Başka bir ifade

ile toplam kalite hataları önlemeyi hedefler, böylece müşteri hatasız ürünlere sahip olurken üreticinin de maliyetleri düşmüş olur, [16].

Toplam Kalite yaklaşımı kalite üstünlüğü sağlaması yanında maliyet, hız ve esneklik üstünlüğünde sağlamıştır. Kalite eskiden beri elde edilebiliyor ancak kalite ve “ucuz ürün” kelimeleri birlikte telaffuz edilemiyordu. Japonlar, geliştirdikleri bu yönetim sistemi ile kalitenin her kesime uyucak şekilde ucuza sunulabileceğini ispatlamışlardır. Toplam Kalite Yönetiminin kaliteyi yükseltirken maliyeti düşürmesinin nedeni; Toplam Kalite Yönetimini benimseyen bir kuruluşun tüm faaliyetlerinde kaliteyi yükseltmeyi hedeflemesi ve böylece her aşamada oluşması söz konusu olan hataları önlenmiş olmasıdır. Hataların önlenmesi ile kayıplar (fire, ıskarta, ikinci kalite ürün, gereksiz stoklar, zaman kayıpları, teslimattaki geçikmeler vb.) azalacaktır. Yüksek kalite, düşük maliyet hedefine ulaşabilmek için bir kuruluşun yapması gerekenleri iki maddede toplamak mümkündür, [16]:

1. Gelişme ve yaratıcılık için tüm çalışanların katkısı,
2. Analiz, problem çözme ve karar verme tekniklerinin sistematik bir biçimde kullanılması.



Şekil 3.5 Toplam Kalite'nin rekabet gücüne etkisi

İşletmenin her alanında bu tekniklerin kullanımı ile gerçekleştirilen çok sayıda “iyileştirme” projesi ile Japon’ların KAIZEN sözcüğü ile ifade ettikleri *sürekli gelişme* sağlanmış olunur. Toplam kalitenin rekabet gücüne olan etkisi yukarıda şekilde ifade edilmiştir,[16].

3.5.1 Toplam Kalite Yönetiminin Temel İlkeleri

Toplam Kalite Yönetimi, organizasyon ve sistemin genelinde insana en ön sırada değer vermeyi ve bilimselliği şart koşar. Bu nedenle Toplam Kalite Yönetiminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için Toplam Kalite Yönetimi temel ilkelerinin tek tek kavranması gereklidir.

3.5.1.1 Müşteri Odaklılık

Bir şirketin günümüz koşullarında ayakta kalabilmesi için gerekli olan rekabet gücünün yüksek olmasıdır başka bir ifade ile müşteriyi memnun edebilmesidir. Günümüz rekabet ortamı şirketleri “yapılanı satmaya çalışan” dan çok “istenileni yapmaya çalışan” hale getirmiştir. İstenilenin ne olduğunu bilmek ise müşteri ile dialog halinde olmakla mümkündür. Günümüz şirketlerinin temel felsefesi koşulsuz müşteri memnuniyetini sağlayabilmektir.

Müşteri odaklı Şirket kültürüne sahip firmalarda, müşterinin istek ve ihtiyaçları herşeyden önce gelir. Toplam Kalite Yönetiminin bu temel ilkesi uygulaması en zor ancak uzun dönemde firmaya en çok katkı sağlayacak alanıdır.

3.5.1.2 Tam Katılım ve Grup Çalışması

Toplam Kalite modelinin belirgin ilkelerinden biri de grup çalışmalarının yaygınlığıdır. Grup çalışmaları ile hiyerarşik yapı enine bir gelişme göstermeye başlamış ve işletmelerde yönetime katılım artmıştır.

Toplam kalite yönetiminde grup çalışmalarının çok spesifik amaçları, belirli yöntemleri ve mutlaka uyulan sıkı bir disiplini vardır. Grubu oluşturanlar tam katılıma gönüllü olmalı ve sorumluluğu tam paylaşmalıdır. Ancak bu şekilde grup çalışması istenen sonucu verir ve yararlı olur.

Grup çalışmalarının işlevleri ve yararları şu şekilde sıralanabilir , [16].:

- “İşletme körlüğü”nü aşmada en etkili yöntemdir.
- Bu tür çalışmalar kişinin teknik bilgisini geliştirir, işini daha iyi anlamasına ve konuya bütünsel bakmasına yardımcı olur.
- Çalışanların sorun çözme yetenekleri artar ve iletişim alışkanlığını yerleştirir.
- Yaratıcılığı geliştirir ve teşvik eder.
- Kişisel ilişkileri ve etkileşimi güçlendirir.
- Ekonomik analiz, çağdaş yönetim ve katılımcı karar verme anlayışını getirir.
- Kişilerin işlerini seven, başardıkları ile gurur duyan insanlar olmalarına yardımcı olur.

3.5.1.3 Ölçüm ve İstatistik

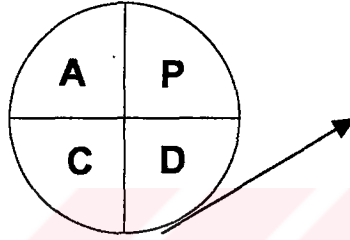
Proseslerin normal değişkenliği bilinmediği sürece bu proseslerin kontrolü ve dolayısıyla ürünün kalite kontrolü yapılamaz. Teknik ve idari proseslerdeki sorunlardan gerçekçi ölçümlere dayanan sonuçlar çıkarabilmesi ve sorunlara doğru teşhis koyabilme gücü toplam kalite yönetiminin en önemli özelliklerindendir. Bu nedenle ölçüm ve istatistik toplam kalitenin vazgeçilmez parçalarıdır.

3.5.1.4 Sürekli Gelişme

Günümüzde yüksek rekabet gücüne sahip şirketlerde kalite yönetiminin temeli “Sürekli Gelişme”ye dayalıdır. Sürekli gelişme ile hedef belli bir standartı tutturmak değil, seviyeyi sürekli ve hızlı bir tempoda geliştirmektir.

Sürekli gelişme çevrimini ilk olarak ortaya atan Dr.W.A.Shewhart olmuştur. Bu çevrimi doğru biçimde özümseyerek 1950 yılında Japonlara aktaran ise Dr.E.Deming olmuştur, [16].

Sürekli gelişme yaklaşımının ileri sürdüğü fikir şudur: İmalatçı her zaman tüketici isteklerine kulak vermeli ve kendi standartlarını belirlerken tüketicilerin düşüncelerini önceden tahmin etmelidir. Bu yapılmadan, kalite kontrol ne kendi hedeflerini gerçekleştirebilir, ne de tüketicilere kalite temin edilebilir, [12].



Şekil 3.6 Deming'in kalite döngüsü

Deming'in döngüsünün işleyiş şekli şöyledir, [16]:

- (P) Planla : Kaliteyi geliştirme amaçlı bir değişiklik yap.
- (D) Yap : Yapılan değişikliği uygula ve veri topla.
- (C) Değerlendir : Uygulama sonuçlarını kontrol et, değişikliğin olumlu bir faydası var mı?
- (D) Harekete Geç : Değerlendirme aşamasının sonucuna göre değişikliği standardize etmek veya çemberi tekrarlamak üzere harekete geç.

Deming döngüsünün planlama aşamasında beyin fırtınası, iş akış çizelgeleri, balık kılçığı çizelgesi gibi teknikler kullanılır. Değerlendirme safhasında istatistiksel

yöntemler kullanılır. Buradan çıkan sonuç yukarıda Toplam Kalite Yönetimin temel ilkelerinden ikisi olarak belirtilen “ölçüm ve istatistik” ile “Grup çalışması” olmadan sürekli geliştirmeyi gerçekleştirmek mümkün değildir.

3.5.1.5 Yönetim Modeli

Toplam Kalite Yönetiminin bir işletmede başarılı olarak uygulanabilmesi için en önemli faktör “yönetim modeli”dir. Şirketin öncelikli olarak klasik yönetimden uzaklaşması ve Toplam Kalite Yönetimi modelini benimsemesi gerekmektedir ancak bu yönetim modeli ile başarıya ulaşabilir, [16].

3.5.1.6 Dökümantasyon

Toplam Kalite anlayışının tüm gerekleri ile uygulanabilmesi ve oluşabilecek bir kavram kargaşasının önlenmesi için yapılması gereken tüm elemanlar, hazırlıklar ve proseslerin yazılı politika ve işlemler şeklinde düzenlenerek dökümanite edilmesidir. Bu şekilde yazılı olan proses ve kavramlar herkes tarafından anlaşılabilir ve eksikler tespit edilebilir. Bu amaçla kullanılan temel dökümanlardan biri “Kalite El Kitabı”dır. Kalite El Kitabı, kalite politikası ve stratejisini tanımlar ve çalışanların başvurabileceği bir referans döküman görevindedir. Kalite sürekli bir değişim içinde olduğundan, bu değişimler Kalite El Kitabı’na da yansıtılarak güncelliği sağlanır.

3.6 TOPLAM KALİTE YÖNETİMİNİN TEMEL ÖĞELERİ

Toplam Kalite Yönetiminin başarıya ulaşabilmesi için aşağıda ifade edilen tüm öğelerin eksiksiz olarak yerine getirilmesi gereklidir, [16].

- **Kuruluşun Kalite Amaç ve Politikalarının Belirlenmesi:** Toplam Kalite Yönetiminin temeli açıklık ve iletişime dayanmaktadır. Kuruluşta çalışan herkese kuruluşun amacı, kalite politikası ve ulaşmak istenen hedefler açıklıkla izah edilmelidir daha da önemlisi tüm çalışanların bu politikayı oluşturmaya katılmaları sağlanmalıdır.

- **Çalışanların Tümünün Müşteri Tatminine Öncelik Vermesi:** Müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin doğru olarak saptanması ve eksiksiz yerine getirilmesi tam olarak müşteri tatminini sağlayacaktır. Buna bağlı olarak pazar payının gelişmesi ve karlılığın artırılması sağlanacaktır.
- **Çalışmaların İleriye Yönelik, Bilinçli Şekilde Programlanması:** Toplam Kalite Yönetimi hedefler doğrultusunda gerçekleştirilmelidir. Hedef seçimi önemlidir. Açık, ölçülebilir ve gerçekleştirilebilir hedefler seçilmeli ve bu hedeflere ne ölçüde yaklaşıldığı izlenmelidir.
- **Sürekli Eğitim Faaliyetlerinin Gerçekleştirilmesi:** Her kademedeki çalışanlara hem temel konularda hem de Toplam Kalite Kontrol faaliyetlerini içeren konularda sürekli eğitim verilmeli ve yöneticilerin çalışanları bizzat eğitmeleri sağlanmalıdır.
- **İstatistiksel Metodlar Ve Proses Kontrol Çalışmaları:** Kaliteyi üretim aşamasında sağlamak, hatalı ürünleri oluşmadan önleyebilmek gelişmenin temel şartıdır. Bunu sağlayabilmek için ürünlerin kendisini değil o ürünleri üreten prosesleri kontrol edici bir yaklaşım getirilmesi zorunludur.
- **Kalite Çemberleri:** Çalışanların karşılaştıkları problemleri kendilerinin çözmesi esasına dayalı olan Kalite Çemberleri çalışmalarının yönetim tarafından desteklenmesi, kuruluşlarda üretimi bizzat gerçekleştiren ve çalışanların çoğunluğunu oluşturan kitlenin de geliştirme faaliyetlerine katkısını sağlayacaktır.
- **Prodüktivite Çalışmaları:** Rekabet gücü açısından prodüktivite değerlerini çeşitli faktörlere göre ölçmek ve bu değerlerin sürekli yükselmesini sağlayacak şekilde çalışmaları yönlendirmek yönetimin öncelikli çalışmalarından olmalıdır.
- **Kalite Maliyetlerinin Hesaplanması:** Kalite maliyetleri yönetim tarafından tanımlanmalı, Maliyet Muasebesi sistemi kalite maliyetlerini periodik olarak hesaplayıp raporlayacak şekilde düzenlenmeli, kalitesizliğin sebep olduğu kayıplar tüm çalışanlara açıklanmalıdır.

- **Planlı Bakım:** Toplam Kalite Yönetim felsefesi tepkici bir yönetim biçimi yerine önleyici yönetim şeklini öngörür. Bu nedenle her türlü makine, tesisat ve donanımın bakımlarının, arızaları ve duruş zamanlarını sıfıra indirecek şekilde planlanması ve bunlarla ilgili prosedürlerin hazırlanması gerekmektedir.

- **Tedarikçilerle İlişkiler:** Tedarikçilerle işbirliğine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmeli, seçilen tedarikçilerle karşılıklı güven ve ortak çıkarlara dayalı uzun vadeli ilişkiler geliştirilmelidir.

- **Kalite Denetimi:** Sistemdeki hata ve aksaklıkları saptamaya yönelik olarak belli aralıklarla veya özel koşullarda kalite denetimleri gerçekleştirilmelidir. Denetimin kapsamı ve kimler tarafından yapılacağı planlarda açıklanmalıdır.

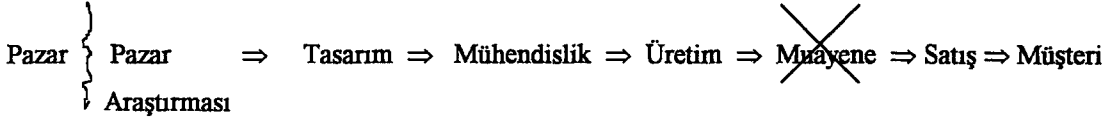
3.7 KLASİK YÖNETİM (TAYLOR MODELİ) İLE TOPLAM KALİTE YÖNETİMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Japonlar geliştirdikleri Toplam Kalite Yönetimi sistemi ile İkinci Sanayi Devrimi'nin mimarı olan Frederic Taylor'un getirdiği sistemi tersine çevirmişlerdir.

Klasik yönetim anlayışında kaliteyi geliştirme yöntemi "tepkici" bir mantığa dayanmaktadır. Klasik yöntemde müşteriden gelen şikayetler önce işletmenin satış bölümüne ulaşmakta oradan da sırasıyla muayene, üretim, tasarım ve pazar araştırması bölümlerine ulaşmaktadır. Klasik yöntemde şikayetler kaynağa doğru ilerlerken, farklı fonksiyonların birbirleri ile çatışması, kişisel çekişmeler ve zaman kaybı söz konusudur. Müşteri şikayetlerinin yeni ve/veya geliştirilmiş bir kaliteye dönüşmesi bu yönetim modelinde aylara, hatta bazen yıllara yayılmaktadır, [16].

Toplam Kalite modelinde esas olan hataları önlemektir. Bu nedenle, müşterinin beklediği (hatta beklentisinin ötesindeki) kalite tasarım aşamasında gerçekleştirilir. Bu kaliteyi yakalamak mümkün olsa da olmasa da, Toplam Kalite Yönetimi müşteri şikayetlerini beklemeden yeni ve gelişmiş kalite arayışlarını sürdürür. Kalite geliştirme

süreci ile ürün oluşturma ve müşteriye sunma süreci ters yönde değil, aynı yöndedir, [16].



Müşteri	Üretimde	Hata	Sürekli	•Yüksek kalite
ihtiyaçlarının	sorun	kaynaklarını	denetimle	
sistematik	çıkarmayacak	önceden	hatalı	•Düşük fiyat
biçimde	ürünleri	belirleyip	üretimi	
belirlenerek	tasarlamak	gidermek	önlemek	•Zamanında
teknik	(Robust	(FMEA)	(İPK)	ve kısa
özelliklere	Design)			sürede teslim
dönüştürülmesi				(K-M-T)
(QFD)				

Şekil 3.7 Toplam Kalite Yönetiminde Kalite Geliştirme [16]

Klasik yönetim ile toplam kalite yönetimi anlayışı arasındaki temel farklılıkları şöyle sıralandırabiliriz, [16]:

KLASİK YÖNETİM ANLAYIŞI

1. “Muayeneye” dayalı kalite
2. Yüksek kalite ile artan maliyet
3. Optimum stok

TOPLAM KALİTE YÖNETİM ANLAYIŞI

- “Önemeye” dayalı kalite
- Yüksek kalite ile düşen maliyet
- Sıfır stok

4. Spesifikasyon limitleri arası üretim	Hedef değerde üretim
5. Sorunlar çıktıkça çözüm geliştiren yönetim	Olası sorunları düşünüp, bunları önleyen yönetim
6. İhtisaslaşma ile sistem geliştirme yaklaşımı	İşbirliği ile sistem geliştirme yaklaşımı
7. Fonksiyonların kesin ayırımına dayalı organizasyon	İşin ideal biçimde yürütülmesine dayalı esnek organizasyon
8. Kabul edilebilir hata düzeyini hedefleyen üretim	“Sıfır hata”yı hedefleyen üretim
9. Ödül ve cezaya dayalı motivasyon	Onurlu çalışmaya ve bunun takdir edilmesine dayalı motivasyon
10. Hiyerarşiye dayalı öncelikler	Müşteri tatminine dayalı öncelikler
11. Rekabete dayalı tedarik sistemi	Karşılıklı anlayış ve güvene dayalı tedarik sistemi
12. Kar maksimizasyonunu hedefleyen güdülenme	Performansı geliştirmeyi hedefleyen güdülenme
13. Ulusal/Uluslararası standartlara göre ürün kalitesi	Müşteri ihtiyaçlarına cevap veren ürün kalitesi
14. AR-GE ve pazarlamanın sorumluluğunda ürün tasarımları	Üretenlerin ve satış yapanların da katkısı olan ürün geliştirme

15. Kalite Kontrol fonksiyonunun sorumluluğunda kalite güvencesi	İşi yapanların sorumluluğunda kalite güvencesi
16. Optimum fire veya yeniden işleme	Sıfır fire veya yeniden işleme
17. Optimum 1. Kalite/2. Kalite oranı	Sadece 1. Kalite ürün üretimi
18. Evrimsel hızla gelişme	Devrimsel hızla gelişme
19. Yüksek verimli proseslerle sağlanan randıman artışları	“Robüst” ürün tasarımı ile sağlanan randıman artışları
20. İşbaşı eğitimi ile sağlanan bilgi ve beceri	İşbaşı eğitimi kadar temel eğitimle de geliştirilen bilgi ve beceri
21. Fayda-maliyet analizine dayalı yatırım/işletme kararları	Kaliteyi geliştiren her uygulama ve yatırımı benimseyen yönetim anlayışı
22. Hatalı uygulamaları önlemek için prosedürler geliştiren yönetim	Çalışanların fikirlerinden yararlanarak hataları önleyen yönetim
23. İşi en iyi bilen o işi yöneten olduğuna inanan anlayış	İşi yapanın o işi en iyi bildiğine inanan yönetim
24. Tecrübe ve inisiyatif dayalı yönetim kararları	İstatistik ve kantitatif analizlere dayalı yönetim kararları

3.8 KALİTE TEKNİKLERİ

Kaliteye en kısa yoldan ulaşmaya ve sürekliliğini garanti altına almaya yönelik çalışmaların ilk adımı ürün kalite karakteristiklerinin doğru tespit edilmesi, tanımlanması ve planlanması ile gerçekleştirilir. Bu aşamada Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme (KFG) Tekniğini, Deneylerin Tasarımı (Taguchi Tekniği) Tekniği ile birleştirerek çalışmak avantajlıdır; [18].

Ürün kalite karakteristiklerinin doğru olarak tespit edilmesi sonrası hatasız üretim amacına yönelik olarak ürün, proses tasarımı ve üretim prosesi sürecinde olası hata türlerinin nedenlerinin ve bunları ortadan kaldırmayı hedefleyen önlemlerin saptanması pazar ve üretim verilerinden yola çıkılarak yapılır. Bu çalışmalar Hata Ağacı Analizi (HAA), Olası Hata Türleri ve Etkilerinin Analizi (OHTEA), POKA-YOKE teknikleri kullanılarak gerçekleştirilir. İstatistiksel Proses Kontrol teknikleri kullanılarak da üretim prosesinin kontrol altında olup olmadığının ve üretimde kullanılan proses ve donanımların öngörülen koşulları sağlayacak yetenekte olup olmadıkları belirlenir; [18].

Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği (KFG):Günümüz rekabet koşullarında üretim-planlama ve tasarım aşamasında KFG tekniği müşterinin istek ve beklentilerini ürün kalitesine yansıtmayı amaçlar. KFG tekniğinin amacı, müşteri istek ve beklentilerini karşılarken elde edilen bilgiler ile ürün tasarımına yardımcı olmanın yanı sıra Toplam Kalite Yönetimi kapsamında daha sonra gerçekleştirilecek olan Deneylerin Tasarımı ve İstatistiksel Proses Kontrol çalışmalarına da temel oluşturmaktadır, [18].

KFG tekniği dört aşamadan oluşmaktadır, [18]:

I.Aşama: Müşteri isteklerinin, beklentilerinin ve ihtiyaçlarının belirlendiği safhadır.

II.Aşama: Müşteri istekleri doğrultusunda belirlenen ürün niteliklerinin ürün karakteristiklerine dönüştürülmesi.

III.Aşama: Belirlenen ürün karakteristiklerinin imalat karakteristiklerine dönüştürülmesi.

IV. Aşama: Teknik güçlükler derecelendirilerek imalat karakteristikleri imalat kontrol karakteristiklerine çevrilir.

Deney Tasarımı (DoE) : Üretim parametrelerinin deney yolu ile değiştirilerek “optimum” bir işletme verimliliği elde edilmesi 1920’lerden beri bilinmekteydi ancak Dr.Genichi Taguchi bu yöntemi optimumu araştırmak için değil kalitesizliği en aza indirmek amacı ile kullanmıştır. Başka bir ifade ile Taguchi en az hatalı ürünü üreten parametreler kombinasyonunu bulmak için istatistiksel deney tasarımı yöntemini kullanmıştır, [12].

Hata Ağacı Analizi (F.T.A): Hata ağacı analizi sistem güvenilirliğini ve emniyetini tanımlamak için kullanılan bir tekniktir. Analiz, tasarımcının çözümler önermesi gereken hata türlerini tanımlaması ile başlar ve hataya neden olabilecek ana sebeplerin araştırılması ile devam eder. Bu analizde öncelikle en önemli hata tespit edilir. Bunu takiben bu olaya sebep olacak olaylar tespit edilir başka bir ifade ile ağaç oluşturulur. Her olası olayın oluşmasına neden olan faktörlerin tespiti bir sonraki adımı oluşturur. Son olarak da oluşturulan ağaç, düzeltici faaliyetlerin nerede kullanılması gerektiğini gösterecektir,[18].

POKA-YOKE: Poka-Yoke (hata önleyici) kavramını kalite alanında Japonya’nın yetiştirdiği dahilerden biri olan Shigeo Shingo geliştirmiştir. Bu teknik vasıtası ile tesadüfi hatalar azaltılmalı, yani üretim sürecinde sadece hatasız ürünler üretilmesine yönelik koşullar sağlanmalıdır.

Poka-Yoke’ye yönelik ilk çalışma İstatistiksel Proses Kontrol sonuçlarından yararlanarak olası hata türlerinin belirlenmesi ile başlar. İkinci aşama olası hata türü ve etkileri analizinin problem çözümü aşaması benzeri olarak düşünülebilir. Poka-Yoke yeni uygulamaya konulan bir kalite sisteminin yapı taşı olarak düşünülmemelidir, [18].

BÖLÜM 4

OLASI HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZİ (F.M.E.A.)

4.1 OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİSİ ANALİZİNE (O.H.T.E.A.) NEDEN İHTİYAÇ VARDIR?

Günümüz rekabet ortamında üretici firmaların ayakta kalabilmeleri Kalite-Maliyet-Termin üçlüsünün herbirinde üstünlüğü sağlayabilmelerine bağlıdır. Bu üç kavramın herbirinde başarılı olmak ise ürünün mümkün olduğunca hatasız olarak üretilmesine bağlıdır. Yukarıda ifade edilen kavramlara ilave olarak bir diğer önemli nokta da mevcut ürün kalitesinin kullanım esnasında sürekliliğini koruyabilmesi yani güvenilir olmasıdır.

Ürünler karmaşıktıkça geleneksel tasarım metotları ile düşük hata oranlarını elde etmek zorlaşmaktadır. Dolayısıyla bir ürünün düşük hata oranlarında üretimini temin etmek için: bir güvenlik programının geliştirilmesi, tedarikçi firmaların izlenmesi ve kontrol edilmesi, bir hata raporlama sisteminin oluşturulması, uygun hata analizinin yapılması, düzeltici faaliyetlerin yürütülmesi, hata arama sisteminin yapılandırılması ve tahmin ve olası hata türleri ve etkilerinin analizini tam olarak uygulaması gerekmektedir. Çoğu üründe üretim esnasında oluşan hatalar üç ana başlık altında toplanabilir, [18]:

- Birinci kategoride tasarım, imalat veya yanlış kullanımdan kaynaklanan ve başlangıçta oluşan hatalar yer alır,
- İkinci kategoride tasarım, kaza veya iyi korumamanın (kötü bakım) nedeniyle üründe oluşan hatalar,
- Üçüncü kategoride ise yıpranma veya eskime nedeniyle oluşan hatalar yer almaktadır.

OHTEA, sistem, proses, tasarım veya hizmette bilinen veya potansiyel hata, kusur ve problemlerin müşteriye ulaşmadan önce teşhis edilmesi ve yok edilmesi amacıyla kullanılan bir kalite tekniğidir.

OHTEA metodu, problemlerden kaçınmada uygun bir metoddur. Kalitede artan isteklerin cevaplanabilmesi, hazırlık aşamasında hata denetimi ile mümkündür. Hatasız ürünler ve kontrollü proses, kalite maliyetlerinin daha düşük olmasına ve kalitede yükselmeye neden olurken bu iki sonuç müşteri memnuniyetinin anahtarıdır. Bu sonucuda ancak problemi önleyici bir yaklaşımla ulaşılabilir.

OHTEA çalışmasında ürünlerin tasarım proseslerinde ve üretimindeki potansiyel hatalar tespit edilir, bu hataların etkileri belirlenir ve bu hataların sebepleri analiz edilir. Sayısal değerlendirme ile uygun tedbirler alınır. Gerçekleştirilen düzeltmeler belgelendirilir ve yeniden değerlendirilir. Bu metod yardımıyla analiz edilen proses ve bunu takip edecek proseslerde hata önleme çalışmalarını yapmaya imkan doğmaktadır.

OHTEA, hataların müşteriye ulaşmadan önlenmesini, düzeltici faaliyetlerin oluşmasını sağladığından olası en yüksek dayanıklılığa, kaliteye ve güvenilirliğe sahip ürün ve hizmetlerin sağlanmasına katkıda bulunur. Prensip olarak OHTEA'nın sürekli tekrarlanması söz konusu olduğundan kalitenin sürekli gelişmesinde etkin bir rol oynamaktadır ve bunun sonucunda da müşteri memnuniyeti sağlanabilmektedir.

4.2 OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİSİ ANALİZİNİN PRENSİBLERİ

OHTEA'nın amacı potansiyel hata sebeplerini tanımlamak ve bu hatalar meydana gelmeden önlemektir. OHTEA, işletme için bir hata önleyici yöntem aracıdır. Bu noktada sadece iyi tasarlanmış ve uygulanmış OHTEA'nın işletmeye ve müşteriye fayda sağlayacağını ifade etmek gerekmektedir.

OHTEA'nın amaçlarını üç başlık altında toplayabiliriz, [19]:

- Hata, kusur veya problem türlerini, etkilerini ve kritikliklerini kararlaştırmak,

- Ürünün tehlikeli hatalarını (arızalarını) belirlemek,
- Hata, kusur, arıza ve tehlikeleri ortadan kaldıracak veya en aza indirecek değişiklikleri, yöntemleri ve testleri kararlaştırarak ürünü geliştirmeyi başarmaktır.

OHTEA, ürün hatalarının olası sebeplerinin analiz edilmesi, problemin müşteriye etkisinin belirlenmesi, olası imalat veya güvenilir proses kurallarının tanımlanması, proses kontrol değişkenlerinin kontrol ve önleme için tanımlanması ve müşteri üzerindeki etkisinin ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır. Hata türü, hata etkisi ve hata sebebi aşağıdaki şekilde tanımlanır, [18]:

- **Hata türü:** Bir parçanın fonksiyonunu yerine getirememesinin nedeni,
- **Hata etkisi:** Hata meydana geldiğinde sisteme ne olacağı ve müşterinin neye maruz kalacağı,
- **Hata sebebi:** Hata türünün oluşma nedenidir.

OHTEA metodunun başarılı olarak gerçekleştirilmesindeki en önemli faktörlerden birisi tam zamanında yapılmasıdır. Bunun anlamı, olayla karşılaşmadan önce yapılması, olumsuzluk gerçekleşikten sonra uygulanmamasıdır.

İşletme içinde aşağıda belirtilen durumlarda OHTEA çalışması başlatılmalıdır, [20]:

- Yeni sistemler, tasarımlar, ürünler, prosesler veya hizmetler tasarlandığında,
- Sistemler, tasarımlar, ürünler veya hizmetler için yeni gelişmeler tesbit edildiğinde,
- Sistemler, tasarımlar, ürünler, prosesler veya hizmetlerde mevcut şartlar için yeni uygulamalar bulunduğunda,
- Sistemler, tasarımlar, ürünler veya hizmetlerde sebepsiz yapılan değişikliklerde.

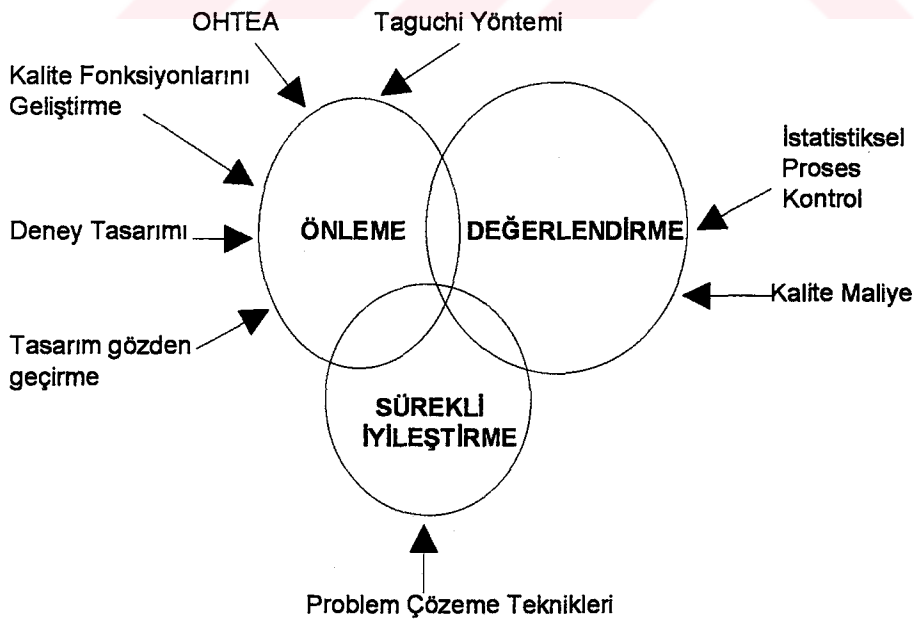
Kalite kontrol tekniklerinden biri olan OHTEA'nın neden uygulandığını ise şöyle özetleyebiliriz, [21]:

- Müşteri ve pazarlar OHTEA'yı konstrüksiyon ve proses için istemektedir.
- Tıpkı ISO 9004 gibi kalite standartları OHTEA'yı istemektedir.

- Rizikosu bilinen oluşum ve planlara yardım edilmiş olunur.
- Çalışma araçlarındaki değişiklikler azaltılır.
- Ölçme ve deney araçları zamanında planlanır ve sağlanır.
- Proses zamanını azaltır.
- Sürekli disiplinsiz tartışmalar önlenir.
- Üretim kriz oturumları, OHTEA oturumlarıyla yerdeğiştirir.
- Hata maliyeti ve hata sayısı azaltılır.
- Muayene maliyetinden tasarruf edilebilir.
- Sıfır hataya ulaşmanın yoludur.
- OHTEA başarısı hesaplanabilir.
- OHTEA yeni ürün veya yeni yöntem için yapılmaktadır, mevcut olan için değil.

Bir OHTEA çalışmasında fonksiyonel akış diagramı, fonksiyonel blok diagramı, proses akış diagramı, iş talimatnameleri, hata ağacı, sebep-sonuç diagramları, pareto analizi, beyin fırtınası, deneysel tasarım, kalite fonksiyonlarının geliştirilmesi ve kontrol planları gibi araçlar kullanılabilir.

Bu noktada OHTEA'nın diğer kalite teknikleri arasındaki yeri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Kalite teknikleri içinde OHTEA'nın yeri [19]

Yukarıda da ifade edildiği gibi OHTEA'nın özü, potansiyel ve/veya bilinen problemleri müşteriye ulaşmadan tespit etmek ve önlemektir. Potansiyel ve/veya bilinen problemlerin tamamı üzerinde durulamaz ancak önceliği olan hatalar OHTEA için önem taşımaktadır, [20].

OHTEA için hatanın önceliğini tespit etmeye yarayan üç kavram vardır bunlar:

- Oluşma (Occurrence)
- Şiddet (Severity)
- Keşfedilme (Detection)

“Oluşma” hatanın frekansını, “şiddet” hatanın ciddiyetini ve “keşfedilme” ürünün müşteriye ulaşmasından önce hatanın tespit edilebilirliğidir. Bu üç kavram 1 ile 10 arasında tanımlanan sayısal değerler ile ifade edilirler, [20].

Hatanın önceliğinin tespit edilmesinde genelde sayısal değerlendirme kullanılır. Yukarıda açıklanan üç kavramın sayısal değerlerinin çarpımı ile “risk öncelik sayısı (RÖS)” şeklinde tariflenen bir değer elde edilir. Problemin önceliği RÖS ile tespit edilir. RÖS, her tip OHTEA programı için kullanılan bir ifadedir.

OHTEA çalışmasına başlamak için belirlenmiş olan RÖS değerleri arasından bir seçim yapmak gerekmektedir. Bu amaçla $RÖS \geq 50$ (hataların %95’ni tanımlayan proseslerde) olan problemler seçilir, [20].

RÖS tayininden sonra riskin tanımlanması yapılır. Genellikle risk, önemsiz, orta, yüksek ve kritik olarak tanımlanmaktadır, [20]:

- Önemsiz riskin altında, hiçbir şey yapılmaz.
- Orta riskin altında, bazı tedbirler alınabilir.
- Yüksek riskin altında, belirli tedbirler alınır.
- Kritik riskin altında, belirgin tedbirler alınır ve sistem, dizayn, ürün, proses ve/veya hizmet içerisinde büyük değişiklikler gerek vardır.

Hesaplamalar sonucunda aynı risk öncelik sayısına sahip birden fazla hata mevcut ise hatanın öncelik tayininde ilk kriter “şiddet”i yüksek olan, ikincil kriter “keşfedilme”si yüksek olandır. Öncelik sırasının mantığı ise şöyledir: “şiddet” hatanın etkisi ile doğrudan ilgilidir ve önceliğe sahiptir, diğer yandan müşteri bağlantılı olduğundan “keşfedilme”, “oluşma”ya göre önceliklidir, [20].

Hatalar kısa sürede giderilemiyorsa öncelikle azaltılması, uzun dönemde ise her hatanın tek tek ortadan kaldırılması OHTEA’nın temel amacıdır, [20].

Tüm OHTEA türleri için “oluşma”, “keşfedilme” ve “şiddet” etkisini değerlendirmede kullanılan yaklaşımlar tablolar halinde EK A’da verilmiştir.

4.3. OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİSİ ANALİZİNİN TÜRLERİ

OHTEA çalışmalarının genellikle dört tipi vardır. Bu dört tip şöyle sıralanabilir, [20]:

- Sistem OHTEA
- Tasarım OHTEA
- Proses OHTEA
- Hizmet OHTEA

4.3.1 Sistem OHTEA

Sistem OHTEA sistem işleyişindeki olası hata türlerine odaklanmış durumdadır. Sistem OHTEA ile alternatif optimum sistem dizaynını seçmek mümkün olmakta, potansiyel sistem hataları ve onun diğer sistemlerle olan ilişkisi teşhis edildiği gibi doğru sistemin bulunmasına da yardımcı olacaktır. Sistem OHTEA sistem mühendisi tarafından yönetilir ve takip edilir.

4.3.2. Tasarım OHTEA

Tasarım OHTEA, ürün tasarımı aşamasında ve ürünün tanımlanması ile ilgili tüm çalışmalar düzeyinde yapılmaktadır. Bu OHTEA için amaç tasarımda ilk üretime geçişte sorun yaratabilecek noktaların önceden bulunması ve giderilmesidir. Tasarım OHTEA ile tasarımda yapılması gerekli olan değişikliklerin sebepleri belgelenmiş olmakta, tasarlanan ürün için uygun kontrol ve testler hakkında bilgi sağlanmakta, alternatif tasarımlar ortaya çıkmakta, potansiyel güvenlik sorunları tespit edilir ve ortadan kaldırılır.

4.3.3 Proses OHTEA

Proses OHTEA, ürün imalatı aşamasında ve tüm imalat yöntemleri ile ilgilidir. Bu OHTEA çalışmasında imalat prosesi hataları ile müşteriye teslimat sırasında hammadde bozukluklarından kaynaklanan kusurlar ele alınır. Proses OHTEA, proses hatalarının tespit edilmesini sağladığı gibi düzgün eylem planı da ortaya koyar. Buna ilave olarak proseste kritik ve önemli karakteristikler tespit edilir ve kontrol planını geliştirme imkanı sağlar ve değişim sebeplerinin izahı için bir dökümandır.

Günümüzde, ana ürünü imal eden şirketler, yan sanayilerinden sağladıkları parçalar için Proses OHTEA çalışması yapılmasını, yan sanayi tarafından tasarlanarak üretilen parçalar için de hem Tasarım hem de Proses OHTEA çalışmasının yapılmasını şart koşturmaktadır. Tam olarak uygulanıp sonuçlandırılmış bir OHTEA çalışması, pek çok çıkabilecek hata türünün önlenmesini sağlamaktadır.

4.3.4 Hizmet OHTEA

Müşteri ile yüzyüze gelmeden önce hizmet OHTEA yapılır. Hizmet OHTEA, sistem veya proses hatalarının sebep olduğu hata türleri üzerine odaklanır. Hizmet OHTEA, iş akışı analizine yardımcı olduğu gibi hataları tanımlar ve kritik veya önemli hatalar tespit edilir ve bunun paralelinde kontrol planlarının gelişimi sağlanır. Her tür OHTEA'da olduğu gibi değişiklikler için bir dökümandır.

4.4 OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİSİ ANALİZİNİN UYGULANMASI

Etkili bir OHTEA çalışması için sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç vardır. OHTEA uygulaması her tür OHTEA için sekiz adımdan oluşmaktadır, [20].

1. Grup Oluşturulur ve Beyin Fırtınası

OHTEA analizi için öncelikle bir grup kurulur. Burada önemli olan grubu oluşturan bireylerin istekli ve katılımcı olmalarıdır. Hangi tip OHTEA yapılacağına karar verdikten sonra ortaya çıkması mümkün olan hataların listesi yapılır.

2. Fonksiyonel Blok Diagramı ve/veya Proses Akış Diagramı

Sistem ve dizayn OHTEA için fonksiyonel blok diagramı, proses ve hizmet OHTEA için proses akış diagramı hazırlanır. Bu araçlar, sistemler, alt sistemler, bileşenler, prosesler, montaj ve/veya hizmetlerdeki ilişkileri ve işleyen modelin gözden geçirilmesini sağlamaktadır. Böylece sistem, proses, tasarım ve/veya hizmet anlaşılır hale gelecektir.

3. Öncelik Tespiti

Bu adım genelde, önem değerlendirmesini müşteri belirlediğinden veya garanti maliyetleri veya diğer girdilerin tesbiti yönetim tarafından gerçekleştirildiğinden işlem görmeden geçilmektedir.

4. Data Toplama

Bu aşamada hatalar için veriler toplanır ve OHTEA formu doldurulmaya başlanır. Şekil 4.2’de OHTEA çalışmalarında kullanılabilecek bir form örneği verilmiştir.

5. Analiz

Veri → Enformasyon → Bilgi → Karar akışı doğrultusunda yapılan analiz kalitatif veya kantitatif olabilir. Beyin fırtınası, Kılçık Diagramı, Kalite Fonksiyonlarının Geliştirilmesi, Deneysel Tasarım, İstatistiksel Proses Kontrol, matematik modelleme, simulasyon veya herhangi bir başka yöntem ekip üyeleri tarafından seçilir ve bunun sonucunda OHTEA formundaki hata etkileri kolonu doldurulurken oluşma, şiddet ve keşfedilme kavramları tartışılmıştır.

6. Sonuç

Bu kademede oluşma, şiddet ve keşfedilme kolonları sayısal olarak doldurulur. Bu aşamada OHTEA formunun ilgili kolonlarının doldurulması işlemleri tamamlanmıştır.

7. Doğrulama / Değerlendirme / Ölçme

Analizin sonuçlanmasını takiben başarı veya başarısızlık doğrulanır, değerlendirilir ve ölçülür. Değerlendirme aşamasında üç temel soru ile karşılaşılır:

- Durum analiz öncesinden daha iyi mi?
- Durum analiz öncesinden daha kötü mü?
- Durum analiz öncesi ile aynı mı?

Bu sorulardan elde edilen cevaplar ile OHTEA kartının analiz sonrası kısmına ait olan kolonları doldurulur.

8. OHTEA Tekrarlanır

OHTEA sürekli gelişme sağlayan bir kalite tekniği olduğu için aynı adımlar tekrarlanır.

PROSES OHTEA (HATA TURLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ) YENİ ÜRÜN				PROSES				RESİM NO:		
EKİP LİDERİ		İŞLETME		YAN SANAYİ		MAKİNA		SON REVİZYON		
						TARİH		REV.TAR.		
				ŞİMDİKİ KOŞULLAR		DÜZELTİCİ ÖNLEMLER		İYİLEŞTİRİLEN KOŞULLAR		
ÜRÜN ADI	ÜRÜN HATA SONUÇU TURLERİ	HATA SEBEPLERİ	HATANIN SEBEPLERİ	KONTROL	OLASILIK	ŞİDDET	KEŞFED. RÖS	TAMAMLAMA PLANI VE SORUMLULUK	TAMAMLANAN ÖNERİLER VE TAMAMLAN. TAR.	OLAS. ŞİD. KEŞFED. RÖS
				GÖSTERGE						
OLASILIK DEĞERLENDİR.	TAHMİN	ŞİDDET DEĞERLENDİR.	TAHMİN	KUSUR PUANLA	KEŞFEDİLEBİLİR DEĞERLENDİR.	TAHMİN	RİSK ÖNCELİK GÖSTERGESİ DEĞERLENDİRME	EKİP ÜYELERİ	BÖLÜM	
ÇOK UZAK DÜŞÜK ORTA YÜKSEK ÇOK YÜKSEK	1 2,3 4,5,6 7,8 9,10	YOK DÜŞÜK KRİTİKLİK ORTA KRİTİKLİK YÜKSEK KRİTİKLİK ÇOK YÜKSEK KRİT.	1 2,3 4,5,6 7,8 9,10		YÜKSEK ORTA DÜŞÜK ÇOK DÜŞÜK OLASI DEĞİL	1 2,3 4,5,6 7,8 9,10				

ŞEKİL 4.2 OHTEA formu

4.5 OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİSİ ANALİZİNDEN BEKLENEN FAYDALAR

OHTEA çalışmasının tamamlanması sonucunda oluşan analizin faydaları şöyle açıklanabilir, [20].

- Emniyet, güvenilirlik, üretim teknolojisi alanlarındaki zayıflıklar belirlenmiş olur,
- En uygun sistem tasarımını seçmeye yardımcı olur,
- Tasarım geliştirme eylemlerinde bir öncelik kurar
- Kritik ve/veya önemli özellikler tanımlanır,
- Hatanın tanımlanmasına ve önlenmesine yardımcı olur,
- Düzeltici faaliyetleri tanımlar,
- Kayıplarda ve donanımlardaki değişikliklerin sayısı azalır,
- Olası değişikliklerin maliyetinde azalma; tezgahlarda, donanımda ve kalıplarda yapılacak değişiklikler, kağıt üzerinde yapılan değişikliklere nazaran kuşkusuz daha pahalı olacaktır,
- Ürünün satışa hazır olma süresinde azalma; kağıt üzerinde yapılan değişiklikler, tamamlanmış olan kalıplar, donanımlar ve tezgahlar üzerinde yapılacak olanlardan çok daha kısa süreli olacaktır,
- Garanti giderlerinde azalma,
- Ürün yükümlülüğünde daha az risk,
- Şirket imajını ve rekabet gücünü geliştirir,
- Daha fazla müşteri tatmini.

BÖLÜM 5

BAKIR-NİKEL-KROM KAPLAMA PROSESİ İÇİN BİR OLASI HATA TÜRÜ ve ETKİSİ ANALİZİ UYGULAMASI

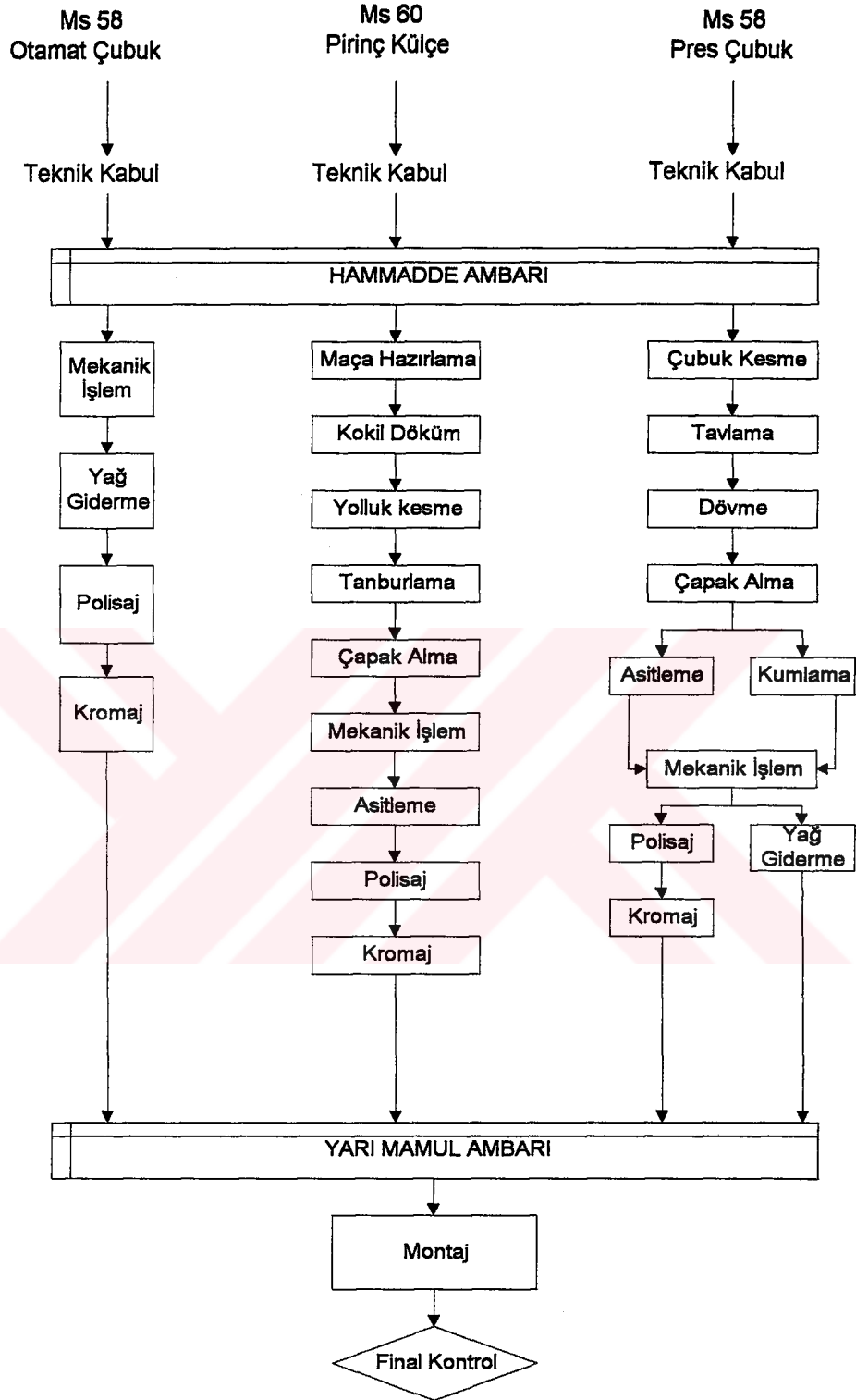
5.1 OHTEA UYGULAMASININ YAPILDIĞI TESİSİN TANITIMI

Pres Döküm Kromaj A.Ş (PDK) otuz yılı aşkın bir süredir armatür sanayinde hizmet vermektedir. Armatür sanayinde Türkiye'nin önde gelen firmalarından biri olan PDK A.Ş, 7500m² kapalı alana sahip olup dökümden montaja uzanan üretim hattında yeralan işçiler, mühendisler ve idari kadrosu ile 300'ü aşkın eleman istihdam etmektedir.

Şirketin üretimi gaz ve armatür mamüller olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir. Firmanın, üretiminde kullandığı hammaddeler ise pirinç ve zamaktır. Üretilen parçaların metalik kaplama işlemleri işletmedeki Kromaj Atölyesinde yapılmaktadır. Kromaj atölyesinde halen 1.5 ton kapasiteli alkali bakır, 7 ton kapasiteli parlak nikel ve 2 ton kapasiteli dekoratif krom banyosu mevcuttur. İşletmenin günlük kaplama kapasitesi yaklaşık 13000 adettir.

5.2 TESİSE AİT GENEL İŞ AKIŞ PLANI

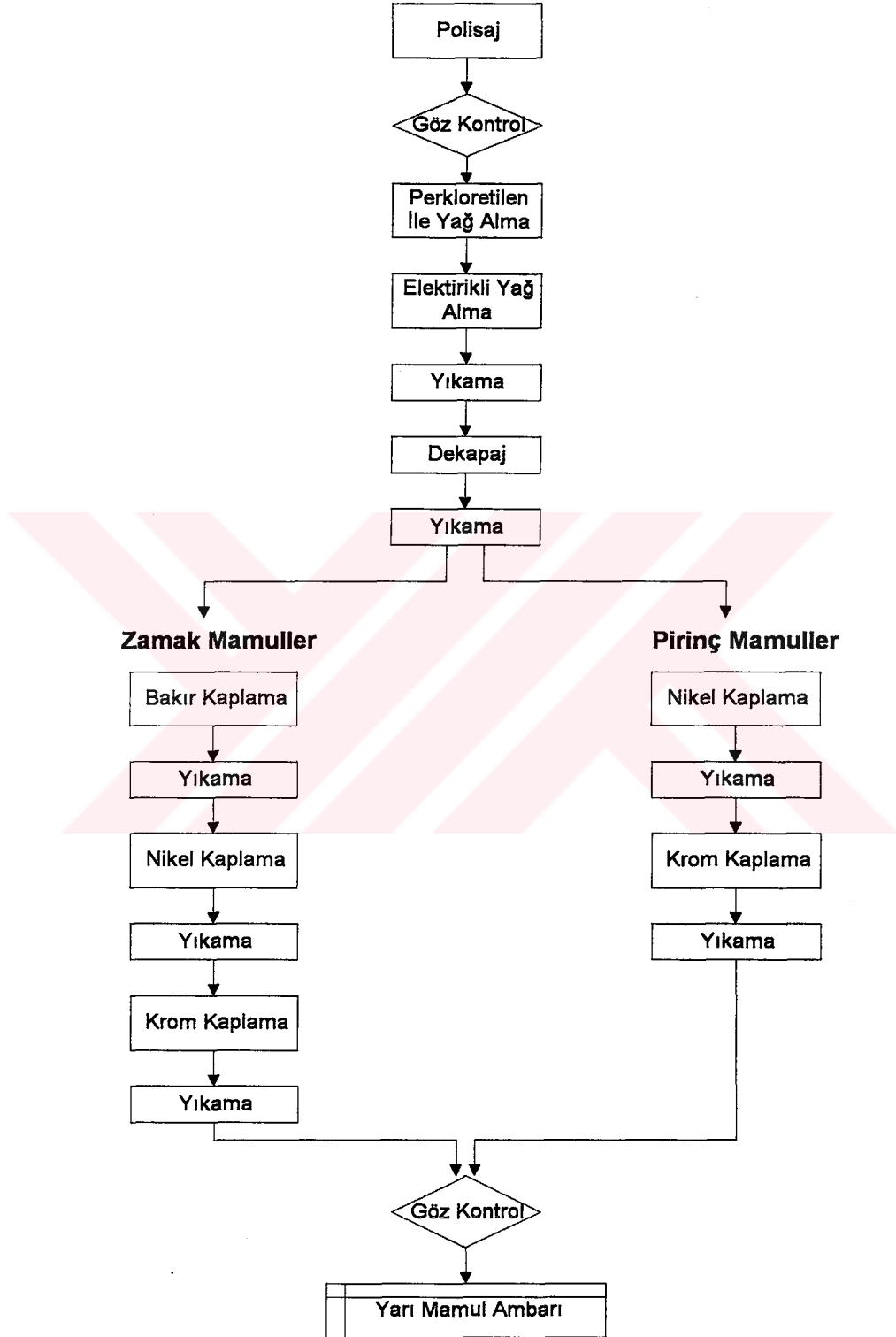
Yukarıda kısaca tanıtılmaya çalışılan tesisin genel iş akış planı Şekil 5.1 de verilmiştir. İşletmede üretim; döküm, dövme ve mekanik işlem olmak üzere üç ayrı şekilde gerçekleşmektedir. Döküm yolu ile üretilen mamüllerin tamamı, dövme yolu ile üretilen mamüllerin ise önemli bir kısmı metalik olarak kaplanmaktadır. Kaplama işlemini takiben montaj işlemi yapılmaktadır. Montaj işlemi sonrası mamül müşterinin beğenisine sunulmaya hazır hale gelmiştir.



Şekil 5.1 Tesise ait iş akış planı

5.3 TESİSTE YERALAN KAPLAMA PROSESİNE AİT İŞ AKIŞ PLANI

Tesiste yeralan kaplama prosesi için geçerli olan iş akış planı Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Kaplama prosesi için iş akış planı

5.4 TESİSTE METALİK KAPLAMA PROSESİ ÖNCESİ ORTAYA ÇIKAN VE METALİK KAPLAMAYI OLUMSUZ YÖNDE ETKİLEYEN ÜRETİM HATALARI

Yukarıda tesise ait iş akış planından görülebileceği gibi metalik kaplama öncesi iki önemli üretim yöntemi mevcuttur ki bu üretim yöntemleri döküm ve dövmedir.

5.4.1 Döküm Hataları

Tablo 5.1 Metalik kaplamayı etkileyen döküm hataları

HATA	HATANIN GÖRÜNTÜSÜ	HATANIN METALİK KAPLAMAYA ETKİSİ	TEDBİRLER
•Metal Yürümemesi	Parçanın ince yerleri ve köşeleri iyi dolmamıştır. Burada çukurlar oluşur.	Hata parçanın formunu bozacağından kaplama sonrası parça ıskartaya ayrılacaktır.	Parça döküm sonrası ıskartaya ayrılmalıdır.
• Katmer	Parça yüzeyinde çatlak veya damar şeklinde iz bırakır.	Hata kesit boyunca derin bir iz bırakmamış ise polisaj esnasında giderilir ancak polisaj ile giderilemeyecek kadar derin ise parça ıskarta edilir.	Parça döküm sonrası ıskartaya ayrılmalıdır.
• Çekilme Boşlukları	Genelde kalın kesitlerde fakat bütün döküm gövdesinde dağınık durumda, belli şekli olmayan boşluklardır.	Döküm yüzeyinde derin çukurlar şeklinde ise kaplama sonrası çukurlar görüleceğinden parça ıskarta edilecektir.	Polisaj sonrası, çekilme boşluklu hatalı parça kontrol edilmeli ve hala boşluk varsa ıskarta edilmelidir.
• Gözenek	Döküm kesitinde düzgün şekilde dağılmış değişik ölçülerde deliklerdir.	Döküm yüzeyinde derin delikler şeklinde ise kaplama sonrası parça ıskarta edilecektir.	Polisaj sonrası parça kontrol edilmeli ve delik hala varsa ıskarta edilmelidir.
• Enklüzyon	Parça yüzeyinde parçaçıklar vardır.	Kaplama sonrası yüzeyde enklüzyon farkedilir ve parça ıskarta edilir.	Döküm öncesi hammadde kontrol edilmelidir.

İlk olarak, metalik kaplamayı olumsuz yönde etkileyecek olan döküm hataları ele alınmıştır. Metalik kaplamayı etkileyecek döküm hatalarının neler olduğu, nasıl görüldüğü ve adı geçen hatanın bulunması halinde metalik kaplama öncesi alınacak tedbirlerin neler olabileceği Tablo 5.1’de verilmiştir.

5.4.2 Dövme Hataları

Tablo 5.2 Metalik kaplamayı etkileyen dövme hataları

HATA	HATANIN GÖRÜNTÜSÜ	HATANIN METALİK KAPLAMAYA ETKİSİ	TEDBİRLER
• Doldurmama	Parça yüzeyinde boşluklar şeklinde görülür.	Kaplanmış parçanın yüzeyinde boşluklar görüleceğinden parça ıskarta edilir.	Dövme işlemi sonrası doldurmama hatası varsa parça ıskarta edilmelidir.
• Katmer	Parça yüzeyinde kendi üstüne katlanmış metal parçası şeklinde görülür.	Kaplanmış parçanın yüzeyinde katmer görüleceğinden parça ıskarta edilir.	Dövme işlemi sonrası katmer hatası varsa parça ıskarta edilmelidir.
• Yüzey Çatlakları	Parça yüzeyinde çatlaklar şeklinde görülür.	Parça yüzeyindeki çatlaklar polisaj ile giderilemeyecek kadar derin ise metalik kaplama sonrası parça ıskarta edilir.	Polisaj sonrası parça kontrol edilmeli ve yüzeyde çatlak görülüyorsa parça ıskarta edilmelidir.
• Kaçıklık	İş parçasının ayırım düzlemi boyunca kaçıklık görülür.	Parça yüzeyindeki kaçıklık polisaj ile giderilemeyecek kadar derin ise metalik kaplama sonrası parça ıskarta edilir.	Dövme sonrası parça kontrol edilmeli ve kaçıklık polisaj ile giderilemeyecek kadar fazla ise parça ıskarta edilmelidir.
• Enklüzyon	Parça yüzeyinde parçaçıklar vardır.	Kaplama sonrası yüzeyde enklüzyon farkedilir ve parça ıskarta edilir.	Dövme işlemi öncesi hammadde kontrol edilmelidir.

Metalik kaplamayı etkileyecek diğer üretim hatası ise dövme hatalarıdır. Dövme hatalarının neler olduğu, nasıl görüldüğü ve adı geçen hatanın bulunması halinde metalik kaplama öncesi alınacak tedbirlerin neler olabileceği Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tesisin çalışması esnasında Kalite-Maliyet-Termin üçlüsünde başarıyı sağlayabilmek için yukarıda ifade edilen hataların öncelikle oluşumunu önleyecek tedbirler alınmalıdır. Alınacak tedbirlerin uygulamaya konulmasına kadar geçen süre içinde oluşacak hatalı parçaların, üretim prosesinde yeralan bir sonraki işleme gitmesi engellenmelidir.

5.5 METALİK KAPLAMA ÖNCESİ POLİSAJ İŞLEMİ

Polisaj, kaplama prosesi öncesi yapılan bir işlemdir. Polisaj işleminde amaç, metalik olarak kaplanacak parçanın yüzeyinin kaplama işlemine hazır hale getirilmesidir.

Çalışma parçasının döküm veya dövme yüzeyi, parlatma işlemi öncesi zımpara yardımıyla zımparalanır ve parlak olmayan düzgün bir yüzey elde edilir. Zımparalama işlemini takiben polisaj fırçası ile yüzey parlatılır.

Polisaj işleminde çalışma parçasının hammaddesine bağlı olarak fırçanın devir sayısı ve parlatma işlemi esnasında kullanılan cilanın niteliği önem taşımaktadır. Sert olmayan çalışma parçaları için fırçada yüksek devir sayısı seçilirse parça yüzeyinde derin izler oluşacak ve bu da kaplama sırasında kötü yapışma hatasına neden olacaktır.

Polisaj kalitesi ile kaplama kalitesi arasında doğrudan bir ilişki söz konusudur. Bu nedenle zımparalama işleminde parçanın formu bozulmamalı, yüzeyde kademeler oluşmamalı, parlatma işlemi esnasında da uygun devir sayısı seçilmeli ve yüzeyde çizik ve vurukların bulunmamasına dikkat edilmelidir.

5.6 BAKIR-NİKEL-KROM KAPLAMA İŞLEMLERİNDE KARŞILAŞILAN GENEL HATALAR

Metalik kaplama prosesi esnasında bakır, nikel ve krom kaplamada karşılaşılabilecek hatalar farklıdır. Siyanürlü bakır kaplama işleminde karşılaşılan hatalar Tablo 5.3’de verilmiştir. Tablo 5.4, parlak nikel kaplama işleminde oluşabilecek hata tiplerini içermektedir. Son olarak da parlak krom kaplama işleminde yeralabilecek hatalar Tablo 5.5’de verilmiştir.

Yukarıda ifade edilen her üç tabloda da, oluşabilecek hatanın ne olduğu, söz konusu hatanın oluşması halinde etkisinin ne olacağı, hatanın oluşmasına nelerin sebep olduğu ve adı geçen hatanın oluşmaması için alınabilecek tedbirlerin neler olduğu üzerinde durulmuştur.

5.7 PARETO ANALİZİ

Problem belirleme analizi olan “Pareto analizi”, çok sayıda problem arasından sadece bir veya birkaçının önem taşıdığı ve bu önemli hataların ortadan kaldırılması ile hata oluşumunun önemli miktarda ortadan kaldırılacağı düşüncesi temel alınarak oluşan hataların bir histogram yardımıyla gösterilmesidir.

Kaplama prosesine yönelik olarak yapılacak OHTEA çalışması için gerekli olan pareto analizini yapabilmek amacıyla proseste karşılaşılan hataların neler olduğu ve mevcut hatalı parça sayısı tespit edilmelidir. Bu amaçla, bir ay süresince işletmede kaplama prosesi sonrası yapılan göz kontrolü takip altına alınmıştır. Bu süre zarfında yapılan göz kontrolü sonuçlarına göre karşılaşılan hatalar ve hatalı parça sayısı Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.3 Siyanürlü bakır kaplama işleminde karşılaşılan hatalar

HATA	HATANIN ETKİSİ	HATANIN SEBEBİ	ALINACAK TEDBİRLER
• Kötü Yapışma	Bakır kaplama alt metal üzerine iyi yapışmaz, kabarcıklar oluşur ve bakır kaplama alt metal üzerinden kolayca sıyrılır.	a) Fazla serbest siyanür b) Yetersiz serbest siyanür c) Banyo sıcaklığı çok düşük d) Parça yüzeyinde yağ, oksit veya leke bulunması e) Alt metalin kalitesi	a) Banyonun serbest siyanür değeri kontrol edilir ve bakır siyanür ilavesi yapılır. b) Banyonun serbest siyanür değeri kontrol edilir ve siyanür ilavesi yapılır. c) Banyo sıcaklığı kontrol edilir ve sıcaklık yükseltilir. d) Kaplama öncesi yeralan ön temizleme işlemleri kontrol edilir. Yıkama sularının temizliği önemlidir. Kaplama banyosu üzerinde yağ tabakasının varlığı kontrol edilmelidir. e) Yüzeyi porözlü olan alt metal kaplamaya alınmamalıdır.
• Sert, İnce Taneli Kaplama	Bakır kaplama kırılındır.	a) Çok düşük akım yoğunluğu b) Çözelti bakırca fakir	a) Akım yoğunluğu artırılmalıdır. b) Banyoya bakır siyanür ve onunla kompleks oluşturacak siyanür ilave edilir.
• Mat, Koyu Kahverengi Kırmızı Renkli Kaplama	Parlak bakır kaplama yerine mat, koyu kahverengi kırmızısı renkli bir kaplama elde edilir.	a) Çok yüksek akım yoğunluğu b) Çözelti içindeki karbonat miktarının fazla olması	a) Düşük akım yoğunluklarında çalışılmalı ve küçük parçalar kaplanırken büyük anot yüzeyi kullanılmamalıdır. Küçük

Tablo 5.3 Devam

			c) Çözeltilde siyanür miktarının az olması	parçalar, büyük parçaların arasına veya anoda karşı olmayan yerlere asılmalıdır. b) Çözeltildeki karbonat miktarı tayin edilmeli ve karbonat miktarı azaltılmalıdır c) Çözeltildeki siyanür miktarı tayin edilmeli ve gerekli miktarda siyanür ilave edilmelidir.
• Pürüzlü Kaplama	Bakır kaplı parçanın yüzeyi pürüzlüdür. Yüzeydeki partiküllerin boyutu büyükse pürüzlülük dokunulmadan gözle farkedilebilir.		a) Siyanür miktarının düşük olması b) Banyo içinde katı taneciklerin bulunması	a) Çözeltildeki siyanür miktarı tespit edilmeli ve çözeltiye siyanür ilavesi yapılmalıdır. b) Banyo bir süre dinlendikten sonra süzülmesi veya çözelti filtre edilmelidir.
• Kaplama Esnasında Gerilim Artıyor	Bakır kaplama metal yüzeyine iyi yapışmaz, pul pul dökülür.		a) Kaplama öncesi ön temizleme işlemi yetersiz	a) Ön temizle kademeleri ve yıkama suları kontrol edilmelidir.
• Banyonun Metalik Olarak Kirlenmesi	Parçanın düşük akım yoğunluklu bölgelerinde metalik kirlilik görülür.		a) Bakır banyosunun metalik olarak kirlenmesi sonucu bu hata oluşur.	a) Banyo, asılacak sac ile düşük akım yoğunluklarında çalıştırılmalıdır.
• Kaplama Olmaması	Parçanın bakır ile kaplanmadığı görülür.		a) Banyoda akım yönü ters veya temas yok b) Banyo kromik asitle kirlenmiş c) Katot pasif d) Fazla serbest siyanür	a) Elektrik bağlantıları kontrol edilmelidir. b) Banyonun temizlenmesi çok zordur yeni çözelti yapmak gerekir. c) Katot pasifiği giderilmelidir. d) Bakır siyanür ilavesi ile çözelti

Tablo 5.4 Parlak nikel kaplama işleminde karşılaşılan hatalar

HATA	HATANIN ETKİSİ	HATANIN SEBEBİ	ALINACAK TEDBİRLER
• Kötü Yapışma	Nikel kaplama alt metal üzerine iyi yapışmaz, kabarcıklar oluşur ve nikel kaplama alt metal üzerinden kolayca sıyrılır.	a) Çözelti çok alkali b) Çözelti çok asit c) Yağ mevcut d) Parça yüzeyinde alkali film e) Çözeltinin başka metal ionları ile kirlenmesi f) Oksitleyicilerle kirlenmesi g) Kaplama esnasında akım kesilmesi h) Nikel veya krom kaplama üzerine kaplama yapılması ı) Parça yüzeyinde oksit veya leke bulunması j) Yapışmayan bir ara tabaka k) Gözenekli bir katot yüzeyi	a) Çözeltinin pH'ı kontrol edilir ve asit ilave edilir. b) Çözeltinin pH'ı kontrol edilir ve pH ayarlanır. c) 1. Ön temizleme kademelerinin doğru çalıştığı kontrol edilmelidir. 2. Ön temizleme kademelerinde yeralan çözümlerin yüzeylerinde yağ varlığı aranmalıdır. d) Kaplama öncesi yeralan asit daldırmanın gücü kontrol edilmeli ve nikel kaplama öncesi yeralan yıkama çözeltisinin alkalitesi kontrol edilmelidir. e) Çinko, kadmiyum ve bakır düşük akım yoğunluklarında elektrolizle giderilir. Demir ise çözelti pH'ı yükseltilip çöktürülerek uzaklaştırılır. f) Parça boşluklarında çözelti taşınması engellenmelidir. g) Elektrik tertibatı kontrol edilmeli, parça yüzeyi aktifleştirilerek kaplamaya devam edilir. h) Eski kaplama tamamen sıyrılır.

Tablo 5.4 Devam

				1) 1. Ön temizleme kademelerine dikkat edilmelidir. 2. Temizleme ve yıkama sularının kirli olmasına dikkat edilmelidir. 3. Parça kaplama tankına daldırmadan tanka düşük voltaj uygulanmalıdır. j) Daha önce yapılan kaplamaya dikkat edilmelidir. k) Parça önce kalın bakır kaplanmalı ve sonra sıvayarak gözenekler kapatılmalı bunu takiben nikel kaplanmalıdır.
• Kırılğan Nikel Kaplama	Nikel kaplama çok gevrektrir.		a) Organik kirliliğin mevcut olması b) Primer parlaticı miktarının düşük olması c) Parlaticı miktarının yüksek olması d) Banyodaki borik asit miktarının çok düşük olması e) Banyo pH'nın çok yüksek olması f) Temizlemeden arta kalan hidrojenperoksit banyoda bulunuyorsa g) Metalik kirlilik bulunuyorsa	a) Organik kirlilik temizlenmelidir. b) Tamamla c) Tamamla d) Banyodaki borik asit miktarı tayin edilir ve gerekli miktar takviye edilir. e) Banyo pH'ı ölçülür ve gerekli miktarda asit takviyesi yapılır. f) Banyo sıcaklığı 65 °C yükseltilir. g) Düşük akım yoğunluklarında elektroliz ile giderilir.

Tablo 5.4 Devam

• Gri-Siyah Renkli Kaplama	Düşük akım yoğunluğu bölgelerinde gri-siyah renkli nikel kaplama	a) Banyoda metalik kirlilik mevcut	a) Düşük akım yoğunluklarında elektroliz yapılır.
• Yanmış Nikel Kaplama	Nikel kaplama yanmıştır.	a) Yüksek akım yoğunluğu b) Düşük borik asit miktarı c) Düşük banyo sıcaklığı d) Yüksek pH değeri e) Anot-Katod arası mesafenin az olması f) Banyo, alüminyum ile kirlenmiş ise g) Banyonun mekanik karıştırılması veya hava hareketi yetersiz ise h) Organik kirlilik mevcut ise	a) Akım yoğunluğu düşürülür. b) Borik asit miktarı tayin edilir ve gerekli miktarda borik asit takviyesi yapılır. c) Banyo sıcaklığı artırılır. d) Banyonun pH değeri düşürülür. e) Anot-Katod mesafesi artırılır. f) Banyonun pH değeri 5.5'a çıkartılarak alüminyum çöktürülür ve sonra banyo süzülür. g) Banyo karıştırılması yeterli hale getirilir. h) Organik kirlilik temizlenir.
• Oyuklu Kaplama	Parça yüzeyindeki nikel kaplama küçük delikler içermektedir.	a) Yetersiz mekanik karıştırma veya kötü hava dağılımı b) Düşük borik asit miktarı c) Banyoda ısıtıcı eksikliği d) Banyoya katı veya sıvı yağlar karışmış olması e) pH değerinin çok düşük olması f) pH değerinin çok yüksek olması g) Organik kirlilik	a) Banyo karıştırılması yeterli hale getirilir. b) Gerekli miktarda borik asit ilave edilir. c) Isıtıcı miktarı tamamlanır. d) Aktif kömürle temizleme yapılır. e) pH değeri yükseltilir. f) pH değeri düşürülür. g) Organik kirlilik temizlenir. h) Ön temizleme işlemlerine dikkat edilir. i) Banyo filtre edilir. j) Düşük akım yoğunluklarında elektroliz ile giderilebileceği gibi çökeltilip filtrasyon

Tablo 5.4 Devam

			h) Parçaların kötü temizlenmesi i) Banyoda askıda katılar var j) Banyoda demir kirliliği var	ile bertaraf edilebilir.
• Pürüzlü Nikel Kaplama	Nikel kaplanmış parçanın yüzeyinde gerek elle gerekse göz ile farkedilebilecek pürüzler bulunmaktadır.		a) Banyoda askıda tozlar var b) Döküm parçaları ile banyoya maça kumu taşıyor. c) Katot ile banyoya katı parçacıklar taşıyor.	a) 1. Banyo filtre edilmeli ve kullanılmadığı zamanlarda üzeri örtülmelidir. 2. Anotlar, anot torbaları ile kullanılmalı, torbaların temizliğine dikkat edilmelidir. b) Döküm parçalarının içindeki maça kumunun banyolara taşınmasına engel olunmalıdır. c) Kaplanacak parçaların çok iyi temizlenmesi gerekmektedir.
• Düşük Akım Yoğunluğu Bölgelerinde Nikel Kaplama Yok	Parçanın düşük akım yoğunluğu alan yerlerinde nikel kaplama yoktur ve buralarda lekelerde mevcut değildir.		a) Nikel banyosu 6 değerli krom ile kirlenmiştir.	a) Banyo 6 değerli kromdan temizlenmelidir.
• Banyonun Derinlik Dağılımı İyi Değil	Düşük akım yoğunluğu alan bölgelerde nikel kaplama kalınlığı çok azdır.		a) Banyoda anot-katot yerleşiminin yanlış olması b) Banyodaki metalik nikel miktarının düşük olması c) Banyoda hidrojenperoksit mevcut olması d) Banyonun kurşun veya bakır ile kirlenmiş olması	a) Anot-Katot yerleşiminin düzeltilmesi gereklidir. b) Banyodaki metalik nikel miktarı artırılır. c) Banyodaki hidrojenperoksit temizlenir. d) Banyodaki kurşun veya bakır temizlenir. e) Banyo pH'ı düzeltilir.

Tablo 5.4 Devam

		e) Banyo pH'nın yanlış olması	
• Yüksek Akım Yoğunluğu Bölgelerinde Mat Kaplama	Parçanın yüksek akım yoğunluğu alan bölgelerinde parlak nikel kaplama elde edilemiyor	a) Banyodaki parlaltıcı miktarı düşük	a) Banyodaki parlaltıcı miktarı tamamlanmalıdır.
• Düşük Akım Yoğunluğu Bölgelerinde Koyu Kaplama	Parçanın düşük akım yoğunluğu alan bölgelerinde koyu nikel kaplama elde ediliyor	a) Banyodaki parlaltıcı miktarı fazladır.	a) Hurda parçalar ile banyo bir süre çalıştırılır.
• Kaplama Olmuyor	Parçaya nikel kaplama yapılamıyor.	a) Hatalı kontak b) Ters akım uygulanıyor c) Katot pasif d) Çözeltide oksitleyiciler var	a) Elektrik sistemi kontrol edilmeli b) Kutup bağlantısı kontrol edilmeli c) Dağılayarak, fırçalayarak veya parlatarak yüzey pasifliği giderilir. d) Çözeltideki oksitleyiciler temizlenir.

Tablo 5.5 Parlak krom kaplama işleminde karşılaşılan hatalar

HATA	HATANIN ETKİSİ	HATANIN SEBEBİ	ALINACAK TEDBİRLER
• Kötü Yapışma	Krom kaplama, nikel veya bakır ve nikel tabakası ile birlikte pul pul atmaktadır.	a) Nikel ve bakır kaplama öncesi yeterli olmayan yağ alma b) Nikel banyosunun pH değeri çok yüksek ise c) Siyanürlü bakır banyosunda serbest siyanür miktarı düşük d) Krom kaplama süresi aşırı uzun tutulursa	a) Nikel ve bakır kaplama öncesi yüzey temizliğine dikkat edilmelidir. b) Nikel banyosunun pH değeri normal seviyede tutulmalıdır. c) Siyanürlü bakır banyosunun serbest siyanür miktarı kontrol edilmelidir. d) Krom kaplama süresi gereğinden uzun tutulmamalıdır.
• Delik ve Aralıklı Yerlerin Etrafı Kaplama Almıyor	Parçada bulunan deliklerin ve aralıklı kısımların etrafı krom ile kaplanmıyor.	a) Parçada söz konusu yerlerde aşırı hidrojen çıkışı söz konusudur.	a) Parçadaki delikler ve aralıklar plastik veya lastik tapalarla kapatılmalıdır.
• Krom Almamış Yerler Mevcut	Parçanın yüzeyinde kısmen krom kaplanmamış yerler bulunmaktadır.	a) Ön yağ alma işlemi yeterli değil b) Yüzeyde tuz artıkları mevcut c) Yüzeyde gaz cepleri mevcut	a) İyi ve yeterli bir yağ alma yapılmalıdır. b) Parçaya sıcak yıkama uygulanmalı ve yüzey fırçalanmalıdır. c) Parça, banyoya hidrojenin her taraftan kolayca çıkabileceği şekilde asılmalıdır.
• Örtme Kabiliyeti Yetersiz	Parçanın özellikle derin yerleri ve büyük yüzeyli parçaların orta yerlerinde kromun örtme	a) Banyoda yardımcı asit konsantrasyonu fazla b) Banyo sıcaklığı çok yüksek	a) Banyodaki yardımcı asit konsantrasyonu ayarlanmalıdır. b) Banyo sıcaklığı ayarlanmalıdır.

Tablo 5.5 Devam

	kabilyeti yetersiz	c) Akım yoğunluğunun düşük olması d) Başlangıçta verilen örtme voltajının düşük olması	c) Akım yoğunluğu yükseltilmelidir. d) Örtme voltajı daha yüksek verilmelidir.
• Kenarlar Krom Almıyor	Parçanın kenar kısımları krom kaplanmıyor	a) Parçalar banyoda birbirlerine çok yakın asıldıklarından birbirlerini gölgeliyorlar.	a) Parçalar arasındaki mesafe artırılmalıdır.
• Mat Krom Kaplama	Parçanın özellikle keskin kenarlarında mat krom kaplama elde ediliyor.	a) Banyo sıcaklığı çok düşük b) Akım yoğunluğu yüksek c) Elektroliz esnasında elektrik kesintileri mevcut d) Krom banyosunda fazla miktarda 3 değerli krom mevcuttur.	a) Banyo sıcaklığı artırılır. b) Akım yoğunluğu düşürülür. c) Kontak yerleri kontrol edilir. d) Analitik kontrol yapılır ve banyo bir süre büyük anot küçük katot ile çalıştırılır.
• Sütümsü Beyaz Krom Kaplama	Krom kaplanan parça sütümsü beyaz renktedir.	a) Kullanılan akım yoğunluğuna göre banyo sıcaklığı yüksek b) Kullanılan sıcaklığa göre akım yoğunluğu çok düşük	a) Sıcaklık düşürülür. b) Akım yoğunluğu artırılır.
• Kahverengimsi Siyah Krom Kaplama	Krom kaplanan parça kahverengimsi siyah renktedir.	a) Yardımcı asit konsantrasyonu fazla düşüktür.	a) Analiz sonrası yardımcı asit konsantrasyonu artırılır.
• Pürüz Krom Kaplama	Krom kaplanan parçanın yüzeyi pürüzlüdür.	a) Sıcaklık yüksek akım yoğunluğu alçak yada tersi	a) Akım yoğunluğu ve sıcaklık birbirine ayarlanır.

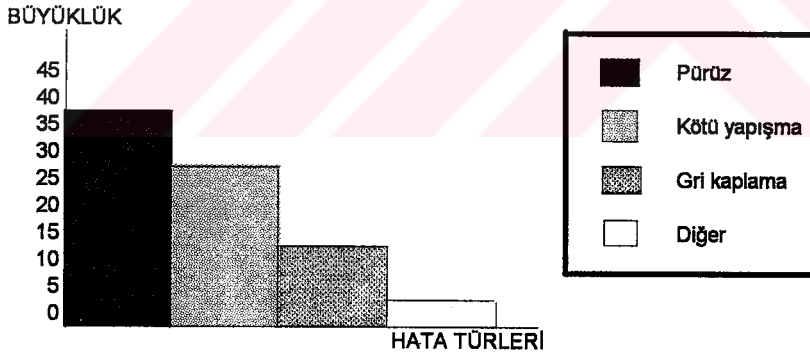
Tablo 5.5 Devam

		b) Kromik asit konsantrasyonu çok düşük c) Yardımcı asit konsantrasyonu çok düşük d) Banyoda fazla miktarda yabancı metal vardır e) 3 değerli krom miktarı fazla f) Alt metal pürüzlü g) Banyo katı parçacıklar ile kirlenmiş h) Kurşun anotlarda çinko ve arsen pisliği vardır.	b) Kromik asit konsantrasyonu artırılır. c) Analiz sonrası asit konsantrasyonu ayarlanır. d) Analiz sonrası banyo seyreltilir bunu takiben kromik asit ilavesi yapılır. e) Analiz sonrası büyük anot küçük katot ile elektroliz yapılır. f) Alt metalin ön işlemi daha iyi yapılmalıdır g) Banyo dinlendirilir böylece katı parçalar dibe oturtulur, karıştırma yapmadan banyo süzülür. h) Temiz ve saf kurşun anotlar kullanılır.
• Tomurcuklar ve Pürüzler Mevcut	Askının alt kısmına gelen parçaların alt kenarında tomurcuklar ve pürüzler mevcut	a) Parça, banyoda çok derin bir noktada asılmış.	a) Parçanın banyonun zemininden yüksekliği en az 15-20 cm. olmalıdır.
• Gri Renkli Lekeler	Krom kaplanmış parça gri renklidir.	a) Parça iyi temizlenmemiş b) Banyo yüzeyinde yağ var c) Nikel kaplı parçanın uzun süre bekletilmesi sonucu pasifleşmesi d) Pasif nikel tabakası aktive edilemiyorsa yağ alma çözeltisi zayıf	a) Yağ alma sonrası parçalar H₂SO₄ çözeltisinde dekapte edilmeli b) Banyodaki yağ giderilmeli c) Krom kaplama öncesi pasif nikel tabakası giderilmeli d) Yağ alma banyosu yenilenmelidir.

Tablo 5.6 Kaplama prosesinde karşılaşılan hatalar ve hatalı parça sayısı

Hata	Hata adeti
Pürüz	863
Kötü yapışma	554
Gri kaplama	271
Çizik, Vuruk	117
Mat bakır kaplama	91
Oyuklu kaplama	43

Tablo 5.6'daki verilerden yararlanarak hataların histogram şeklinde gösterilişi Şekil 5.3' de verilmiştir.

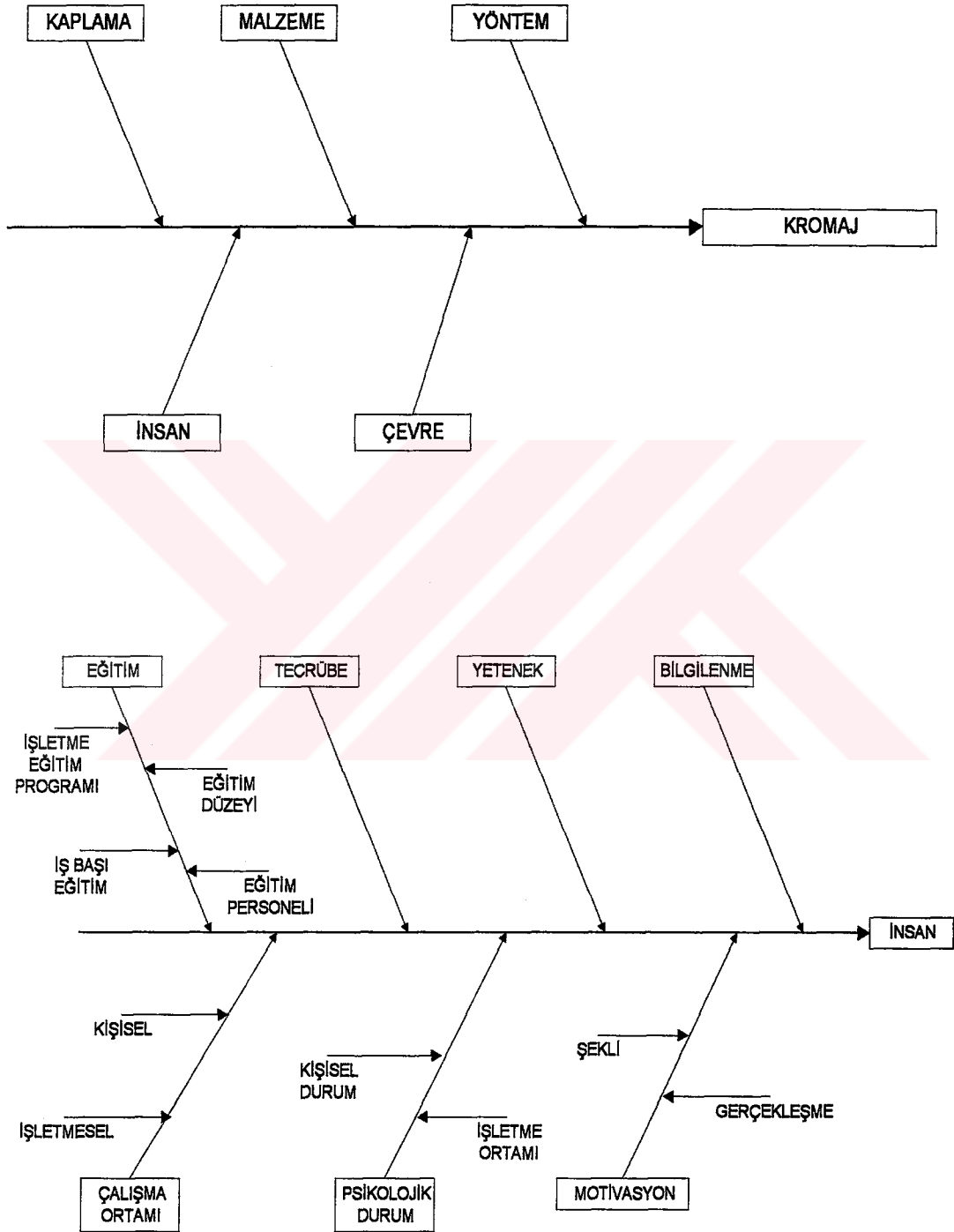


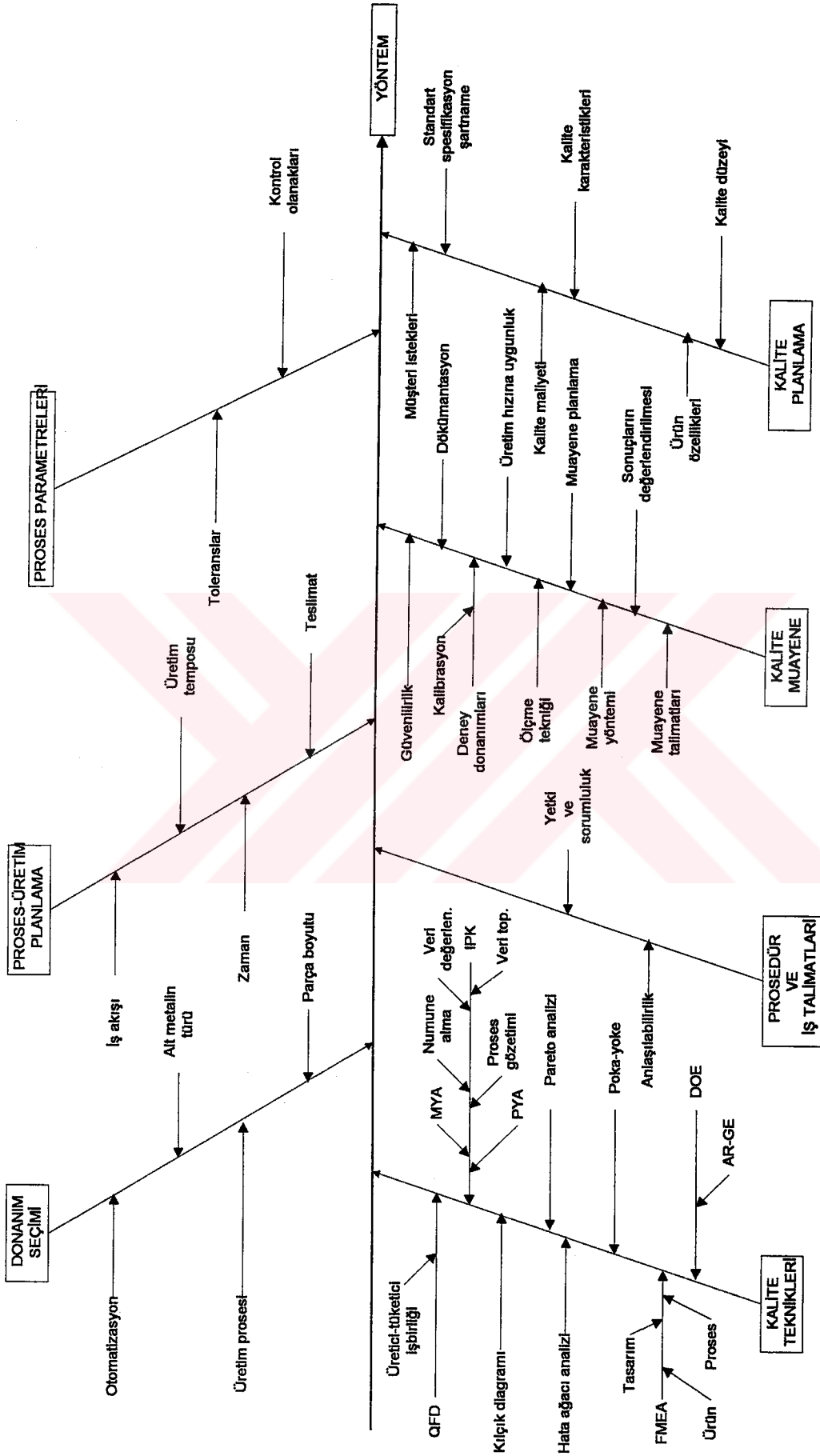
Şekil 5.3 Pareto analizi

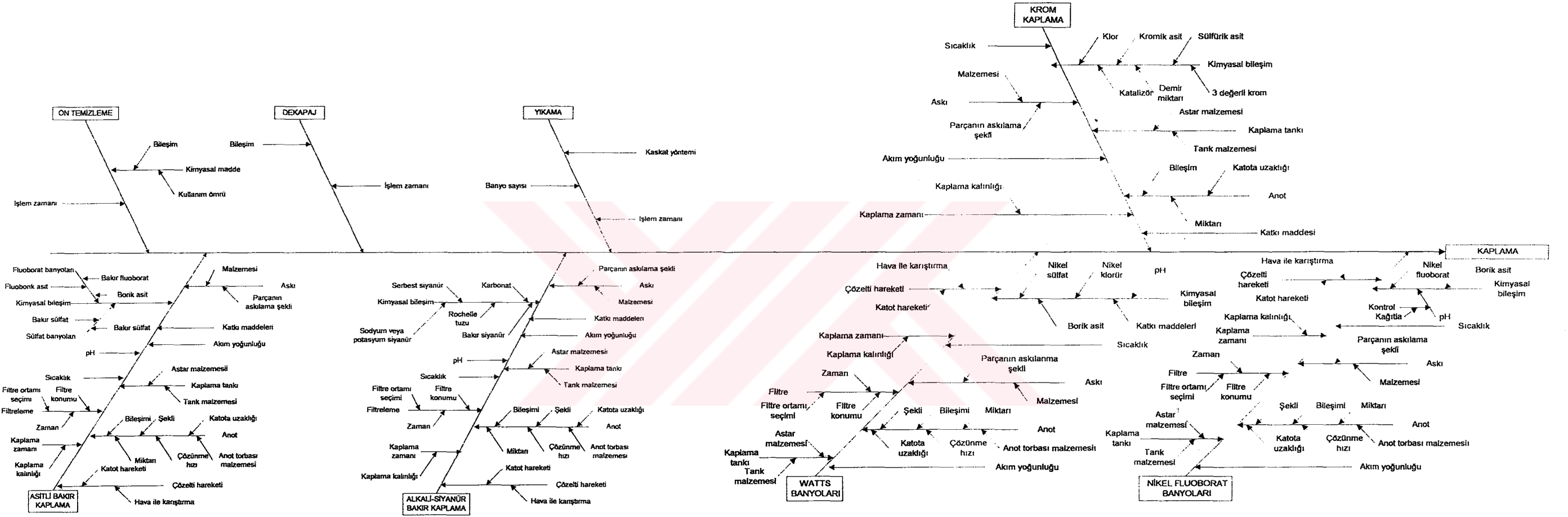
5.8 SEBEP-SONUÇ (KILÇIK) DİAGRAMI

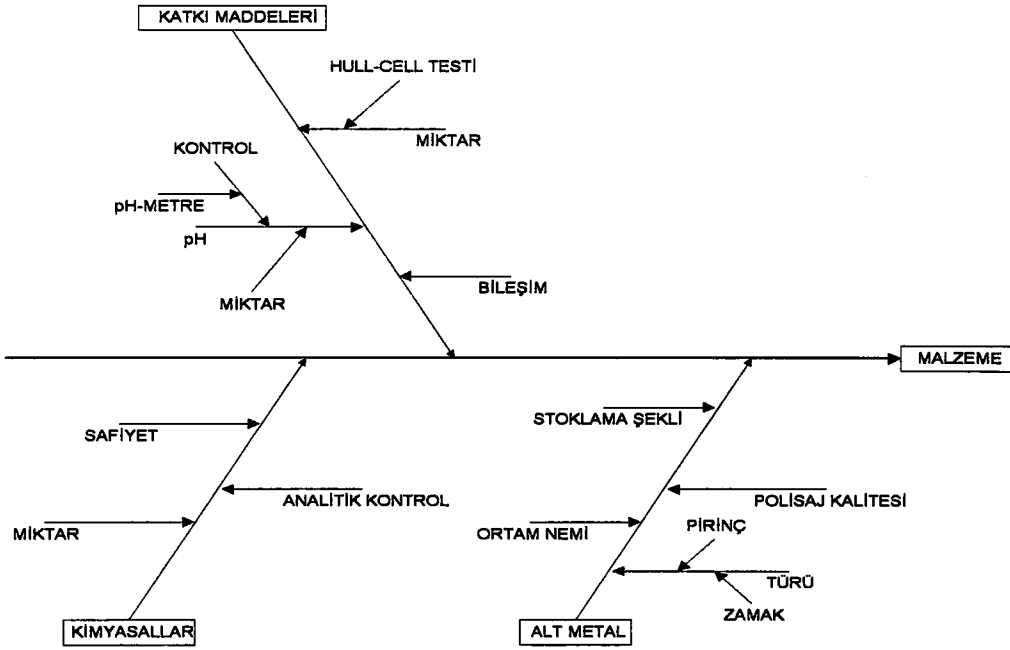
OHTEA çalışması için kullanılan bir diğer araçta sebep-sonuç (kılçık) diagramlarıdır. Bu diagramlar hatanın oluşmasına yol açan faktörlerin ilişkilerini sebep-sonuç açısından ele almaktadır. Bu diagramlarda problem, ana kılçığın sağına yazılırken bu

problemi oluşturan temel sebepler oklarla ana kılçığa, temel sebepleri etkileyen yan sebepler ise küçük oklarla temel sebep oklarına eklenir. Kaplama işlemine ait kılçık diagramları aşağıda verilmiştir.









Şekil 5.4 Kaplama tesisine ait kılçık diagramı

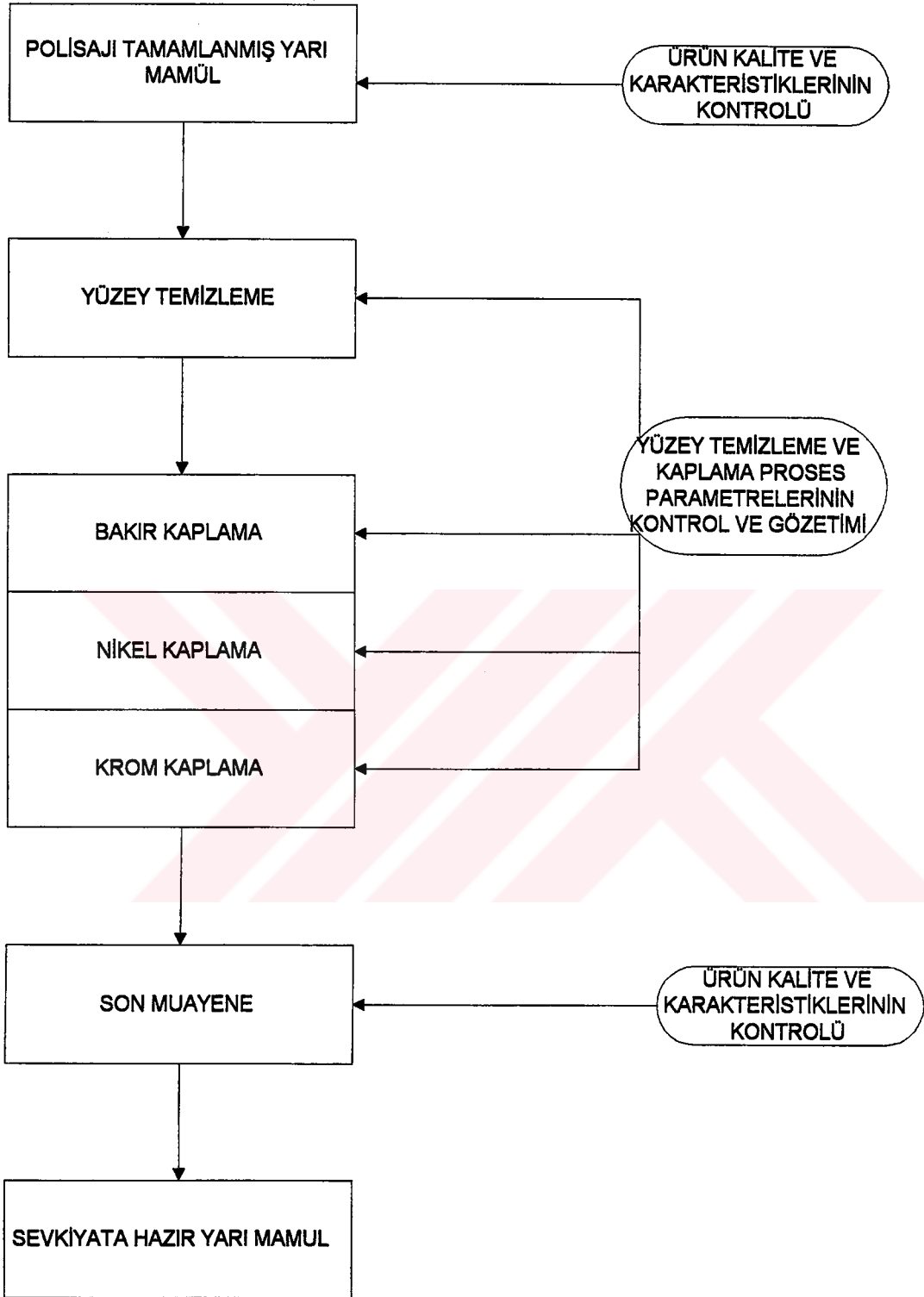
5.9 KAPLAMA ÜNİTESİNE AİT İŞ AKIŞ PLANI

Kalite tekniği olan OHTEA'nın uygulanmasına geçilmeden önce ilk yapılması gereken iş, üretim prosesinin iş akış planı halinde oluşturulması ve arzu edilen kalite düzeyini temin edebilecek kalite planının hazırlanması gerekmektedir. Bu nedenle kaplama prosesi için mevcut iş akış planında kalite temini açısından yapılacak işlemler Şekil 5.5'de verilmiştir.

5.10 OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİSİ ANALİZİNİN UYGULANMASI

ÜRÜN OHTEA

Ürün OHTEA çalışmasında pareto analizinin sonucuna dayanarak pürüz hatasının üzerinde durulması uygun görülmüştür. İşletmede kaplama prosesi esnasında pürüz hatasına başlıca neden olan faktörün maça kumu olduğu tespit edilmiştir. OHTEA çalışması döneminde mevcut olmayan ultrasonik yağ alma tertibatı ve nikel kaplama



Şekil 5.5 OHTEA çalışması için kaplama atölyesi iş akış şeması ve kalite planı

banyolarına ait filtrelerin gerekliliği ortaya konulmuş ancak çalışma sonuçlanana kadar bu malzemelerin tedarik edilemeyeceği işletme tarafından bildirilmiştir. Bu sebeple çalışmada hatalar arasında daha düşük yüzdeye sahip olan kötü yapışma ve gri kaplama hataları üzerinde yoğunlaşmıştır.

OHTEA uygulaması iki ürün üzerinde yapılmıştır. Birinci uygulama zamak malzemeden basınçlı döküm tekniği ile üretilen bir aksesuar parçası, ikinci uygulama ise pirinç malzemeden dövme tekniği ile üretilen bir volan için yapılmıştır.

OHTEA çalışmasının başlangıcında öncelikli olarak atılacak adım mamulün kaplanması esnasında ortaya çıkan veya çıkabilecek hataların belirlenmesidir. Bunu takiben oluşan hataların etkileri ve söz konusu hataların önlenmesi için alınabilecek tedbirlerin neler olduğu üzerinde durulur.

5.10.1 Zamak Mamul İçin OHTEA Çalışması

Zamak mamul sırası ile bakır-nikel-krom kaplanacaktır ve her üç kaplamada da ortaya çıkacak hatalar farklı olacağından her metal kaplama, OHTEA çalışmasında ayrı ayrı ele alınacaktır.

HATA TÜRLERİ

Tablo 5.7 Zamak mamulün kaplanması esnasında karşılaşılan hata türleri

Bakır Kaplama	Nikel Kaplama	Krom Kaplama
HT1: Kötü yapışma HT2: Mat kaplama	HT3: Pürüz HT4: Yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde mat kaplama HT5: Oyuklu kaplama	HT6: Keskin kenarlarda mat kaplama HT7: Deliklerin çevresi krom kaplanmama

HATA SEBEPLERİ

Tablo 5.8 Zamak parçanın kaplanması esnasında karşılaşılan hataların sebepleri

Bakır Kaplama	Nikel Kaplama	Krom Kaplama
Kötü Yapışma •Fazla serbest siyanür •Yetersiz serbest siyanür •Yeterli temizlenmemiş metal yüzeyi •Yüksek banyo sıcaklığı •Alt metal kalitesi	Pürüz •Maça kumu •Katota yapışmış artıklar •Anot çamuru	Mat Kaplama •Yüksek akım yoğunluğu •Düşük sıcaklık •Yanlış askılama •Yüksek 3 değerli krom miktarı
Mat Kaplama •Yüksek akım yoğunluğu •Yetersiz serbest siyanür •Yüksek karbonat miktarı	Mat Kaplama •Parlatıcı eksikliği	Krom Kaplamama •Aşırı hidrojen çıkışı mevcut
	Oyuklu Kaplama •Yetersiz karıştırma •Islatıcı eksikliği •Düşük borik asit miktarı •Çözültide askıda katı mevcut •Organik kirlilik •pH çok yüksek •pH çok düşük •Yetersiz ön temizleme	

HATA ETKİLERİ

- Bakır kaplamada oluşan “kötü yapışma”, hurda parçaya sebep olur.
- Bakır kaplamada oluşan “mat kaplama”, mekanik parlatmayı gerektirir ki işlem kademesi artacağından maliyet yükselir.
- Nikel kaplamada oluşan “pürüz” ve “yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde mat kaplama”, mekanik parlatmayı gerektirir böylece işlem kademesi artmış olur. Mekanik parlatma işlemi ile hata giderilemez ise parça hurda olur.
- Nikel kaplamada oluşan “oyuklu kaplama”, hurda parçaya neden olur.

- Krom kaplamada oluşan “keskin kenarlarda mat kaplama”, mekanik parlatmayı gerektirir ki böylece işlem kademesi artmış olur.
- “Deliklerin etrafında krom kaplamama” hatası hurda parçaya neden olur.
- Yukarıda ifade edilen tüm hataların tespit edilemeyip müşteriye ulaşması halinde müşteri şikayetlerine ve uzun vadede kalitesizlik maliyeti olarak müşteri kaybına neden olacaktır.

ALINACAK TEDBİRLER

Bakır kaplama

- Kötü yapışma
 - Bakır banyosunun kimyasal bileşiminin kontrol altında tutulması
 - Yüzey temizleme banyolarının kontrolü
 - Dekapaj banyolarının uygun yoğunluğa getirilmesi
 - Banyo sıcaklığının kontrol altında tutulması
 - Bakır kaplama banyosu öncesi yeralan yıkama banyolarının temizliğinin kontrol edilmesi

- Mat kaplama

- Kaplama banyosunun kimyasal bileşiminin kontrol altında tutulması
- Uygun akım yoğunluğu tatbik edilmeli
- Göz kontrol

Nikel Kaplama

- Pürüz

- Döküm sonrası maça kumlarının tamamen parçadan uzaklaştırılması
- Kaplama öncesi temizleme işlemlerinin iyi yapılması

- Banyonun sürekli filtre edilmesi
 - Anot torbalarının kullanılması
 - Banyo kullanılmadığı zaman üzerinin örtülmesi
 - Göz kontrol
- Yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde mat kaplama
- Günlük olarak Hull-cell testi yapılmalı
 - Göz kontrol
- Oyuklu kaplama
- Nikel banyosunun kimyasal bileşiminin kontrol altında tutulması
 - Günlük olarak Hull-cell testi yapılmalı
 - Periyodik olarak organik temizleme yapılmalı
 - Banyonun günlük pH miktarı tayin edilmelidir.
 - Banyonun karıştırılması yeterli hale getirilir.
 - Göz kontrol

Krom Kaplama

- Keskin kenarlarda mat kaplama
- Krom banyosunun kimyasal bileşiminin kontrol altında tutulması
 - Askılama sisteminin doğru yapılması
 - Uygun akım yoğunluğunun tatbik edilmesi
 - Banyo sıcaklığının kontrol altında tutulması
 - Göz kontrol
- Deliklerin etrafında krom kaplanmama
- Parçadaki büyük deliklerden hidrojen çıkışının önlenmesi

- Göz kontrol

OHTEA uygulamasından çıkan sonuçlar doğrultusunda tüm kaplama banyolarının kimyasal bileşimleri kontrol altına alınmış, ön temizleme işlemlerine ve yıkama sularına dikkat edilmiş, banyo sıcaklıkları kontrol altında tutulmuş ve parçaya uygun akım yoğunluğu verilmiştir. Bu işlemler sonrası zamak parçalarda en çok karşılaşılan kötü yapışma hatası büyük oranda ortadan kaldırılmıştır.

OHTEA formunun ikinci kısmı, OHTEA'nın tamamlanması sonrası ortaya çıkan olumlu ya da olumsuz sonuçlar ışığında doldurulur. Şekil 5.7'de OHTEA formunun doldurulmuş şekli görülmektedir.

5.10.2 Pirinç Mamul İçin OHTEA Çalışması

Pirinç mamul sırası ile nikel-krom kaplanacaktır ve her iki kaplamada da ortaya çıkacak hatalar farklı olacağından her metal kaplama, OHTEA çalışmasında ayrı ayrı ele alınacaktır.

HATA TÜRLERİ

Tablo 5.9 Pirinç parçanın kaplanması esnasında karşılaşılan hata türleri

Nikel Kaplama	Krom Kaplama
HT1: Pürüz HT2: Gri kaplama HT3: Yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde mat kaplama	HT4: Örtme kabiliyeti yetersiz HT5: Kenarlar krom almıyor HT6: Mat krom kaplama

HATA SEBEPLERİ

Tablo 5.10 Pirinç parçanın kaplanması esnasında karşılaşılan hataların sebepleri

Nikel Kaplama	Krom Kaplama
Pürüz •Maça kumu •Katota yapışmış artıklar •Anot çamuru	Örtme Kabiliyeti Yetersiz •Yardımcı asit konsantrasyonu fazla •Banyo sıcaklığı çok yüksek •Akım yoğunluğu düşük •Örtme voltajı düşük
Gri Kaplama •Banyoda metalik kirlilik	Kenarlar Krom Almıyor •Parçalar birbirlerini gölgeliyor
Mat Kaplama •Parlatıcı eksikliği	Mat Krom Kaplama •Yüksek akım yoğunluğu •Düşük sıcaklık •Yanlış askılama •Yüksek 3 değerli krom miktarı

HATA ETKİLERİ

- Nikel kaplamada oluşan “pürüz” ve “yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde mat kaplama”, mekanik parlatmayı gerektirir böylece işlem kademesi artmış olur. Mekanik parlatma işlemi ile hata giderilemez ise parça hurda olur.
- Nikel kaplamada oluşan “gri kaplama” hurda parçaya neden olur.
- Krom kaplamada oluşan “keskin kenarlarda mat kaplama”, mekanik parlatmayı gerektirir ki böylece işlem kademesi artmış olur.
- Krom kaplama esnasında oluşan “yetersiz örtme kabiliyeti” ve “kenarların krom kaplanmaması”, krom kaplama işleminin tekrarlanmasına neden olacağından işlem süresinin artmasına yol açacaktır.
- Yukarıda ifade edilen tüm hataların tespit edilemeyip müşteriye ulaşması halinde müşteri şikayetlerine ve uzun vadede kalitesizlik maliyeti olarak müşteri kaybına neden olacaktır.

Şekil 5.8’de OHTEA formunun uygulama öncesini kapsayan bölümü doldurulmuş şekildedir.

ALINACAK TEDBİRLER

Nikel Kaplama

- Pürüz
 - Döküm sonrası maça kumlarının tamamen parçadan uzaklaştırılması
 - Kaplama öncesi temizleme işlemlerinin iyi yapılması
 - Banyonun sürekli filtre edilmesi
 - Anot torbalarının kullanılması
 - Banyo kullanılmadığı zaman üzerinin örtülmesi
 - Göz kontrol

• Gri kaplama

- Periyodik aralıklarla metalik kirliliğin temizlenmesi
- Göz kontrol

• Yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde mat kaplama

- Günlük olarak Hull-cell testi yapılmalı
- Göz kontrol

Krom Kaplama

• Keskin kenarlarda mat kaplama

- Krom banyosunun kimyasal bileşiminin kontrol altında tutulması
- Askılama sisteminin doğru yapılması

- Uygun akım yoğunluğunun tatbik edilmesi
 - Banyo sıcaklığının kontrol altında tutulması
 - Göz kontrol
- Örtme kabiliyeti yetersiz
- Krom banyosunun kimyasal bileşiminin kontrol altında tutulması
 - Krom banyosunun sıcaklığının kontrol altında tutulması
 - Akım yoğunluğunun yükseltilmesi
 - Yüksek örtme voltajı kullanılması
 - Göz kontrol
- Kenarlar krom almıyor
- Askılama esnasında parçalar arasındaki mesafe artırılmalıdır.
 - Göz kontrol

OHTEA uygulamasından çıkan sonuçlar doğrultusunda tüm kaplama banyolarının kimyasal bileşimleri kontrol altına alınmış, banyo sıcaklıkları kontrol altında tutulmuş, parçaya uygun akım yoğunluğu verilmiş ve nikel banyolarında, yapılan hull-cell testi sonucuna göre gereken zamanlarda, metalik temizleme yapılmıştır. Bu işlemler sonrası pirinç parçada karşılaşılan gri kaplama hatası ortadan kaldırılmıştır.

Şekil 5.9'de OHTEA formunun doldurulmuş şekli görülmektedir.

5.11 OLASI HATA TÜRÜ VE ETKİSİ ANALİZİ SONUÇLARINDAN YARARLANARAK MEVCUT KAPLAMA PROSESİNİN YENİDEN OLUŞTURULMASI

Kaplama prosesinde sürekli aynı kalitede mamul üretimini gerçekleştirebilmek için öncelikle kalitenin kontrol edilmesi yerine üretilmesinin doğru olduğu görüşü benimsenmelidir.

Kalitenin belirlenen hedefler doğrultusunda üretilmesi için prosesin kontrol altında tutulması gereklidir. Prosesin kontrol altına alınabilmesi için öncelikle kaplama prosesi için proses kontrol talimatları oluşturulmalı ve bu talimatlardan yararlanarak proses kontrol akış şeması oluşturulmalıdır. Proses kontrol talimatları, üretimin aksamadan yürümesini sağlayabileceği gibi kişiler ve birimler arasında olabilecek tartışmalarında ortadan kaldıracaktır.

Bu bilgiler ışığında kaplama üretimi için geçerli olacak proses kontrol talimatları ve proses kontrol akış şeması aşağıda verilmiştir.

5.11.1 Proses Kontrol Talimatı

AMAÇ

Üretim sürecinde kaliteli mamül üretmeye yönelik olarak proseste meydana gelebilecek değişimleri kontrol altına alabilmek ve proseste hatanın meydana gelmesini en aza indirebilmek için hammaddeden sevk edilinceye kadar ürünün tüm aşamalarda kalite kontrol planları ve kontrol şartnameleri ışığı altında kontrollerinin gerçekleşmesini sağlamaktır.

UYGULAMA

Prosesin kontrolüne yönelik çalışmalar Kalite Kontrol birimi bünyesinde yer alan proses kontrol elemanları tarafından yapılır. İşletme bünyesinde yapılması planlanan

işler Günlük İş Akış Programı formu halinde Kalite Planlama ve Kalite Sorumlusu tarafından Kalite Güvence bölümüne iletilir.

Kromaj İçin Proses Kontrol

Kalite güvence bölümü tarafından günlük olarak ilk kaplama formu hazırlanır ve bu forma göre işin başlama onayı verilir. Kromaj bölümünde başlayan her yeni iş için daha önceden kalite kontrol bölümünce belirlenmiş bir takip numarası yoksa takip numarası verilerek aksi durumlarda önceden belirlenen takip numaraları üzerinden Parti Takip Kartı, Proses Takip formu, Takip Kontrol Onay Formu ve değerlendirme Formu açılır ve işlem bitiminde kapatılır.

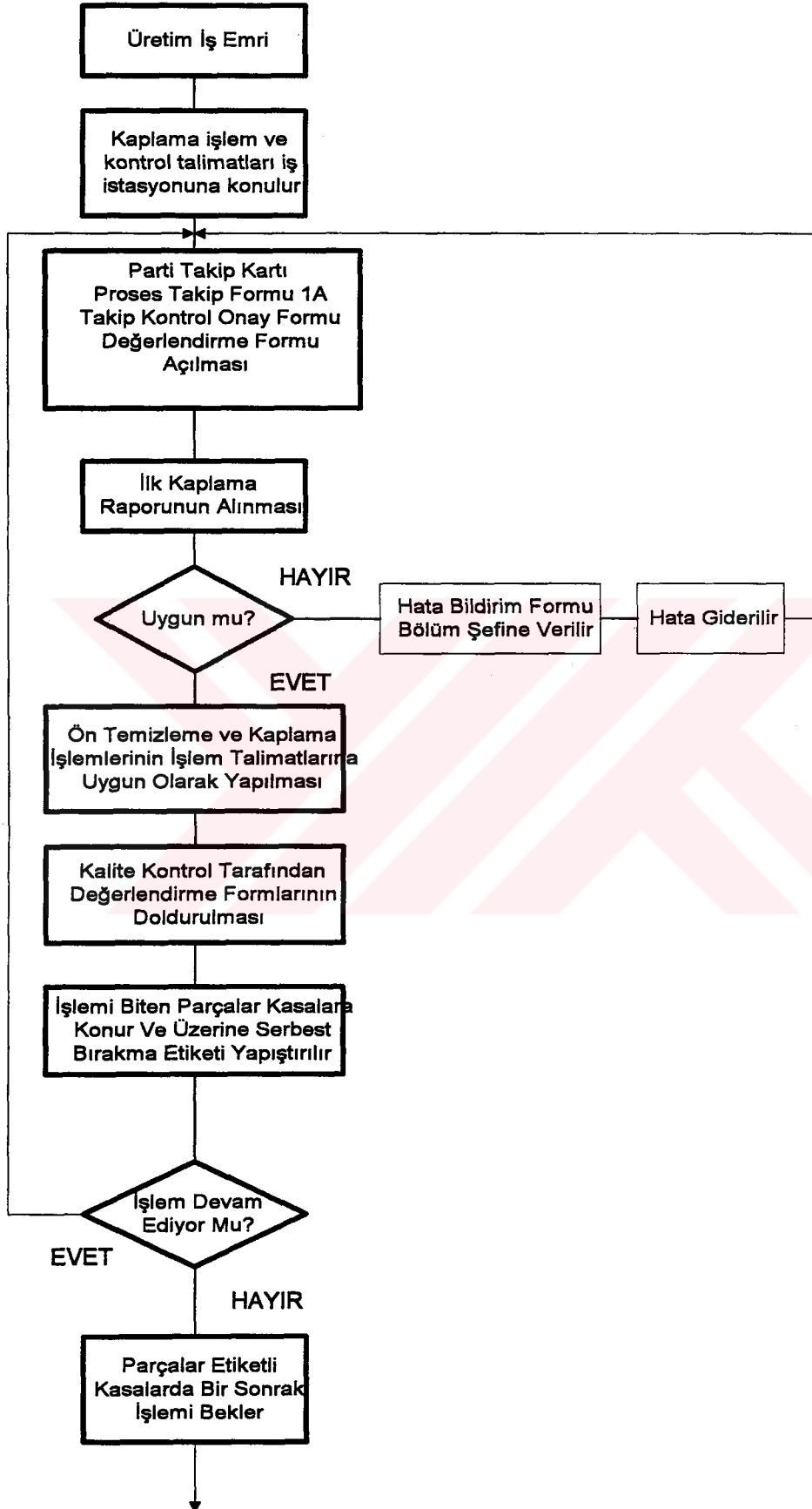
Kromaj için açılan Proses Takip Formu, Takip Kontrol Onay Formu ve Değerlendirme Formu proses kontrol elemanı tarafından günde 4 defa devriye çıkılarak doldurulur. Hata gözlemlendiği anda Hata Bildirme ve giderme Talimatı devreye girer.

Kromaj bölümünde laboratuardan sorumlu kişi tarafından günde bir kez banyoların analiz cetveli ve her ürün için ilk kaplama sonrası kaplama kalınlığı cetveli doldurulurken, kaplama akım ve zaman takip çizelgesi çalışan operatörler tarafından doldurulur.

İş bitiminde ürün izlenebilirliğini gerçekleştirebilmek amacıyla Kalite Güvence bölümünden takip numarasına göre Serbest Bırakma Etiketleri talep edilir. Serbest bırakma etiketi mamül kasalarına konularak yarı maül ambarına sevk edilir.

5.11.2 Kromaj Proses Kontrol Akış Şeması

Bakır-nikel-krom kaplama tesisi için proses kontrol akış şeması Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10 Proses kontrol akış şeması

5.11.3 Kaplama Kalitesinin Güvence Altına Alınabilmesi İçin Gerekli Önlemler

İşletmelerin ürettikleri mamüllerini pazarladıkları kişi veya kurumlar müşteri olarak tanımlanabileceği gibi üretim hattı boyunca bulunan her üretim birimi de birbirinin müşterisi konumundadır. Bu sebepten dolayı kaplama işleminden sonra ürünün alıcısı durumunda olan montaj birimine kaplanmış mamul mümkün olan en az hata ile gitmelidir. Mümkün olan en az hata ise prosesin kontrol altına alınması ile sağlanacaktır, dolayısıyla hem kaplama banyolarının hem de mevcut kaplamanın çeşitli testler ile kontrol edilmesi ve oluşabilecek bir hatanın en erken sürede tespit edilerek mümkün tedbirlerin alınması gereklidir.

• Kaplama banyolarının kontrolü

Kaplama banyolarının, analitik yaş yöntem kullanılarak kimyasal bileşiminin kontrol edilmesi gereklidir. Bu analiz haftada birkez yapılmalı ve sonuçlar doğrultusunda kaplama banyosuna kimyasal madde takviyesi yapılmalıdır.

Hull-cell testi yardımıyla akım dağılımı, çözelti bileşimi, çözeltideki katışkıların etkisinin saptanması, istenen özellikte kaplama tabakaları elde edebilmek için çözeltiye katılması gereken parlatici, nemlendirici, düzeltici vb.maddelerin miktarları belirlenir. Bu test günlük olarak yapılmalıdır.

Yukarıda ifade edilen testlerin yanında gerek akım kaynağı olan redresörün gerekse banyo ve banyo ekipmanlarının perodik kontrolleri aksatılmadan yapılmalıdır ki böylece arızalarla meydana gelecek üretim kaybı ortadan kaldırılabilir.

• Metalik kaplamanın kalite kontrol deneyleri

Kalınlık Ölçümü

İşletmede üretilen kaplama ya standartlar tarafından belirlenen ya da müşterinin belirlediği kalınlıkta olmalıdır. Üretilen kaplamanın kalınlığı, elektrokimyasal bir

metot olan ve tahribatlı olarak ölçüm yapan “kulometrik kaplama kalınlığı ölçüm yöntemi” ile yapılır. Bu yöntemin prensibi faraday kanununu kullanarak, elektrokimyasal olarak yapılan çözümlendirme esnasında geçen akım ve zaman tespiti ile kaplama kalınlığının ölçülmesidir.

Yapışma Testi

Armatür sanayinde kaplamanın iki amacı olduğundan yukarıda söz edilmiştir. Bu iki amaç dekoratif ve korozyondan korunmaktır. Kaplanan mamüllerin kullanımı esnasında kaplamanın kabarması, dökülmesi gibi olayların yaşanmaması için üretim esnasında yapışma testi yapılır.

Yapışma testi çeşitli şekillerde yapılabilir; bükme testi, parçanın uç kısmının eğelenmesi, kaplama yüzeyinin çizilmesi ve ani soğutma testi bunlardan birkaçıdır. Bu testler arasından seçilecek olan ile yapışma testi yapılmalıdır.

Sertlik Testi

Armatür parçaları için önemli olan bir diğer özellik ise kaplamanın sertliğidir. Kaplama tabakasının sertliği Brinell, Vickers veya Rockwell sertlik ölçme cihazları ile ölçülür. Ancak kaplama kalınlığının ölçümünde genelde Vickers mikro sertlik testi uygulanır.

Aşınma Direnci Testi

Metalik kaplanmış mamüllerin uzun ömürlü olmaları ve kısa zamanda aşınmamaları gereklidir. Aşınma testi belirli bir test olmayıp çok farklı metodlarla yapılabilmektedir.

Göz Kontrol

Göz kontrol metalik kaplamanın kalite kontrolünde vaz geçilmez bir yöntemdir. Göz kontrolünde amaç gözle görülebilir matlık, renk değişikliği, lekelenme, kaplanmamış

bölgeler, oyuklar, yapışma eksikliği, pürüzler, fiziksel hatalar ve işletmenin belirlediği diğer noksanlıkların tespit edilmesidir.

Tüm kontrollerde amaç, hatalı parçanın bir sonraki üretim birimine giderek işlem görmesini engellemektir. Hatalı parçanın bir sonraki bölüme gitmesi maliyetleri arttıracak gibi, ıskarta sayısında artışa ve ikincil işlemlerin fazlalığına neden olacaktır.

5.12 HATA FOTOĞRAFLARI

Yukarıda ifade edilmeye çalışıldığı gibi her üç kaplama esnasında bir takım hatalar meydana gelmektedir. Bölüm sonunda üretim esnasında ortaya çıkan hataların fotoğrafları verilmiştir.



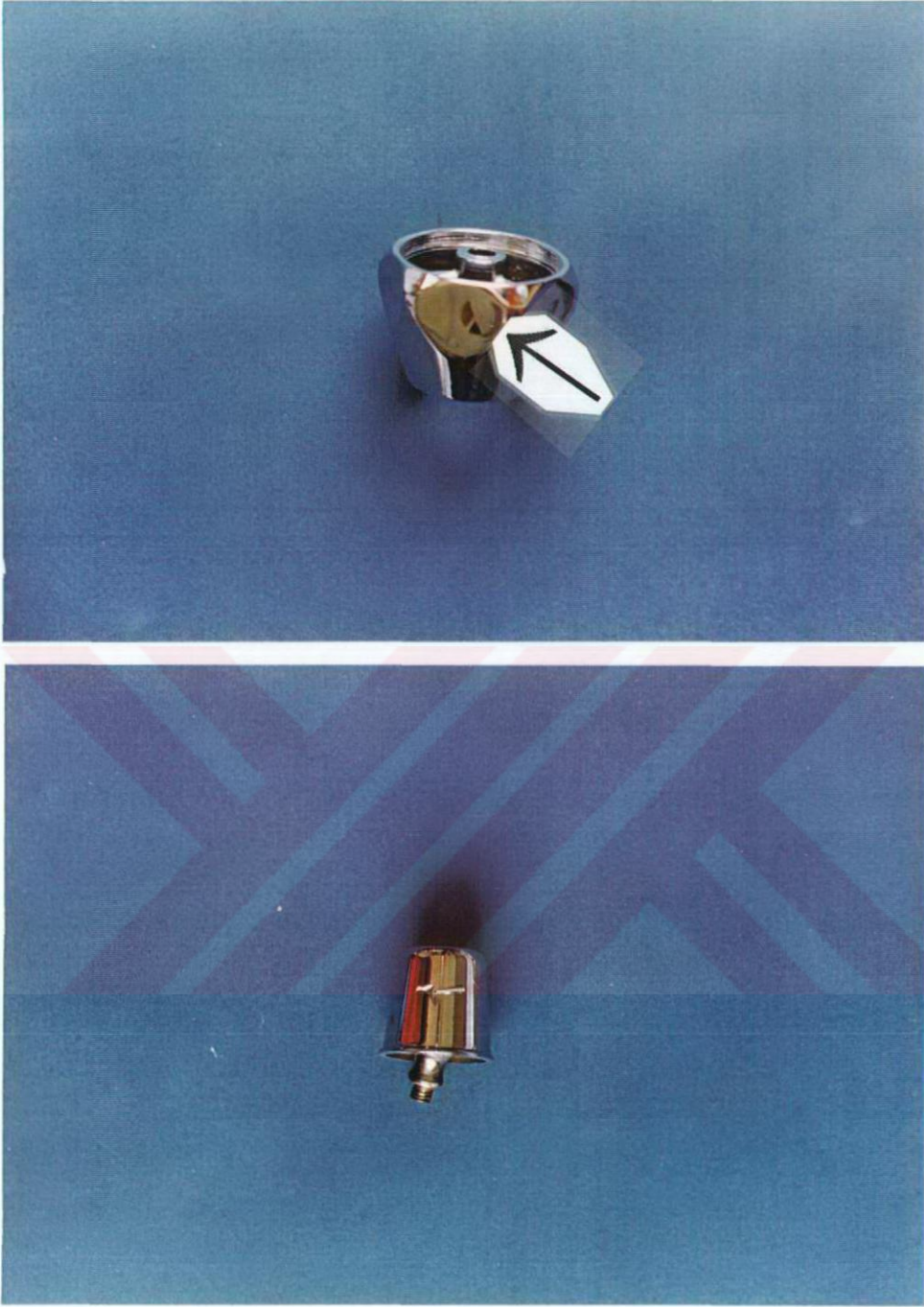


Şekil 5.11 Kısmen kaplanmış mamul

HATA TÜRÜ: Parça kısmen kaplanmış

HATA SEBEBİ: Parça birbirini gölgeleyecek şekilde askılanmış

HATANIN GİDERİLMESİ: Askılama şeklinin değiştirilmesi gereklidir.

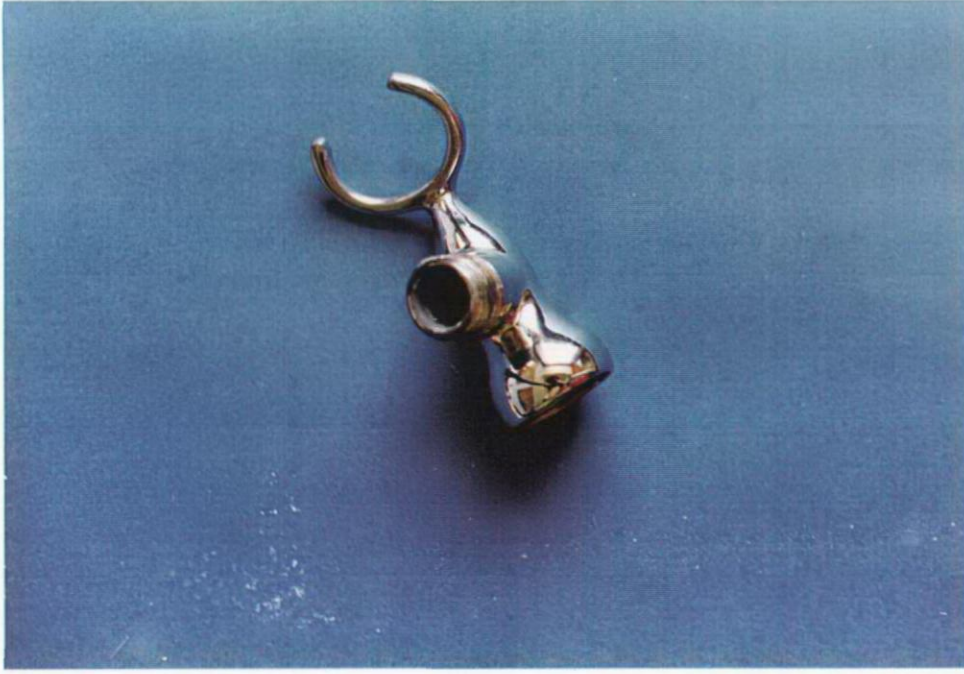


Şekil 5.12 Alt yüzey üzerine kötü yapışmış metalik kaplama

HATA TÜRÜ: Kötü yapışma

HATA SEBEBİ: Yüzey temizleme işlemleri yetersiz yapılmış

HATANIN GİDERİLMESİ: Yüzey temizleme banyoları kontrol edilmeli, banyolar arasındaki geçişlerde bol su ile parçanın iyice yıkanması sağlanmalıdır.

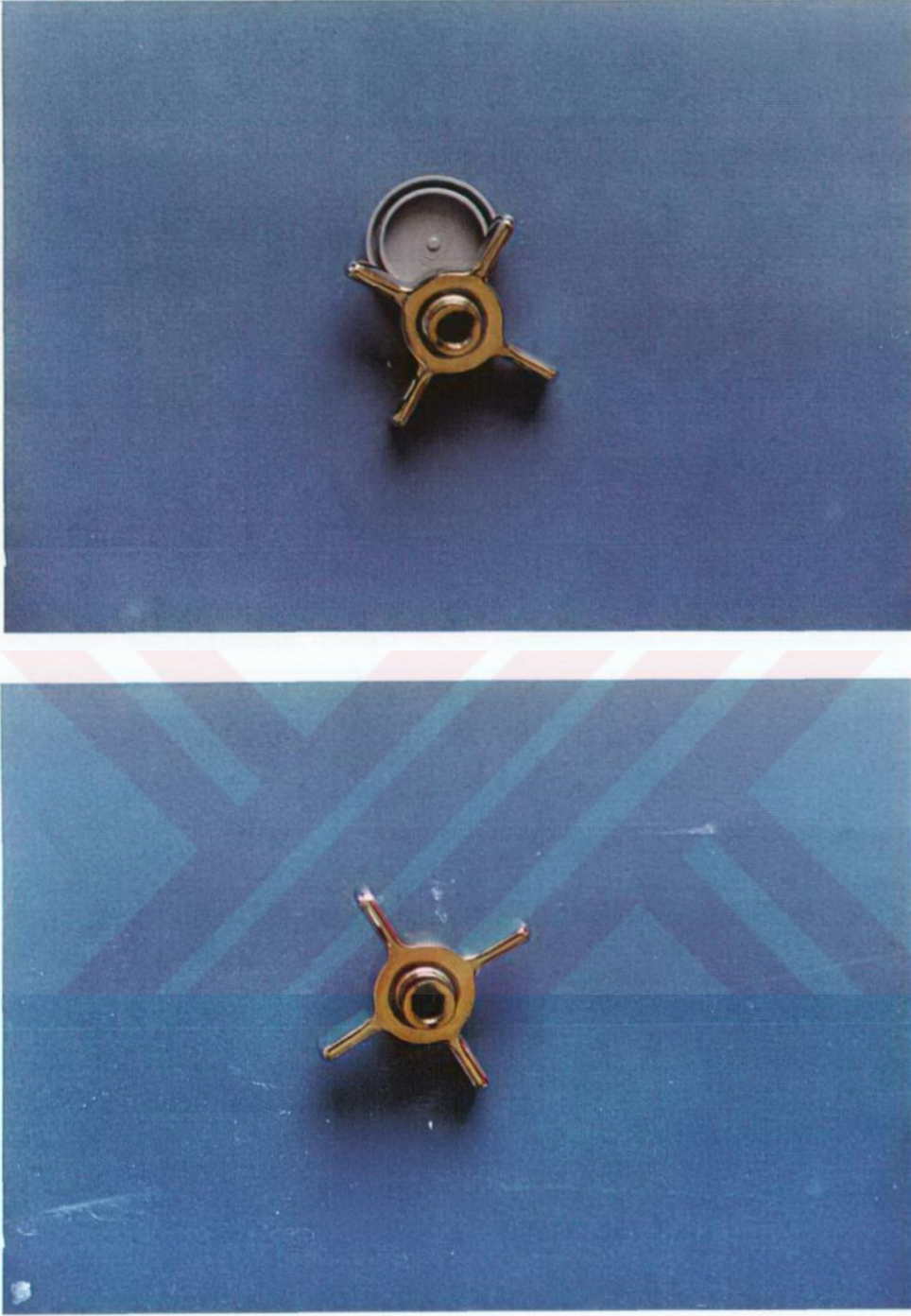


Şekil 5.13 Yüksek akım yoğunluğu bölgelerinde mat krom kaplama

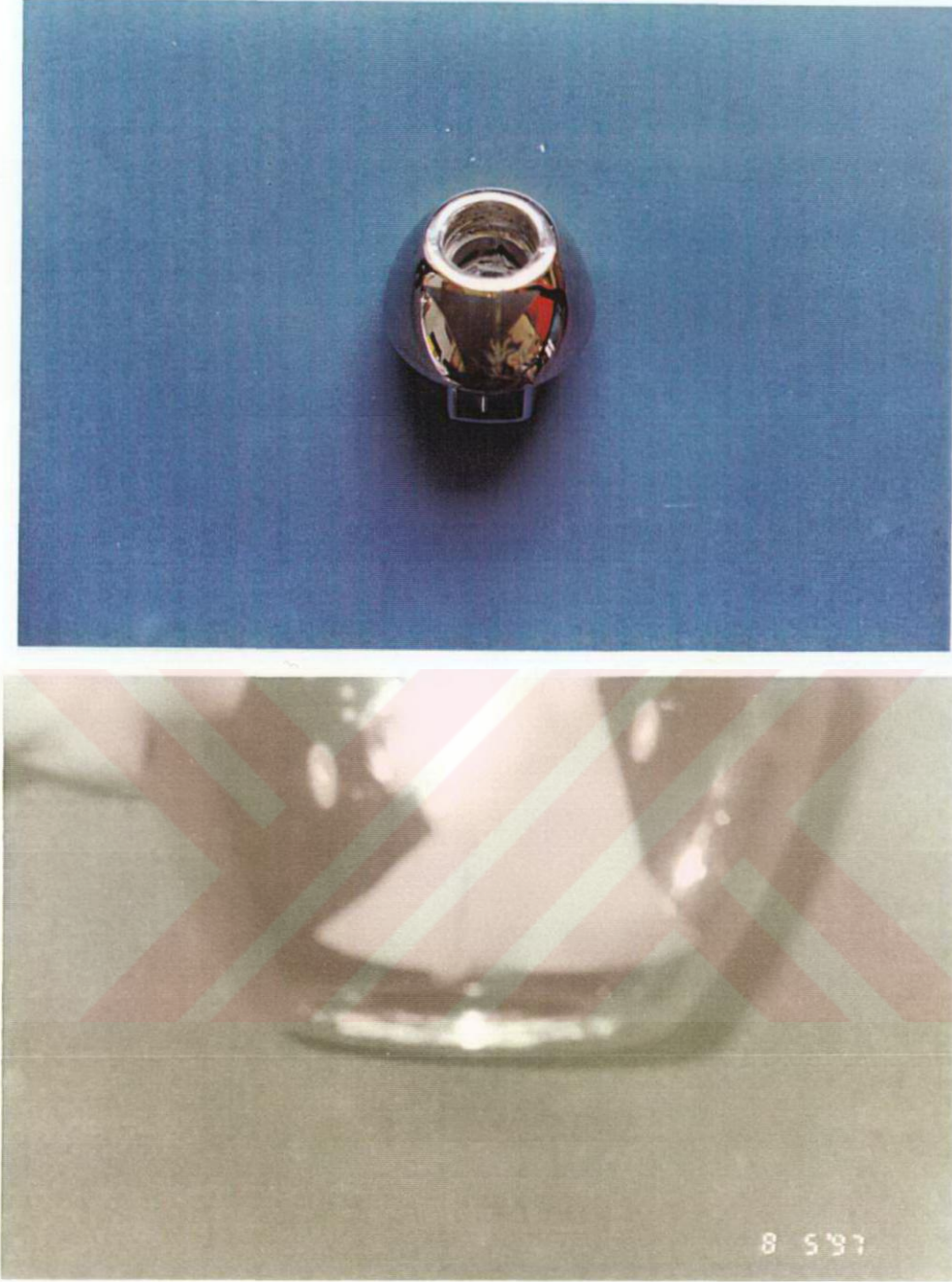
HATA TÜRÜ: Mat krom kaplama

HATA SEBEBİ: Fazla akım yoğunluğu, düşük banyo sıcaklığı veya parçanın anoda yakın olarak askılanması

HATANIN GİDERİLMESİ: Parçanın askılama şekline dikkat edilmeli gerekiyorsa yeni askılama şekli geliştirilmeli, daha düşük akım yoğunluğunda çalışılmalı ve son olarakta krom banyosunun sıcaklığı kontrol altında tutulmalıdır.



Şekil 5.14 Düşük akım yoğunluğu bölgelerinde gri nikel kaplama
HATA TÜRÜ: Gri nikel kaplama
HATA SEBEBİ: Nikel banyosunda metalik kirlilik mevcuttur.
HATANIN GİDERİLMESİ: Nikel banyosuna derhal metalik temizlik uygulanmalıdır.



Şekil 5.15 Zamak mamul üzerine kötü yapışmış bakır kaplama

HATA TÜRÜ: Bakır kaplama kabarmış

HATA SEBEBİ: Bakır banyosundaki serbest siyanür miktarı gereken değerde değil ve/veya alt metalin yüzeyinde yağ, oksit vb. bulunması

HATANIN GİDERİLMESİ: Bakır kaplama banyolarının sürekli olarak konsantrasyonunun kontrol edilmesi ve buna ek olarak ön temizleme çözeltilerinin kontrol edilmesi gereklidir.

BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde yüksek kalitede, düşük maliyette ve planlanan en kısa zamanda üretimi gerçekleştirebilen işletmeler globalleşen dünya pazarında yer bulabilmekte ve geleceğe güvenle bakabilmektedir. Yukarıda ifade edilen üç faktöründe başarı ile uygulanabilmesi için gerekli olan başlıca koşul üretimin mümkün olan en az hata ile gerçekleştirilmesidir. Ancak günümüzün rekabet koşullarında mümkün olan en az hata kavramı bile yetersiz kalmakta ve yerini hızla “sıfır hata” kavramına bırakmaktadır.

“Sıfır hata”nın bir işletme bünyesinde gerçekleşebilmesi için öncelikle yönetimin klasik yönetim anlayışından uzaklaşarak Toplam Kalite Yönetimi felsefesini benimsemesi gerekmektedir. Bölüm 3’de büyük oranda üzerinde durulan Toplam Kalite Yönetimi sürekli gelişmeyi hedeflemektedir. Klasik yönetim anlayışının gelişme konusunda hakim olduğu kanı büyük teknolojik buluşlarla ani sıçramalar şeklindedir. Buna karşılık Toplam Kalite Yönetimi felsefesinde ufak adımlarla ancak sürekli olarak gelişmek esas teşkil etmektedir.

Toplam Kalite Yönetimini uygulayan işletmelerde kalite teknikleri kullanılarak kalite geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu işletmelerde hedef belirli bir kalite düzeyini yakalamak değil aksine kaliteyi sürekli olarak iyileştirmek ve geliştirmektir. Günümüzde artık “miktar” değil “kalite”, “işe göre adam” değil “adama göre iş”, “teknoloji odaklılık” değil “müşteri odaklılık” ve hepsinden önemlisi “yaratıcılık” önemli olmuştur.

Tez çalışması olarak kalite tekniklerinden biri olan OHTEA ele alınmıştır. OHTEA’nın temel felsefesi meydana gelebilecek olan hataları önceden tespit etmek ve bu hatalar gerçekleşmeden tedbirlerini almaktır. Başka bir ifade ile OHTEA bir hata önleme yöntemidir.

Bu çalışmada tipik bir siyanürlü bakır -parlak nikel ve krom kaplama işlemlerinin yapıldığı bir kaplama ünitesi baz alınarak kaplama prosesi için bir ürün OHTEA çalışması yapılmıştır.

OHTEA çalışmasının ilk aşamasında ürünün üretilmesi esnasında oluşan veya oluşması muhtemel problemler ortaya konulmuştur. Bu problemlerin meydana gelmesi halinde ortaya çıkacak sonuçlar ve en önemlisi müşterinin nasıl etkileneceği üzerinde durulmuştur. Çalışmanın üçüncü aşamasına gelindiğinde ise ortaya konulan olası hataların oluşumunu engelleyecek tedbirlerin neler olacağı tespit edilmiştir.

OHTEA çalışması ile elde edilen sonuçlar şöyle ifade edilebilir:

- 1- Tüm kaplama banyoları, kimyasal bileşimleri açısından kontrol altında tutulmalıdır. Banyo bileşiminde ortaya çıkan değişimler doğrultusunda banyoya derhal kimyasal madde takviyesi yapılmalıdır. Banyolara ilave edilecek organik madde miktarı ise günlük olarak yapılacak Hull-cell testi ile tespit edilir. Hull-cell testi ile tespit edilen metalik veya organik kirlilik halinde derhal banyo temizlenmelidir.
- 2- Akım kaynağı olarak kullanılan redresörler, banyo ve banyo ekipmanlarının periodik olarak bakımları yapılmalıdır böylece meydana gelebilecek arızalarla üretim kayıpları yaşanmayacaktır.
- 3- Döküm parçaları maça kumundan tam olarak arındırılmadıkları için tesiste yağ alma amacıyla kurulan perkloretilen banyosu maça kumu karşısında yetersiz kalmaktadır. Bu amaçla perkloretilen yerine ultrasonik yağ alma banyosu kurulmalıdır.
- 4- Döküm mamullerin kaplamasının yapıldığı bakır ve nikel banyoları filtre ile sürekli temizlenmelidir. Anotlar, anot torbaları içinde banyoya asılmalıdır.
- 5- Mamüllerin kaplanması için kullanılan askıların dizaynı iyi yapılmalı, kaplama için doğru akım yoğunluğu seçilmelidir.

6- Kaplanmış parçaların kaplama kalınlıkları ölçülmeli, kaplamanın sertliği, aşınma direnci ve yapışma testleri yapılmalıdır.

7- Kaplama sonrası yapılacak göz kontrol ile göz ile seçilebilecek hatalar tespit edilmeli ve hatalı parça bir sonraki bölüme gitmemelidir.

8- Ürün OHTEA çalışması sonuçlarının uygulamaya geçirilmesi ile tesiste kaplama prosesinde meydana gelen hataların kümülatif olarak %80'ni ortadan kalkacağından kaplama ürünlerinin kalitesinde bir iyileşme olacağı gibi hem maliyetlerde azalma olacak hem de ara işlem kademeleri ortadan kalkacağından üretim zamanı azalacaktır.

9- OHTEA çalışması işletme içinde bir kez başladı ise sürekli olarak yapılacağından kalitede sürekli iyileşme sağlayacaktır. Toplam Kalite Yönetimini benimsemiş işletmelerde kalitede sürekli gelişmeyi temin edebilmek amacıyla OHTEA yanında diğer kalite tekniklerinin de kullanılması zorunludur.

10- Tesiste kaplama prosesi otomatik olmadığından çalışan elemanların işbaşı eğitimine önem verilmelidir. Zira tüm ünite kontrol altında dahi olsa çalışanların yapacakları ufak bir hata ıskartalı üretime sebep olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **ÇAKIR, A.F.**, Metallerin Korozyonu ve Genel Kavramlar Ders Notları, İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, (1992)
- [2] **BAYHAN, Ö.**, Yüzeylerin Metal Kaplamaya Hazırlanması Yağ Alma-Dağlama-Nötralizasyon, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, (1990)
- [3] **MAHMUTOĞLU, A.**, Metal Kaplama Endüstrisinde Atık Çözeltilerin Temizlenmesi, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, (1984)
- [4] **ÇAKIR, A.F.**, Elektrolitik Bakır Kaplamalar, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü (SEGEM) Metalik Kaplamalar Semineri, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, (1984)
- [5] **MOHLER, J.B.**, Electroplating and Related Processes, Chemical Publishing Co., New York, (1969)
- [6] **LOWENHEIM, F.A.**, Modern Electroplating, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, (1963)
- [7] **ÇAKIR, A.F.**, Elektrolitik Nikel Kaplamalar, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü (SEGEM) Metalik Kaplamalar Semineri, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, (1983)
- [8] **YAMAN, A.**, Krom Kaplamalar, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü (SEGEM) Metalik Kaplamalar Semineri, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, (1984)
- [9] **BEŞLİ, S.**, Kalite Kavramı Dünyada ve Ülkemizde Kalite Yaklaşımı, 7.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 1, Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara, pp.3-11, (1993)
- [10] **ESİN, A., KARABAY, M.**, Kalite Sistemine Hazırlık ve ISO 9000, KOSGEB, İstanbul, (1993)
- [11] **ISHIKAWA, K.**, (Çeviri: ORDAŞ, S., YAYLA, N.) Toplam Kalite Kontrol, KalDer Yayınları, İstanbul, (1995)
- [12] **KAVRAKOĞLU, İ.**, Kalite, KalDer Yayınları, Rekabetçi Yönetim Dizisi, İstanbul, (1993)

- [13] Toplam Kalite Yönetiminde Türkiye Perspektifi, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Yayınları, İstanbul, (1994)
- [14] TAPTIK, Y., Sınai İstatistik ve Kalite Kontrol Ders Notları, İ.T.Ü Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1994
- [15] SADGROVE, K., ISO 9000 (BS 5750) Kolaylaştıran Bir Rehber, Kogan Page Limited, London, (1994)
- [16] KAVRAKOĞLU, İ., Toplam Kalite Yönetimi, KalDer Yayınları, Rekabetçi Yönetim Dizisi, İstanbul, (1996)
- [17] SAÇAKLI, S., Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Maliyetleri, Toplam Kalite, Oluklu Mukavva Üreticileri Derneği, Yayın No:5, İzmir, pp. 9-14 (1995)
- [18] TAPTIK, Y., KÖSEOĞLU, L., KELEŞ, Ö., DEMİRLER, U., Kalite Güvencesi Sistemlerinin Başarısında Kalite Tekniklerinin Yeri ve Katkısı Metal Dünyası Dergisi, Sayı 25, pp.19-34, (1995)
- [19] ATEŞ, M., Basınçlı Döküm Yöntemiyle Üretimde OHTEA Tekniği Uygulaması İle Ürün ve Proses Optimizasyonu, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, (1995)
- [20] STAMATİS, D., H., Failure Mode and Effect Analysis, ASQC Quality Press Milwaukee, Wisconsin, (1995)
- [21] DERME, G., Kalite güvence sistem kavramı ve kalite teknikleri, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü İşletme Fakültesi, İstanbul, (1995)

**Ek A OLASI HATA TÜRÜ ve ETKİSİ ANALİZİ ÇALIŞMASI İÇİN
“CİDDİYET”, “KEŞFEDİLME” ve “OLASILIK” TABLOLARI**

Tablo A.1. Sistem OHTEA için ciddiye değerdendirmesi

ETKİ	DEĞERLENDİRME	KRİTER
Etkisiz	1	Etkisi yoktur.
Çok Hafif	2	Müşteriyi rahatsız etmez.
Hafif	3	Müşteriyi hafif olarak rahatsız eder.
Önemsiz	4	Müşteriyi az mikterda rahatsız eder.
Orta	5	Müşteri az miktarda hoşnutsuz kalmıştır.
Mühim	6	Müşteri hatadan dolayı rahatsızdır.
Önemli	7	Müşteri hoşnut değildir.
Şidetli	8	Müşteri fazlasıyla hoşnut kalmamıştır.
Ciddi	9	Potansiyel tehlike etkisi vardır.
Tehlikeli	10	Tehlike etkisi.

Tablo A.2. Sistem OHTEA için olasılık değerlendirme (CNF;Hataların toplam sayısı)

TEŞHİS	DEĞERLENDİRME	KRİTER	CNF/100
Hemen hemen asla	1	Hatanın oluşumu muhtemel değil	< .00058
Çok nadir	2	Hataların sayısı çok az	0.0068
Çok hafif	3	Hatalar çok küçük	0.0063
Hafif	4	Hatalar küçük	0.46
Düşük	5	Arasına olan hatalar	2.7
Orta	6	Hataların sayısı orta düzeyde	12.4
Ortanın üstü	7	Hataların sayısı ortanın üstü düzeyde	46
Yüksek	8	Hataların sayısı yüksek	134
Çok yüksek	9	Hataların sayısı çok yüksek	316
Hemen hemen kesin	10	Hatalar hemen hemen kesin	> 316

Tablo A.3. Sistem OHTEA için keşfedilme değerlendirme

TEŞHİS	DEĞERLENDİRME	KRİTER
Hemen hemen kesin	1	Fikir aşamasında keşfedilebilirlik
Çok yüksek	2	Dizaynın ilk safhasında
Yüksek	3	Modellemenin ilk safhası
Ortanın üstü	4	İlk örnek sisteminde
Orta	5	İlk üretim sisteminde
Düşük	6	Benzer sistemde test
Hafif	7	Mevcut sistem elemanları ile ilk örnek üründe test
Çok hafif	8	Mevcut sistemdeki üründe
Uzak	9	Sadece bilinmeyen veya güvenilemez teknikler
Hemen hemen imkansız	10	Bilinmeyen teknik

Tablo A.4. Tasarım OHTEA için ciddiyet değeri

ETKİ	DEĞERLENDİRME	KRİTER
Etkisiz	1	Etkisi yoktur.
Çok Hafif	2	Müşteriyi rahatsız etmez.
Hafif	3	Müşteriyi hafif olarak rahatsız eder.
Önemsiz	4	Müşteriyi az miktarda rahatsız eder.
Orta	5	Müşteri az miktarda hoşnutsuz kalmıştır.
Mühim	6	Müşteri hatadan dolayı rahatsızdır.
Önemli	7	Müşteri hoşnut değildir.
Şidetli	8	Müşteri fazlasıyla hoşnut kalmamıştır.
Ciddi	9	Potansiyel tehlike etkisi vardır.
Tehlikeli	10	Tehlike etkisi.

Tablo A.5. Tasarım OHTEA için keşfedilme değeri

TEŞHİS	DEĞERLENDİRME	KRİTER
Hemen hemen kesin	1	Uygulanabilir her kategoride yüksek etkiye sahip
Çok yüksek	2	Çok yüksek etkiye sahip
Yüksek	3	Yüksek etkiye sahip
Ortanın üstü	4	Orta üstü etkiye sahip
Orta	5	Orta etkiye sahip
Düşük	6	Düşük etkiye sahip
Hafif	7	Çok düşük etkiye sahip
Çok hafif	8	Her uygulanabilir kategoride en düşük etki
Uzak	9	İspat edilmiş veya güvenilmez veya etkisi bilinmez
Hemen hemen imkansız	10	Tasarım teknikleri yok veya bilinmiyor

Tablo A.6. Tasarım OHTEA için olasılık değerlendirmesi

TEŞHİS	DEĞERLENDİRME	KRİTER	CNF/100
Hemen hemen asla	1	Hatanın oluşumu muhtemel değil	< .00058
Çok nadir	2	Hataların sayısı çok az	0.0068
Çok hafif	3	Hatalar çok küçük	0.0063
Hafif	4	Hatalar küçük	0.46
Düşük	5	Arasına olan hatalar	2.7
Orta	6	Hataların sayısı orta düzeyde	12.4
Ortanın üstü	7	Hataların sayısı ortanın üstü düzeyde	46
Yüksek	8	Hataların sayısı yüksek	134
Çok yüksek	9	Hataların sayısı çok yüksek	316
Hemen hemen kesin	10	Hatalar hemen hemen kesin	> 316

Tablo A.7. Proses OHTEA için keşfedilme değerlendirme

TEŞHİS	DEĞERLENDİRME	KRİTER
Çok yüksek	1	Kontrol edenler hatayı kesinlikle yakalar
Yüksek	2-5	Hatanın kontroller tarafından tespiti büyük bir olasılıkla muhtemeldir
Orta	6-8	Kontrol esnasında hatanın tespiti yapılabilir
Düşük	9	Kontroller esnasında hatanın varlığı büyük bir olasılıkla tespit edilemeyecek
Hemen hemen imkansız	10	Kontrollerde hata tespit edilemeyecek

Tablo A.8. Proses OHTEA için ciddiyet değerlendirme

ETKİ	DEĞERLENDİRME	KRİTER
Çok az	1	Hatanın ürün ve/veya hizmet üzerine etkisi yoktur. Müşteri hatayı farketmiyor.
Düşük	2-3	Hata düşük seviyede bir ciddiyet ile müşteriye rahatsızlık verir.
Orta	4-6	Müşteri hatayı fark eder ve dolayısıyla rahatsız olur.
Yüksek	7-8	Hata operasyon yapılamaz nitelikte olup müşteri memnuniyetsizliği veya bir sonraki proses ve/veya hizmetin aksamasına neden olur.
Çok yüksek	9-10	Hata, güvenliği etkiliyor ve yönetim talimatları ile uyuşmayan çok yüksek ciddiyet

Tablo A.9. Proses OHTEA için olasılık değeriendirme

TEŞHİS	DEĞERLENDİRME	KRİTER	CNF/100
Hemen hemen asla	1	Hatanın oluşumu muhtemel değil	< .00058
Çok nadir	2	Hataların sayısı çok az	0.0068
Çok hafif	3	Hatalar çok küçük	0.0063
Hafif	4	Hatalar küçük	0.46
Düşük	5	Arasına olan hatalar	2.7
Orta	6	Hataların sayısı orta düzeyde	12.4
Ortanın üstü	7	Hataların sayısı ortanın üstü düzeyde	46
Yüksek	8	Hataların sayısı yüksek	134
Çok yüksek	9	Hataların sayısı çok yüksek	316
Hemen hemen kesin	10	Hatalar hemen hemen kesin	> 316

Tablo A.10. Hizmet OHTEA için keşfedilme değeriendirme

TEŞHİS	DEĞERLENDİRME	KRİTER
Hemen hemen kesin	1	Sürekli kontroller ile hata yakalanır
Çok yüksek	2	Çok yüksek olasılıkla hata yakalanır
Yüksek	3	Yüksek olasılıkla hata yakalanır
Orta yüksek	4	Orta yükseklikte tespit edilir
Orta	5	Orta olasılıkla hata yakalanır
Düşük	6	Düşük olasılıkla hata tespit edilir
Az	7	Az olasılıkla hata tespit edilir
Çok az	8	Çok az olasılıkla hata tespit edilir
Uzak	9	Uzak olasılıkla hata tespit edilir
Hemen hemen imkansız	10	Bilinen tüm kontroller hatayı yakalamak için yetersizdir

Tablo A.11. Hizmet OHTEA için olasılık değerlendirmesi

TEŞHİS	DEĞERLENDİRME	KRİTER	CNF/100
Hemen hemen asla	1	Hatanın oluşumu muhtemel değil	< .00058
Çok nadir	2	Hataların sayısı çok az	0.0068
Çok hafif	3	Hata olma olasılığı az	0.0063
Hafif	4	Az hata olasılığı	0.46
Düşük	5	Arasıra olan hatalar	2.7
Orta	6	Hata sayısı orta düzeyde	12.4
Ortanın üstü	7	Hata sayısı ortanın üstü	46
Yüksek	8	Hataların sayısı yüksek	134
Çok yüksek	9	Hata sayısı çok yüksek	316
Hemen hemen kesin	10	Hatalar hemen hemen kesin	> 316

Tablo A.12. Hizmet OHTEA için ciddiyet deęerlendirmesi

ETKİ	DEĞERLENDİRME	KRİTER
Etkisiz	1	Etkisi yoktur.
Çok Hafif	2	Müşteriyi rahatsız etmez.
Hafif	3	Müşteriyi hafif olarak rahatsız eder.
Önemsiz	4	Müşteriyi az miktarda rahatsız eder.
Orta	5	Müşteri istenmeyen deneyimler kazanır.
Mühim	6	Müşteri hatadan dolayı rahatsızdır.
Önemli	7	Müşteri hoşnut değildir.
Şidetli	8	Müşteri fazlasıyla hoşnut kalmamıştır.
Ciddi	9	Potansiyel tehlike etkisi vardır.
Tehlikeli	10	Tehlike etkisi.

ÖZGEÇMİŞ

Behiye YÜKSEL, 1973 yılında Bursa'da doğmuştur. Orta öğrenimini 1990 yılında İstanbul Ataköy Lisesinde tamamlamıştır. 1994 yılında İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Halen PDK A.Ş. de çalışmaktadır.

