

**FERRİTİK - OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK ÇİFTİNİN NOKTA KAYNAĞINDA KAYNAK**

**PARAMETRELERİNİN ÇEKME - MAKASLAMA MUKAVEMETİNE VE TANELERARASI KOROZYONA ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Erdinç KALUÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 1 Temmuz 1988

Tezin Savunulduğu Tarih :27 Ekim 1988

Tez Danışmanı

: Prof.Selahaddin ANIK

Diğer Jüri Üyeleri

: Prof.Dr.Levon ÇAPAN

Doç. Dr.Barlas ERYÖREK

**Y. G.**  
**Yükseköğretim Kurulu**  
**Dokümantasyon Merkezi**

EKİM 1988

## Ö N S Ö Z

Paslanmaz çelik ince sacların kullanıldığı kimya, gıda ve taşıt endüstrisinde, birleştirme yöntemi olarak elektrik direnç nokta kaynağı yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Zira elektrik direnç nokta kaynağı konstrüksiyonların oluşturulmasında imalatçıya bir dizi avantaj sağlamaktadır. Özellikle son yıllarda uzay taşıtlarındaki gelişmeler ve uzun ömürlü otomobillerin gerçekleştirilmesine yönelik projeler paslanmaz sacların önemini bir kez daha gündeme getirmiştir.

Ostenitik paslanmaz çelikler uzun yıllardan beri geniş bir uygulama alanı bulmalarına karşın son yıllarda ortaya çıkan ekonomik etkenler daha ucuz, parlak ve dekora-tif görünümlü olan ferritik paslanmaz sacların da yaygın olarak kullanılmalarını ön plana çıkartmıştır. Yukarıda belirtilen endüstri kollarında ekonomik faktörlerin dikkate alınmasıyla hem ferritik hem de ostenitik paslanmaz sacların kullanıldığı konstrüksiyonlar geliştirilmiştir. Bir tarafı ferritik, bir tarafı ostenitik paslanmaz sac bağlantıları için uygun nokta kaynağı parametrelerinin saptanması üzerine literatürde bir çalışmanın varlığına rastlanmamıştır ve bu boşluğu doldurmak amacıyla çalışmanın ana konusu olarak bu tür bağlantılarda nokta kaynağı parametrelerinin saptanması seçilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi, son derece ilginç olan bu araştırmanın konusunu teklif eden ve çalışmalarım süresince her konuda yardımcı olan Sayın Prof.Selahaddin ANIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımı sürekli teşvik ederek manevi desteğini esirgemeyen Sayın Prof.Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ'ye, nokta kaynağı deneylerimi gerçekleştirmek için fabrikalarında her türlü yardımı yapan COŞKUNÖZ A.Ş. yetkililerine ve personeline, korozyon deneylerini gerçekleştirmemde laboratuvarlarını açan OERLIKON A.Ş. yetkililerine ve personeline, deneylerim esnasında tüm yardımlarıyla beni mutlu eden İ.T.Ü. Makina Fakültesi Malzeme ve İmalat Biriminde görevli öğretim üyelerine ve personeline tezimin yazımını büyük bir titizlikle yapan Sayın Selahattin ÇİÇEK'e ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Erdoğan KALUÇ

# İÇİNDEKİLER

ÖZET -----	vi
SUMMARY -----	vii
BÖLÜM 1. GİRİŞ -----	1
BÖLÜM 2. PASLANMAZ ÇELİKLER HAKKINDA BİLGİ -----	4
2.1. Genel -----	4
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Faz Diyagramları-----	6
2.3. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması-----	10
2.3.1. Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çelikler -----	11
2.3.2. Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler--	13
2.3.3. Ostenitik-Krom Nikelli Paslanmaz Çelikler-----	15
2.4. PASLANMAZ ÇELİKLERİN FİZİKSEL ÖZELİKLERİ --	18
BÖLÜM 3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ--- ----	19
3.1. Genel -----	19
3.2. Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti -----	19
3.3. Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti -----	20
3.4. Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti -----	25
BÖLÜM 4. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI VE BU KONUDAKİ LİTERATÜR TARAMASI-----	33
4.1. Genel -----	33
4.2. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi---	34
4.3. Paslanmaz Çeliklerin Direnç Nokta Kaynağına Etkiyen Faktörler -----	36
4.3.1. Kaynak Akımı ve Kaynak Zamanının Etkisi -----	36
4.3.2. Elektrod Kuvvetinin Etkisi --- ----	40
4.3.3. Sac Yüzey Düzgünlüğünün Etkisi -----	43
4.3.4. Malzeme Bileşiminin Etkisi -----	44

4.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kullanılan Elektrodlar -----	44
4.5. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isıl Denge-	46
4.6. Paslanmaz Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Üzerine Yapılan Çalışmalar -----	48
4.6.1. Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Üzerine Yapılan Çalışmalar -----	48
4.6.2. Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Üzerine Yapılan Çalışmalar --	57
BÖLÜM 5. KONUNUN ÖNEMİ VE ÇALIŞMANIN PLANLANMASI -----	68
BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR -----	71
6.1. Genel -----	71
6.2. Deneylerde Kullanılan Malzeme -----	71
6.3. Deney Parçalarının Boyutları -----	72
6.4. Deney Parçalarının Hazırlanması -----	73
6.5. Kaynak Makinası -----	73
6.6. Elektrodlar -----	73
6.7. Deneylerin Yapılışı -----	74
6.7.1. Direnç Nokta Kaynağı İşlemi -----	74
6.7.2. Çekme-Makaslama Deneyi -----	75
6.7.3. Korozyon Deneyi -----	75
6.7.3.1. Korozif Çözelti -----	77
6.7.3.2. Kullanılan Aygıtlar -----	77
6.7.3.3. Deney Süresi -----	77
6.7.3.4. Korozyon Deneyi Uygulanmış Parçaların Çekme-Makaslama Deneyi -----	77
6.7.3.5. Korozyon Deneyi Uygulanmış Parçaların Metalografik İncelenmesi -----	78
6.7.4. Kaynak Bağlantısının Sertlik Deneyi--	79
BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ -----	80
7.1. Korozyon Deneyine Tabi Tutulmamış Bağlantıların Çekme-Makaslama Mukavemetleri-	80
7.1.1. Kaynak Akımının Etkisi -----	80
7.1.2. Kaynak Süresinin Etkisi -----	86
7.2. Korozyon Deneyine Tabi Tutulmuş Ferritik-Ostenitik Çiftlerin İncelenmesi -----	88

7.3. İç Yapı ve Sertlik Durumunun İncelenmesi---	100
BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER -----	138
KAYNAKLAR -----	140
ÖZGEÇMİŞ -----	144



## Ö Z E T

Günümüzde taşıt endüstrisinde, özellikle demiryolu ve otomobillerde kaporta malzemesi olarak kullanılan paslanmaz çelik sacların nokta kaynağı ile birleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Paslanmaz çeliklerin ferritik ve ostenitik türlerinin karşı karşıya geldiği bu tür konstrüksiyonlarda nokta kaynağı parametrelerinin bağlantının çekme-makaslama mukavemeti üzerine etkisine yönelik bir araştırmanın varlığı saptanamamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurabilmek amacıyla bu çalışmada, ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftine ait nokta kaynağı bağlantılarında kaynak parametrelerinin mukavemete olan etkileri saptanmış ve kaynak bölgesinin korozyon davranışı incelenmiştir.

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak 1 mm. kalınlığında X 8Cr 17 ferritik ve X12CrNi 18 8 ostenitik paslanmaz çelik saclar kullanılmıştır. Nokta kaynağı parametrelerinden elektrod kuvveti 500 daN., ön ve son tutma süreleri de 25 periyod olarak sabit tutulmuşlardır. Isı girdisinin etkisini incelemek amacıyla kaynak akımı 4,5 - 13,5 kA arasında arttırılarak değiştirilmiş, kaynak süreleri ise 5,15, 25 periyod olarak seçilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla, ferritik ve ostenitik paslanmaz saclardan da aynı koşullarda deney parçaları hazırlanmıştır. Ferritik-ostenitik çifte ait deney parçalarının yarısı kaynaktan çıktığı gibi, diğer yarısı da Strauss korozyon deneyine tabi tutulduktan sonra çekme-makaslama mukavemet değerleri saptanmıştır. Tüm serilerde iç yapı incelenmiş ayrıca çekirdek kesitindeki sertlik değişimleri de saptanmıştır.

Korozyon deneyi uygulanmamış ferritik-ostenitik çifte ait bağlantıların mukavemet değerlerinin ferritik-ferritik bağlantılardan daha yüksek ve ostenitik-ostenitik bağlantılardan daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Kaynak süresinin 15 periyod olarak seçildiği deney süresinde korozyon deneyi uygulanmamış parçalarda en yüksek mukavemet değeri 8,5 kA akım şiddetinde, korozyon deneyi uygulanmış deney parçalarında ise en yüksek mukavemet değeri 6 kA'de elde edilmiştir. Bu seride korozyon deneyi, mukavemet değerlerinde % 50'ye varan azalmalar ortaya çıkartmıştır.

Kaynak süresi 25 periyod olan deney serisinde krom karbür çökmesinin 8,5 kA'den daha yüksek akım şiddetlerinde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu seride korozyon deneyi uygulanmış parçalarla, uygulanmamış parçalar arasındaki fark 15 periyodlukta daha azdır.

Bu çalışmanın sonucunda ferritik-ostenitik sacların nokta kaynağı bağlantılarında korozif ortam koşullarında dahi uygun parametreler seçilerek tatminkâr sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

## SUMMARY

### THE EFFECT OF WELDING PARAMETERS TO THE TENSILE-SHEAR STRENGTH AND INTERCRYSTALLINE CORROSION IN THE SPOT WELDING OF FERRITIC-AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Stainless steels are those alloy steels that have a normal chromium content of at least 12 percent with or without other alloy additions. The stainlessness and corrosion resistance of these alloy steels are attributed to the presence of a passive oxide film on the surface. When exposed to conditions that remove the passive oxide film, stainless steels are subject to corrosive attack. The rate at which a stainless steel develops a passive film in the atmosphere depends on its chromium content [1,2,16].

Stainless steels are commonly divided into the following general groups:

- (1) Chromium Martensitic
- (2) Chromium Ferritic
- (3) Austenitic
- (4) Precipitation-hardening

The first three groups are characterized by the predominant metallurgical phase present when the stainless steel is placed in service. The fourth group contains those stainless steels that can be strengthened by an aging heat treatment.

At present, fixing the ferritic and austenitic types of stainless steels by means of electric resistance spot welding is of great importance in the field of chemistry, food and automotive industry and aeronautics. Stainless steels are preferable because of its resistance to oxidation, sufficient mechanical properties and high resistance to corrosion in extremely high working temperatures. In the last years, stainless steels are widely used in the manufacture of kitchenware, in the field of medicine and architectural designs.

As it is widely used in various fields, scientific researches have been held to improve the spot welding of the best quality. In USA, after it was understood that

stainless steel could be used in the manufacture of airplanes and wagons, researches of all kinds have been supported [4,5].

Furthermore, it is also known that in the American automotive industry; and in the production of wagons and automobiles in Europe, especially in Germany; the use of stainless steel sheets have been increasing 5. All of these developments gave rise to studies on the spot welding of stainless steels. The welding current, welding time, electrode force and electrode form are the basic parameters of the electric resistance spot welding. Many researches were made especially on the effect of welding parameters on tensile-shear strength and corrosion behaviours of the junctions of austenitic chromium-nickel stainless steel of spot welding [5,31,34,35,36,37,38,39]. Limited research was made on the certain types of ferritic chromium stainless steel [27,31].

Researches have been concentrated on the Long-Life of automobiles so as to find a solution to the problem of corrosion in the automotive industry and to minimize to economical factors of production [6,7]. While examining the literature on this subject, it was seen that research is being made on the proto-types of automobiles where stainless steels are used for the first time in European automotive factories.

In all the applications until the present time, spot welding of austenitic stainless steels are widely used. However, as ferritic stainless steels are cheaper and nickel is rather a strategical material, and also the bright and decorative aspect of ferritic types made it possible to be used widely. But, due to the economical factors, partly ferritic and partly austenitic constructions are to be considered recently.

While examining the literature on this subject, no research has been found on the spot welding of ferritic-austenitic stainless steel. In order to fill this gap, it was thought helpful to make a study on the behaviour of ferritic-austenitic stainless steel under spot welding. Mainly, the welding current though the electric resistance spot welding parameters; and the effect of welding time on the tensile-shear strength of the junction are studied. And also the effect of parameters on intercrystalline corrosion is studied.

In this investigation, as test material stainless steel sheet 1 mm. thick X8 Cr 17 ferritic and X12 CrNi 18 8 austenitic stainless steels were used. A squaring sheare machine is used for shearing test pieces from stainless



steel sheets of 1 x 30 x 100 mm. Test pieces were cleaned with metil alcool and then rubbed with a piece of soft cloth. In determining the dimensions of the experiments, factors such as removing the effect on sides; making the fracture occur in the welding region during the tensile-shear test; minimizing the consumption of the materials were considered carefully. Pieces in the experiment were put together 30 mm. and spot-welded just at the middle. Electric current and time controlled and pneumatically pressures resistance spot welding machine which had a power of 120 kVA was used in the experiment.

Electrode force was determined by measuring the manometer which was placed between electrodes. The values of welding current were measured with an ampermeter which was installed at the bottom arm of the machine. This ampermeter was capable of measuring magnetic field and of a wide field.

The time of spot welding, squeeze and hold time were determined with an electronic equipment on the machine.

Pure copper electrodes which had cut-conic pressing surfaces with a diameter of 6 mm. were used in the experiment.

With respect to the development of the experiment, first ferritic-ferritic stainless steel pairs, then austenitic-austenitic stainless steel pairs, were welded. As a result of the preliminary studies, the electrode power was controlled at a constant 500 daN.

Welding times were changed as 5, 15 and 25 periods. Squeezing and holding times were constant and given as 25 periods.

Welding current was made to start 4,5 kA and increased to every other 1 kA and finished at 13,5 kA.

For each conditions, at least six pairs of pieces were welded together. And there of these pairs were also made tensile-shear tests. Strauss Corrosion Test was also applied to the ferritic-austenitic stainless steel pairs and after this test, they were applied the tensile-shear test. Macroscopical, microscopical and hardness controls were made to the nugget.

Tensile speed was taken as constant and was 7 mm per minute. Three different types of breaking were observed. These were seperation breaking, breaking as buttoning and breaking in the style of tearing as seen in ferritic-austenitic stainless steel pair.

In the corrosion test (TS 3157), Strauss Corrosion Solution was used. The preparation of the test solutions was used. The preparation of the test solutions was as follows: First 115 gr.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  made dissolved in 700 ml. of pure water. Then 115 ml.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,84$  gr/ml.) was added. After adding 57,5 gr. of electrolytic copper chips, the solution was increased to 1150 ml. by pure water. The pieces were boiled in this solution for 15 hours. Corrosion test was not applied and the ferritic-austenitic junctions which this test was applied was not only given a tensile-shear test but also examined metallografically. Adler solution was used. Later, Vickers Hardness Test was also applied to the weld nugget.

In this work, the strength and corrosion effect of electric resistance spot welding parameters in ferritic-austenitic stainless steels were examined. And in this research which was made to determine the suitable spot welding parameters, the results can be summarized as follows:

1) In fixing 1 mm. thick X8Cr17 ferritic stainless steel sheets; by using 25 periods of welding time and when the current is chosen between 8,5-9,5 kA, junctions are supplied with a high strength.

2) In the spot welding of X12CrNi 18 8 austenitic stainless steel sheets; under the same welding conditions, junctions of high strength are also available (welding time 25 periods and the current is 8,5 kA).

3) In the electric resistance spot welding of junction of ferritic-austenitic stainless steel pair, the welding time should be 8,5 kA if the pieces would not be in an acidic contact.

4) The tensile-shear strength of the junction of ferritic-austenitic stainless steel pair is said to be medium compared with the tensile-shear strength of only the ferritic or only the austenitic stainless steel.

5) Intercrystalline corrosion was determined to occur above certain welding conditions in ferritic-austenitic stainless steels. And also it was determined that this affected the strength of junctions in an undesirable way.

6) The values of strength in the junctions of spot welding of ferritic-austenitic stainless steel in 25 periods are said to be medium with regard to the junctions of 5 and 15 periods. But in an acidic conditions, 25 periods of welding time and a current in a range of 7,5-8,5 kA should be chosen.

7) In the spot welded junctions of ferritic-austenitic stainless steel, 9,5 kA should not exceeded. Because in high currents, the strength would decreases by means of excessive expulsion. Even in higher values, deep electrode traces and expulsion occur on the above surface of the sheet. These conditions would destroy the quality of the junction. The above given values of currents must not be exceeded.

8) In the constructions where electric resistance spot welding is used to fix ferritic-austenitic stainless steels; it would be better to use ferritic stainless steel sheets (X8 CrNb17) which are staibilized with Nb to prevent the existence of chrome carbide which causes intercrystalline corrosion.



## BÖLÜM: I. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler demir alaşımlarının korozyon dayanımlarını arttırmak için geliştirilmiş bir türüdür. Bu etki, esas alaşım elementi krom ile elde edilirse de, molibden ve nikel ilavesi ile arttırılmaktadır. Paslanmaz çeliğin, paslanmazlık özeliğine sahip olabilmesi için en az % 12 krom içermesi gerekmektedir. Elektrokimyasal gerilim serisine bakıldığında krom, demirden daha az asal bir metaldir. Çeliğin içerisindeki kromun koruyucu etkisi krom ile oksijen arasındaki affiniteden ileri gelmektedir. Krom içeren çelikler bir kromoksit tabakasıyla örtülü olmadıkları sürece korozyona ve özellikle oksidasyona karşı çok hassastırlar. Bu taktirde bunlara "aktif" denir; buna karşılık bu tabaka oluşma olanağı bulunduğunda alt tabaka metalini korozif ortamlara karşı korur dolayısı ile de çelikler "pasif" olurlar [ 1,2 ].

1900'lü yıllardan günümüze kadar araştırma konusu olan paslanmaz çeliklerin, bugün 170'den fazla türü çeşitli amaçlar için endüstride yaygın uygulama alanı bulmuştur [ 3 ]. Konstrüksiyon tekniğinde geçerli yegane birleştirme yöntemi olan kaynak yöntemlerindeki gelişmeler sayesinde paslanmaz çelikler ark kaynağı, gazaltı kaynak yöntemleri, tozaltı ve plazma kaynağı ile birleştirilmelerinin yanısıra elektron ışın ve laser ışın kaynağı gibi modern kaynak yöntemleri ile de günümüzde rahatlıkla kaynak edilmektedir.

Günümüz endüstrisinde yüksek sıcaklıkta servis koşullarında oksidasyona direnç, uygun mekanik özellikler ve yüksek korozyon dirençleri bakımından kimya, gıda, gemi inşası, otomotiv, mutfak ev eşyaları endüstrisinde, hatta tıp ve mimari dekorasyon işlerinde çok sık kullanılan paslanmaz çeliklerin elektrik direnç kaynağı yöntemleri ile birleştirilmesi de büyük önem taşımaktadır. ABD'de 1940

yıllarından bu yana vagon yapımı ve otomotiv endüstrisinde kullanılan paslanmaz çelik ince sacların direnç kaynaklı bağlantıları üzerine çalışmalar yapılmıştır [ 4 ]. 1960'lı yıllardan itibaren de Avrupa'da bilhassa Almanya'da deneme serileri şeklinde vagon yapımı ve otomotiv endüstrisinde direnç nokta kaynağı bağlantıları üzerine çalışmalar yapılmaktadır [ 5 ].

Otomotiv endüstrisinde korozyon problemlerine çözüm getirmek ve ekonomik faktörleri minimuma indirmek amacıyla başlayan çalışmalar uzun ömürlü otomobil üretimi üzerine yaygınlaştırılmıştır [ 6,7 ]. Gerçekten, otomobillerde ve diğer taşıtlarda yapıyı oluşturan karoseri ve diğer önemli parçaların havanın oksidasyonu ve korozyon nedeniyle çürüyerek devreden çıkması geleceğin taşıt araçlarında istenmeyen bir durum olarak ele alınmaktadır. Aslında, bu amaçla paslanmaz çeliklerin ferritik kromlu ve ostenitik krom-nikelli iki türünün elektrik direnç nokta kaynağı bağlantıları önem kazanmaktadır. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler parlak görünümlü olmaları, havanın oksidasyonuna ve gerilmeli korozyon çatlamasına karşı iyi direnç göstermelerinin yanısıra sadece krom içermeleri bakımından ostenitik krom-nikelli türlere nazaran daha da ucuz olmaktadır. Ostenitik tür çelikler ise nikel ve diğer alaşım elementlerinin ilâvesi ile asidik korozyona ve yüksek sıcaklıkta sürünmeye karşı mukavemetli olduklarından çok yaygın kullanılırlar, ancak daha pahalı çeliklerdir.

Taşıt endüstrisinde bu kadar yaygın kullanılan ferritik ve ostenitik paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağı bağlantıları da önem kazanmaktadır. Bu tür çelikler genellikle bir türün bir yerde kullanılması ve birbirine kaynak ile birleştirilmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Aslında ferritik çeliklerin dekoratif görünümleri ve ucuz olmaları yapının bir kısmının ferritik, bir kısmının da ostenitik paslanmaz çelik olabileceğini gündeme getirmiştir. Gerçekten, uzun ömürlü taşıtlarda böyle bağlantılara karoseri ve diğer parçalarda rastlanmaktadır.

Bilhassa ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağı bağlantılarının kaynak parametrelerinin, çekme-makaslama mukavemetine etkisi ve korozyon davranışları üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Ferritik kromlu çeliklerin ise bazı türleri üzerine sınırlı çalışmalar yapılmıştır [ 8 ].

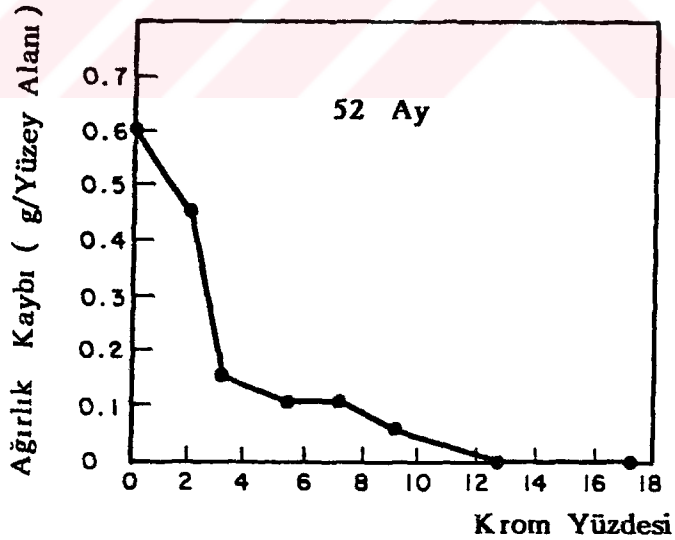
Ferritik ve ostenitik paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağı ile birleştirilmeleri üzerine çalışma yapılması boşluğundan yararlanılarak, endüstride yaygın olarak kullanılan X 12 CrNi 188 ve X8 Cr17 eliklerinin direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi halinde kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemetine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca böyle bir bağlantıda oluşabilecek korozyon problemlerine önceden çözüm getirebilmek amacıyla kaynak parametrelerinin ve korozyon ortamının etkileri de incelenmiştir.

## BÖLÜM: 2. PASLANMAZ ÇELİKLER HAKKINDA BİLGİ

### 2.1. GENEL

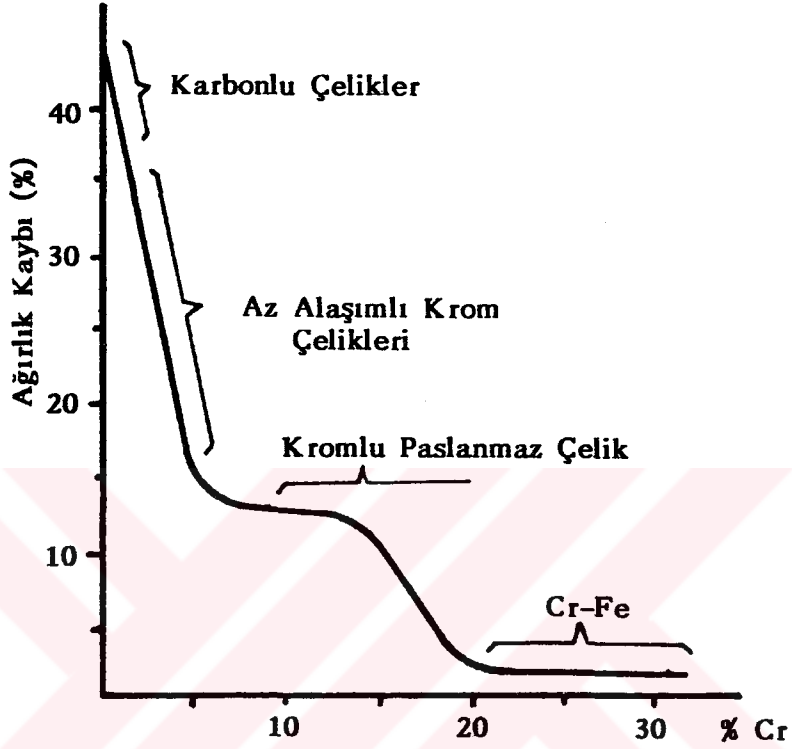
Mekanik özellikler açısından kütle çeliklerinden pek farklılık göstermeyen paslanmaz çeliklerin yüksek maliyetlerine karşın, uygulamada çok yaygın olarak kullanılmalılarının ana nedeni, yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır.

Çelikte korozyon ve oksidasyona karşı mukavemeti arttıran ve ilâvesi mutlak gereken alaşım elementi kromdur. Krom çeliği küçük taneli yapar, kritik soğuma hızını azaltır ve bundan dolayı çeliğe tamamen sertleştirici bir etki de bulunur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1.- Çeliğin atmosferik korozyonu üzerine kromun etkisi [ 3 ].

Paslanmaz çelikler, paslanmazlık özelliklerine sahip olabilmeleri için en az % 12 Cr içermek zorundadırlar; artan krom miktarına bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri de artmaktadır (Şekil 2.2).



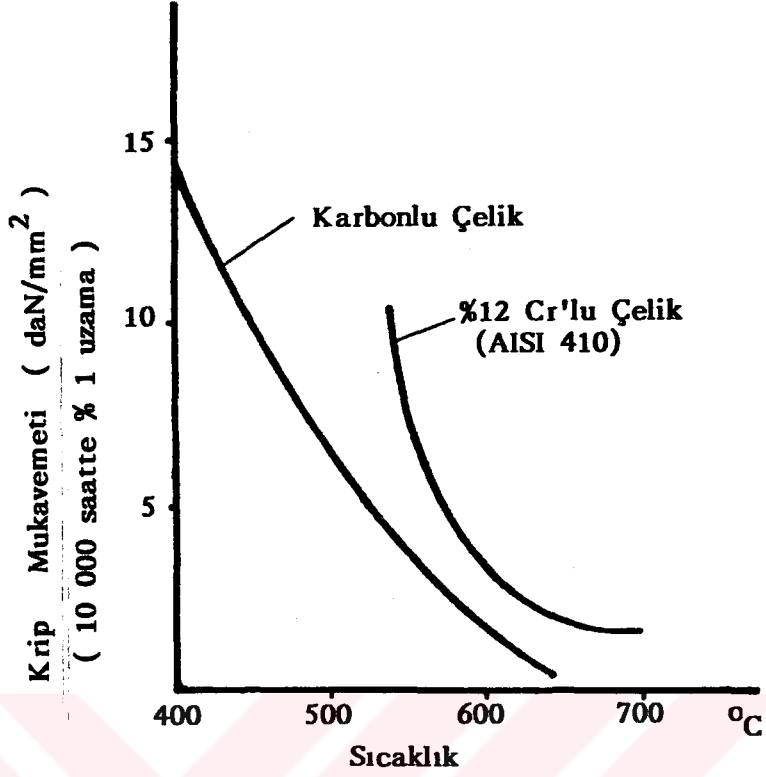
Şekil 2.2.- 1000<sup>o</sup> C'de 48 saat sonra çeşitli çeliklerin oksidasyon kayıpları [ 1].

Çeliğin içeriğindeki kromun koruyucu özeliği, krom ile oksijen arasındaki yüksek affiniteden ileri gelmektedir. Çeliğin içerdiği krom miktarı % 12 den fazla olunca çeliğin yüzeyinde ince bir krom oksit tabakası oluşur ve bu tabaka yüzeyi pasif hale getirir ve dış etkilere karşı korur.

Kromun, çeliğin mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda korumasına katkıda bulunması nedeni ile paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda sürünmeye dayanıklı malzemeler olarakta kullanılmaktadırlar [ 1 ] , (Şekil 2.3).

Günümüzde 170'den fazla paslanmaz çelik türü bulunmaktadır. Bunun yanısıra sürekli yeni alaşımlar geliştirilmekte





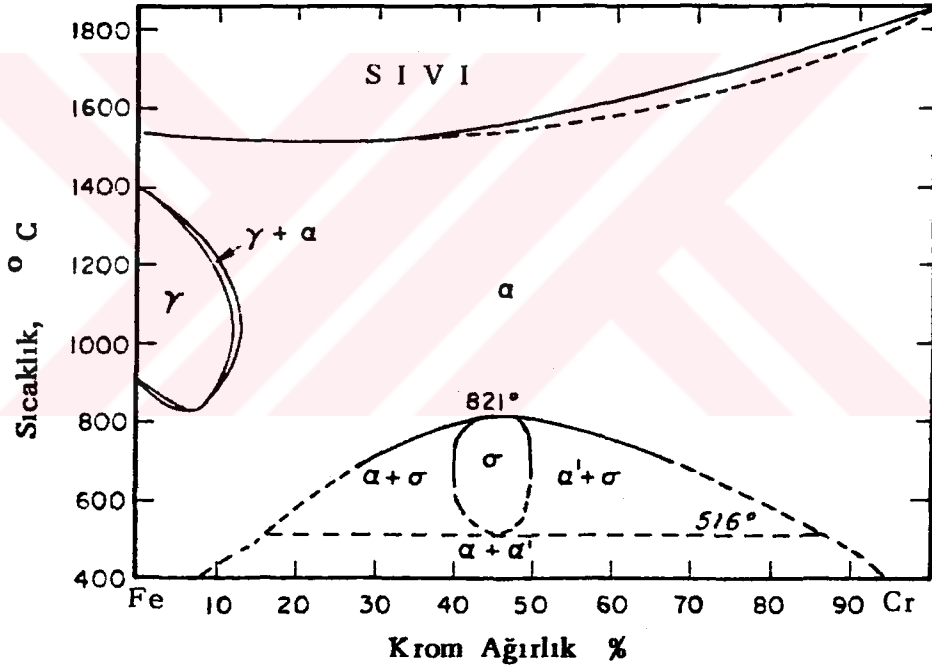
Şekil 2.3.- Çeliğin krip mukavemetinin sıcaklık ile değişimi [ 1].

ve eski alaşımlar da optimize edilmektedir. Bazı türlerde krom yüzdesi % 30'a ulaşmakta ve bazılarında da yeni elementler katılarak değişik özellikler elde edilmekte ve işlenebilirlik kolaylığı sağlanmaktadır. Örneğin; nikel ve molibden korozyon direncini, karbon-molibden-titanyum-alüminyum ve bakır mukavemeti arttırıcı yönde etkilemektedir; selenyum ve kükürt ise işleme kabiliyetini geliştirmektedir [3].

## 2.2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN FAZ DİYAGRAMLARI

Paslanmaz çeliklerin bünyesinde paslanmazlık özelliğini taşıyan alaşım elementlerinin yanısıra diğer bazı gereksinimleri karşılamak üzere isteyerek katılan veya kaçınılmaz olarak bulunan gayri safiyet elementleri ve karbon bulunmaktadır.

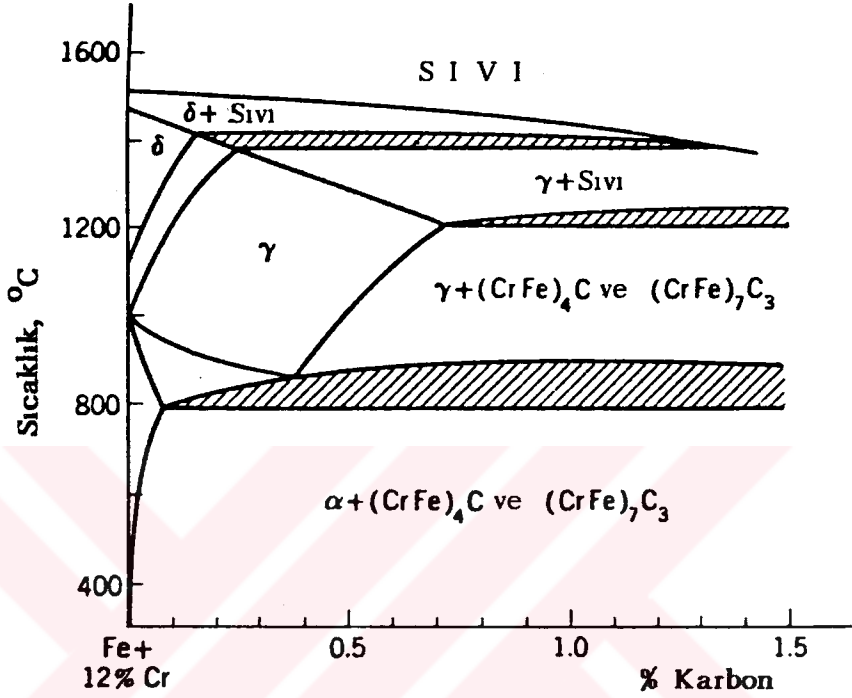
Şekil 2.4'de görülen Fe-Cr faz diyagramında KHM'li krom,  $\alpha$ -demirinin yüksek sıcaklıktaki  $\delta$ -fazına karşılık, KHM'li  $\alpha$ -demirini kararlı hale getirir ve  $\gamma$  kapalı alanını biçimlendirir. % 16'dan daha fazla krom içeren ikili alaşımelerde  $\gamma$ -katı eriyiği bulunmaz. Bu gerçekten hareket edilirse, bu alaşımlar demir olmayan metallere oluşturdukları katı eriyiklere benzerler; örneğin, soğuma ile sertleşme, ısıl işlem ile tane küçülmesi göstermezler. Dolayısı ile de, karbonsuz ikili Fe-Cr alaşımları tam çelik olarak değil ancak paslanmaz demir olarak adlandırılırlar. Paslanmaz çeliklerde önemli bir özellik olan  $\sigma$ -fazı, yüksek krom içeren ikili Fe-Cr alaşımlarının yapısında demir ve krom atomlarının birleşmesiyle oluşur [ 9 ].



Şekil 2.4.- İkili Fe-Cr faz diyagramı [ 3 ].

İkili demir-krom faz diyagramı,  $\gamma$ -katı eriyiği içerisinde çözünen ve  $\gamma$  alanının krom miktarını arttıran karbonun etkisini göstermez. Sertleştirilebilen Cr çelikleri için (Fe + % 12 Cr)-C içeren ikili gibi (Quasi-binary) faz diyag-

ramları kullanılır. Bu diyagramlar üçlü sistemden düzlem kesitler alınarak oluşturulurlar ve gerçek faz diyagramları değildirler. Bunlar, faz değişimleri ve iç yapıların saptanmasında kullanılırlar (Şekil 2.5).

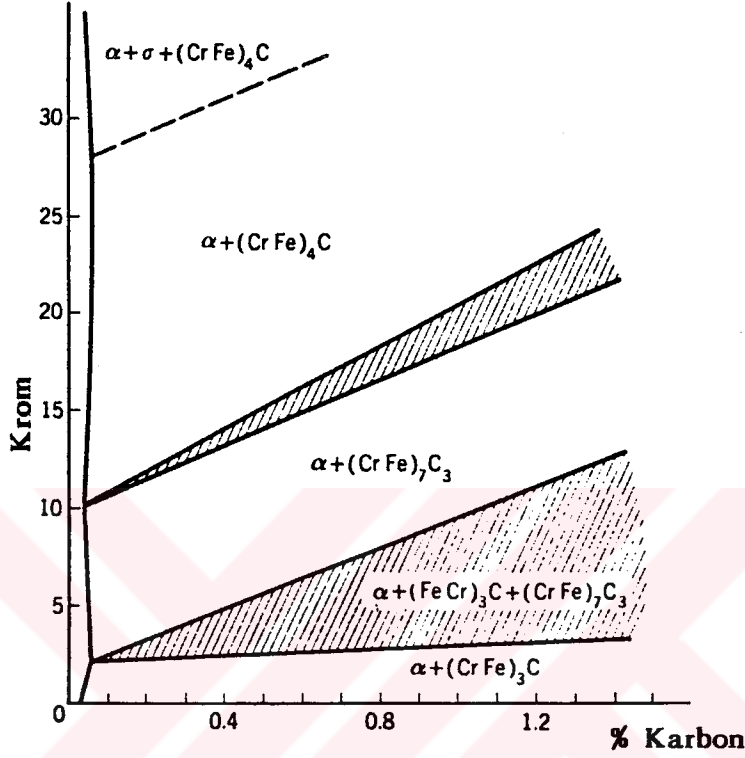


Şekil 2.5.- % 12 Cr içeren çelikler için kullanılan kesit diyagram [ 9].

Bu diyagramların, Fe-FeC denge diyagramlarıyla karşılaştırılması halinde, krom miktarının kritik sıcaklığın yükselmesine ve  $\gamma$  alanlarının daralmasına etkili olduğu görülür. Bununla beraber uygun karbon miktarı ile, bu tür çelikler de az karbonlu çeliklere uygulanabilen ısıl işlemler yolu ile martenzitik yapı elde edilebilir [10].

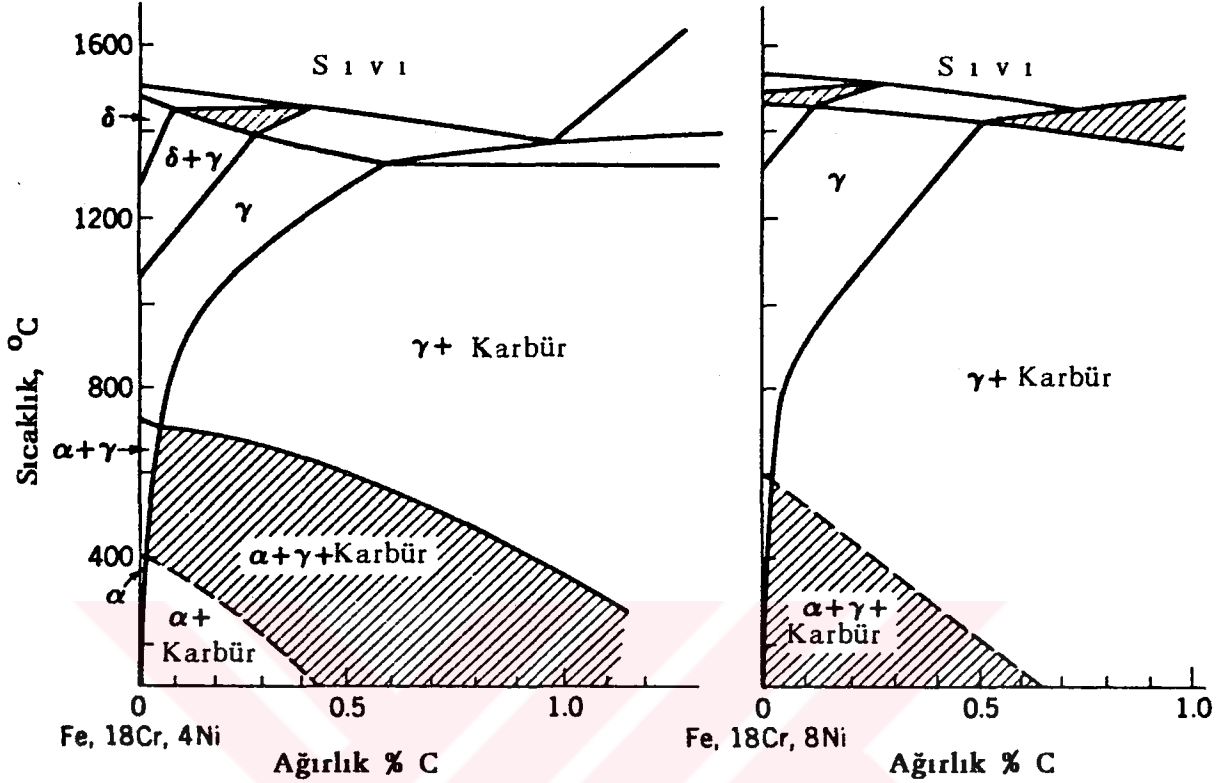
Normalize çeliklerde Cr, ferrit ve karbür fazında da bulunabilir. Karbür fazının aynı devrede yayılımı Cr ve C oranına bağlı olarak Şekil 2.6'da görülmektedir. Normal çeliklerde bulunan karbon bilindiği gibi  $Fe_3C$  şeklinde karbür oluşturur. Çeliğin bünyesine Cr'un ilave edilmesi sonucunda da karmaşık yapılarda karbürler oluşur; örneğin

$(\text{FeCr})_3\text{C}$  ,  $(\text{FeCr})_7\text{C}_3$  yüksek Cr içeren paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünde de yapısında % 70 Cr içeren  $(\text{FeCr})_4\text{C}$  karbürü bulunmaktadır [ 9 ].



Şekil 2.6.- Fe-Cr-C alaşımlarında Cr ve C bileşiminin etkisi ve yavaş soğuma halinde bulunan fazlar [ 9 ].

Demire, KYM'li nikel ilave edilmesi  $A_3$  sıcaklığını düşürür ve KYM'li ostenit oluşturur. % 30 veya daha fazla miktarlarda nikel içeren Fe-Ni alaşımları bütün sıcaklıklarda ostenitiktirler. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'deki diyagramlarda Fe-Cr ikili alaşımlarında artan Ni'in etkisi görülmektedir. Bu diyagramlar daha çok Şekil 2.6'ya benzerler ve  $(\text{Fe} + \% 18 \text{Cr} + \% 4 \text{Ni})-\text{C}$  ve  $(\text{Fe} + \% 18 \text{Cr} + \% 8 \text{Ni})-\text{C}$  alaşımlarının ikili gibi (Quasi-binary) diyagramlarıdır [9,10].



Şekil 27.- Fe + %18 Cr + %4 Ni  
içeren alaşımın ikili  
gibi diyagramı

Şekil 28.- Fe + %18 Cr + %8 Ni  
içeren alaşımın ikili  
gibi diyagramı [ 9].

### 2.3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Endüstride çok kullanılan paslanmaz çelik türleri üç ana grupta toplanmaktadırlar.

- 1- Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çelikler
- 2- Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler
- 3- Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çelikler.

Tablo 2.1'de en çok kullanılan paslanmaz çelik türleri bileşim miktarlarına göre sınıflandırılmıştır.

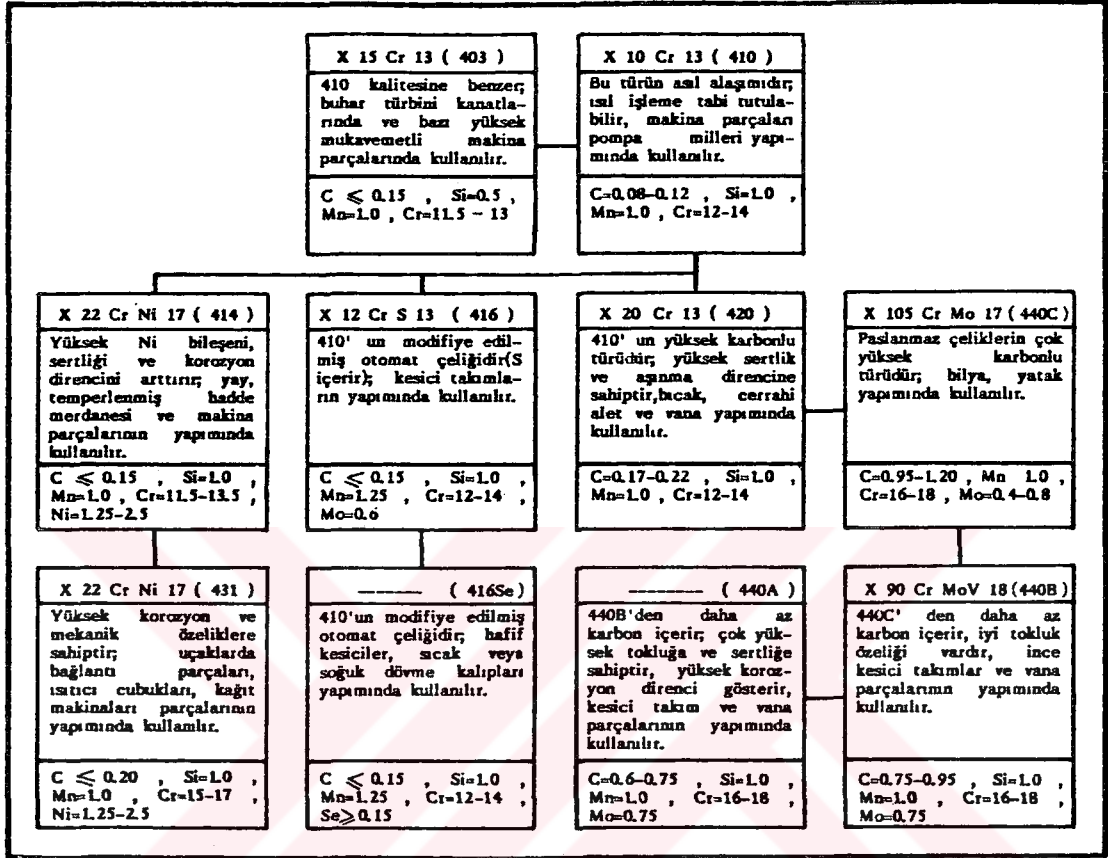
Tablo 2.1.- Endüstride çok kullanılan paslanmaz çelik türleri [ 11 ].

AISI	Tanım DIN 17006 (TSE)	C ≤	Si	Bileşim, %		Mo	Ni	Diğer
				Mn	Cr			
<b>Martenzitik Paslanmaz Çelikler</b>								
403	X 15 Cr 13	0,15	0,5	1,0	11,5-13,0	-	-	-
410	X 10 Cr 13	0,15	1,0	1,0	11,5-13,5	-	-	-
414	X 22 CrNi 17	0,15	1,0	1,0	11,5-13,5	-	1,25-2,5	-
416	X 12 CrS 13	0,15	1,0	1,25	12,0-14,0	0,6	-	-
416 Se	-	0,15	1,0	1,25	12,0-14,0	-	-	≤ 0,15 Se
420	X 20 Cr 13	≥ 0,15	1,0	1,0	12,0-14,0	-	-	-
431	X 22 CrNi 17	0,20	1,0	1,0	15,0-17,0	-	1,25-2,5	-
440 A	-	0,6 - 0,75	1,0	1,0	16,0-18,0	≤ 0,75	-	-
440 B	X 90 CrMoV 18	0,75-0,95	1,0	1,0	16,0-18,0	≤ 0,75	-	-
440 C	X 105 CrMo 17	0,95-1,2	1,0	1,0	16,0-18,0	≤ 0,75	-	-
<b>Ferritik Paslanmaz Çelikler</b>								
405	X 7 CrAl 13	0,08	1,0	1,0	11,5-14,5	-	-	0,1-0,3 Al
430	X 8 Cr 17	0,12	1,0	1,0	16-18	-	-	-
430 F	X 12 CrMoS 17	0,12	1,0	1,25	16-18	≤ 0,6	-	-
446	-	0,20	1,0	1,5	23-27	-	-	≤ 0,25 N
502	-	0,10	1,0	1,0	5,0	0,5	-	-
<b>Ostenitik Paslanmaz Çelikler</b>								
301	X 12 CrNi 17 7	0,15	1,0	2,0	16-18	-	6-8	-
302	X 12 CrNi 18 8	0,15	1,0	2,0	17-19	-	8-10	-
302 B	-	0,15	2-3	2,0	17-19	-	8-10	-
303	X 12 CrNiS 18 8	0,15	1,0	2,0	17-19	≤ 0,6	8-10	Zr ≤ 0,6
304	X 5 CrNi 18 9	0,08	1,0	2,0	18-20	-	8-12	-
304 L	X 2 CrNi 18 9	0,03	1,0	2,0	18-20	-	8-12	-
309	X 15 CrNiSi 20 12	0,20	1,0	2,0	22-24	-	12-15	-
309 S	-	0,08	1,0	2,0	22-24	-	12-15	-
310	X 5 CrNiSi 25 20	0,25	1,5	2,0	24-26	-	19-22	-
310 S	-	0,08	1,5	2,0	24-26	-	19-22	-
314	X 15 CrNiSi 25 20	0,25	1,5-3	2,0	23-26	-	19-22	-
316	X 5 CrNiMo 18 12	0,08	1,0	2,0	16-18	2-3	10-14	-
316 L	X 2 CrNiMo 18 13	0,03	1,0	2,0	16-18	2-3	10-14	-
317	X 5 CrNiMo 17 13	0,08	1,0	2,0	18-20	3-4	11-15	-
321	X 10 CrNiTi 18 9	0,08	1,0	2,0	17-19	-	9-12	Ti : 5x C (min)
347	X 10 CrNiNb 18 9	0,08	1,0	2,0	16-18,5	3-4	9-13	Nb-Ta : 10x C (min)

## 2.3.1. MARTENZİTİK KROMLU PASLANMAZ ÇELİKLER

Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler % 11,5 - % 18 Cr içeren normal karbonlu çeliklerdir. Bu grup çeliklere örnek kaliteler olarak XCr13, X10Cr13, X12CrS13, X20Cr13, X90CrMoV18 çelikleri gösterilebilir. Martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin uygulama alanları ve özelliklerinden bir bölümü

Şekil 2.9'da verilmiştir. X10Cr13 ve X12CrS13 çelikleri bu grubun en yaygın kullanılan türleridir ve türbin kanatları ile korozyon dirençli döküm parçalarda kullanılır.



Şekil 2.9.- Martenzitik paslanmaz çelikler ve uygulama alanları [ 10].

Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler magnetiktirler, zorluk göstermeksizin soğuk haddelenebilirler hatta az karbonlu türleri rahatlıkla işlenebilirler. Bu tür çelikler çok iyi tokluğa sahiptirler, hava ve kimyasal etkilere karşı iyi direnç gösterirler, kolaylıkla sıcak şekillendirilebilirler. Ostenitik ve ferritik paslanmaz çelikler kadar olmasa da arzu edilen sıcaklıklardan itibaren sertleştirildikten sonra çok iyi korozyon direncine sahip olurlar.

Bu tür paslanmaz çelikler normal karbonlu çeliklerden daha zor işlenirler. X12CrS13 çeliğinde az miktarda kükürt ve Amerikan Standardında 416Se olarak belirlenen çelikte de az miktarda selenyum işlenebilme kabiliyetini geliştirir.

Selenyumun kullanılması korozyon direnci üzerine kükürttten daha az etkilidir. Yüksek karbonlu türlerde (örneğin, X90CrMoV18, X105CrMo17), karbon % 0,60 - 1,20 arasında ve krom ise % 16-18 arasında bulunmaktadır, bu türler yüksek korozyon direncine yüksek mukavemete ve aşınma direncine sahiptirler. Dolayısıyla, bu türlerden kesici takımların, vanaların ve yatakların imalatında yararlanılır [10].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hızlarının çok yavaş olması, yavaş soğuma halinde, örneğin sakin havada soğuma, martenzit oluşumuna neden olur. Bu tür çeliklerin, martenzitik halde, sertleşmiş vaziyette korozyon dirençleri gayet iyidir. 815°C'ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler, yalnız uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalırlarsa hafif korozyon başlangıcı olur ki bu bakımdan, endüstride sürekli olarak 700°C nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılamazlar. Bu türün az karbon içerenleri pelton türbini çark ve kanatlarında, buhar türbinlerinde kullanılır.

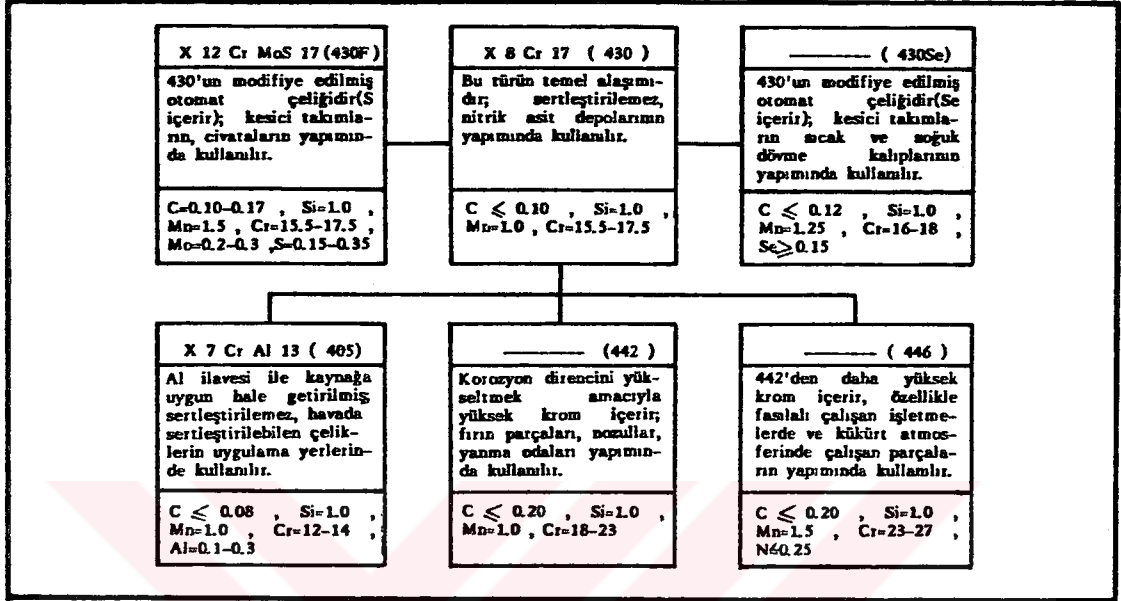
Bu tür çeliklere ihtiyaçlar çerçevesinde, 650°C de gerilme giderme, 925°C'de de yumuşatma tavlama uygulanabilir [1].

### 2.3.2. FERRİTİK KROMLU PASLANMAZ ÇELİKLER

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler bileşimlerinde % 16-30 Cr ve % 0.05-0,25 C içerirler (Şekil 2.10). Fazla miktarda krom ve az miktarda karbon içerdiklerinden, yüksek sıcaklıklarda veya sıvı halden soğutulmaları esnasında hiç veya çok az ostenit meydana gelir, dolayısı ile  $\gamma \rightarrow \alpha$  dönüşmesi yoktur. İç yapıları normal olarak ferrit ve karbürlerden oluşmaktadır. Bu çeliklerin en önemli özellikleri katı halde bir faz dönüşmesi meydana gelmediğinden su verme yolu ile sertleştirilememeleri ve yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksidasyon dirençlerinin yüksek olmasıdır. Bu çeliklerin sertleştirilebilmeleri ancak soğuk şekillendirme ile mümkündür; az miktarda soğuk şekil değiştirmenin dahi meydana getirdiği sertlik çeliğin şekil almasını zorlaştırdığından



kullanma alanları azdır. Soğuk şekil değiştirme sertleştirilmesini ortadan kaldırmak için bu tür çelikler  $750^{\circ}\text{C}$  ilâ  $800^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarında yumuşatma tavlmasına tabi tutulur [ 1,3,8,12 ].



Şekil 2.10.- Ferritik paslanmaz çelikler ve uygulama alanları [ 10 ].

Bu tür çelikler magnetiktirler. Soğuk veya sıcak haddelenebilirler, ancak maksimum süneklik, tokluk ve korozyon direnci normalize hallerinde daha iyi görülür. Bu tür çeliklerin mukavemeti karbonlu çeliklerden yaklaşık % 50 daha yüksektir. Korozyon dirençleri ve işlenme kabiliyetleri martenzitik paslanmaz çeliklerden çok daha iyidir. Ferritik paslanmaz çelikler tokluğun en önemli özellik olarak alınmadığı ve çok yüksek korozyon direnci istenmeyen uygulamalar için seçilirler. Klorlü ortamlardan kaynaklanan gerilmeli korozyon çatlamasına ve oksidasyona karşı dirençlerinin yüksek olmasının yanısıra kolaylıkla soğuk şekillendirildiklerinden otomotiv endüstrisinde türlü ekzost boruları, kimya, özellikle petro kimya endüstrisinde kazanlar v.b. ısı iletimi uygulama yerlerinde, mutfak ev eşyalarında ve mimari dekorasyon işlerinde çok yaygın olarak kullanılırlar [ 9,10,13].

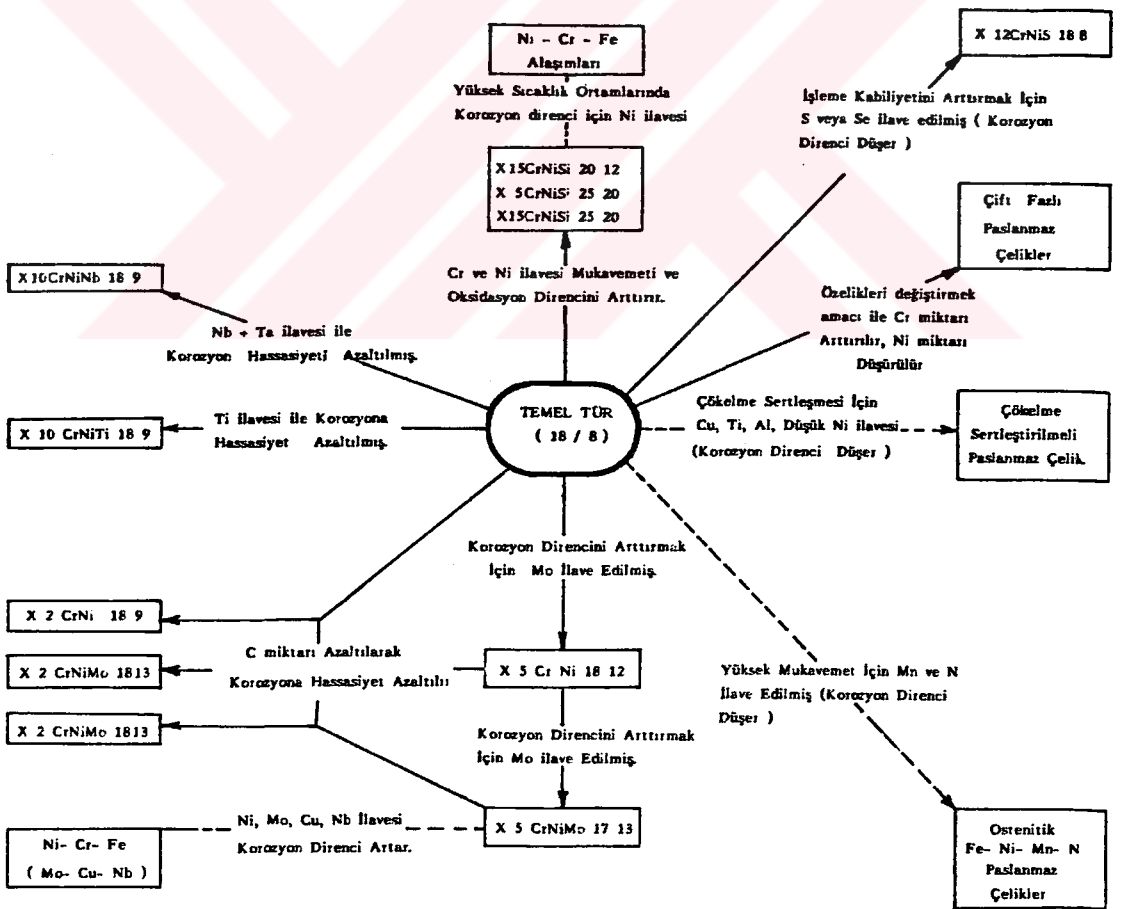
Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin yaygın olarak kullanılan türleri X7CrAl3, X8Cr17, X12CrMoS17 çelikleridir. X7CrAl13 ferritik paslanmaz çeliğinde % 0,1-0,3 oranlarında alüminyum ilavesi ile ferritik yapı dengelenerek az krom bileşimine karşın martenzit oluşumu önlenmiştir [ 9 ]. X8Cr17 çeliği % 14-18 krom içerir, krom miktarının değişimi kullanıcıya çeşitli özellikleri seçme olanağı sağlar. Krom miktarı azaldığında daha iyi kaynak kabiliyeti, sertlik, mukavemet ve tokluk elde edilir fakat korozyon direnci azalır. Krom miktarı arttırıldığında ise korozyon direnci artar fakat bu seferde mekanik özelliklerde azalmalar ortaya çıkar, dolayısı ile krom miktarı % 16-18 arasında sınırlandırılır. Bu çeliğin titanyum ve niyobyum ile stabilize edilmiş türleri kaynak edildiklerinde fazla derişik korozif çözeltilerin bulunmadığı ortamlarda yüksek korozyonu direnci gösterirler. X12CrMoS17 çeliğinin, kükürt ilavesi ile işlenebilme kabiliyeti arttırılarak, paslanmaz civataların ve kesici takımların imalinde kullanılması sağlanmıştır. Ferritik paslanmaz çelikler içinde en yüksek krom içeren tür Amerikan Standardlarına göre tanımlanan 446 çeliğidir. Bu çelik çok yüksek korozyon ve oksidasyon direncine sahiptir. Bilhassa kükürt atmosferinde çalışan makina parçalarında kullanılır [ 3,9,10 ].

### 2.3.3. OSTENİTİK KROM-NİKELLİ PASLANMAZ ÇELİKLER

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler, bileşimlerinde % 12-25 Cr ve % 8-25 Ni içerirler. Nikel kuvvetli ostenit yapıcı element olduğundan, bu çeliklerde katılaşma esnasında ortaya çıkan ostenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklık derecelerinde bile dönüşmeden kalır. Soğuma esnasında  $\gamma \rightarrow \alpha$  dönüşümü olmadığından bu tür paslanmaz çelikler de su verme yoluyla sertleştirilemezler. Bu grup paslanmaz çelikler içinde en fazla tanınan ve yaygın uygulama alanı bulan, bileşiminde % 18 Cr ve % 8 Ni içeren 18/8 çeliğidir. Antimagnetik olan bu tür paslanmaz çeliklere korozyon direncini arttırmak için katılan alaşım elementleri ve etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Çukur ve çatlaklardaki korozyonu önlemek için molibden ilavesi,
- Kaynak edilmiş parçalarda tanelerarası korozyonu önlemek için karbon miktarının azaltılması veya titanyum, niyobyum ve tantalum gibi stabilizasyon elementleri ilavesi,
- Yüksek sıcaklıklarda korozyon direncini yükseltmek için krom ve nikel miktarının arttırılması,
- Gerilmeli korozyonu önlemek için nikel miktarının arttırılması,

Temel tür olarak alınan 18/8 çeliğinden yola çıkılarak geliştirilen farklı bileşimlere sahip çeliklerin basitleştirilmiş fakat faydalı bir şeması Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11.- Temel tür 18 / 8 paslanmaz çeliğine katılan alaşım elementleri ile üretilen türler [ 3 ].

X5CrNi18 9 paslanmaz çeliği, korozyon direnci ve iyi şekillendirilebilme bakımından çok yaygın kullanılan bir çeliktir. Bu tür çeliğin şekil değiştirme sertleşmesi de artırılmış olup yüksek mukavemet gerektiren makina parçalarında oldukça sık kullanılır. X12CrNi 18 8 çeliği yüksek karbonlu olup soğuk şekil değiştirme sertleşmesi ile yüksek mukavemete ulaşır. X12CrNiS 18 8 çeliği, kükürt ilavesi ile kolay işleme özeliği kazandırılarak kesici takımların, paslanmaz civataların, mil ve vanaların imalinde kullanılır.

X2CrNi18 9 çeliği, X5CrNi18 9 çeliğinin karbon miktarı azaltılmış tipidir. Çok düşük karbonlu (ELC) paslanmaz çelikler olarak tanınan bu çeliklerin geliştirilmesinin yegane amacı kaynak esnasında ısının tesiri altındaki bölgede oluşabilen ve tanelerarası korozyona neden olan karbür çökmesinin önlemektir.

X15CrNiSi 2012, X5CrNiSi 2520, X15CrNiSi 2520 çelikleri yüksek sıcaklıklarda korozyon ve çatlamaya karşı nikel ve krom miktarları yüksek olan çeliklerdir, yanma odalarında, kaynak teli ve elektrodu olarak kullanılmaktadır.

Molibden içeren X5CrNiMo 1812, X5CrNiMo 1713 çelikleri denizcilik ve kimya endüstrisinde X5CrNi 18 9 çeliğinden daha yaygın olarak kullanılırlar. X2CrNiMo 1813 çeliği de düşük karbon bileşimiyle tanelerarası korozyon problemini önlemek amacıyla üretilmiştir.

X10CrNiTi 18 9 ve X10CrNiNb 189 çelikleri titanyum ve niyobyum ile stabilize edilmişlerdir. Bundan amaç, yüksek sıcaklıklarda kaynak bağlantılarındaki tanelerarası korozyonu önlemektir [ 1,3,8,10,12 ].

#### 2.4. PASLANMAZ ÇELİKLERİN FİZİKSEL ÖZELİKLERİ

Paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerini, korozyon dirençlerini, işlenebilme özelliklerini ve uygulama alanlarını iyileştirmek amacıyla katılan alaşım elementleri bu çeliklerin fiziksel özelliklerini de önemli ölçüde etkiler. Özellikle kaynak kabiliyeti açısından büyük bir önem taşıyan bu özelliklerin, az karbonlu çeliklerle karşılaştırılması, Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2.- Az karbonlu çelik ile, paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması [ 14 ].

Özelik	Birim	St 37.3	X 8 Cr 17	X 5 Cr Ni 18 9
Isı İletkenliği	(cmsK)	0.50	0.25	0.15
Isıl Uzama katsayısı	K <sup>-1</sup>	12 . 10 <sup>-6</sup>	11 . 10 <sup>-6</sup>	16 . 10 <sup>-6</sup>
Elektrik İlet. direnci	$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	0. 107	0. 476	0. 769

Kromlu çeliklerin ısı iletme kabiyetleri, alaşimsız çeliklerin yaklaşık yarısı, ostenitik krom-nikelli çeliklerin ise üçte biri kadardır. Bu durum kaynak bölgesinde ısının uzun süre kalacağını gösterir ki bu da bazı problemlerin ortaya çıkmasına neden olur.

Kromlu paslanmaz çelikler genellikle alaşimsız çelikler ile aynı ısıl uzama katsayısına sahiptirler. Ostenitik krom-nikelli çeliklerde ise bu değer karbonlu çeliklerden % 50 daha fazladır. Bu durum sadece kaynakçıyı değil, konstrüktörü de yakından ilgilendirir.

Alaşimsız çelikler düşük elektrik iletme direncine sahiptirler. Paslanmaz çeliklerde ise bu değer yaklaşık 4-7 kat daha fazladır. Bu nedenle, paslanmaz çelik elektrodlar daha kısa olarak imal edilirler ve normal elektrodlara nazaran % 25 daha az bir akım şiddetiyle yüklenirler [ 1,8,12,14 ].

## BÖLÜM:3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

### 3.1. GENEL

Günümüzde çok yaygın olarak uygulama alanı bulan paslanmaz çelikler, değişik ark kaynağı yöntemleri ile kaynak edilebilirler; ancak paslanmaz çeliklerin farklı bileşimlerinin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemesi kaynak kabiliyetleri açısından kaynak problemlerini de beraberinde getirmektedir.

Paslanmaz çeliklerin kaynağında yaygın olarak, gazaltı kaynak yöntemleri, tozaltı kaynak yöntemleri hatta plazma ark kaynağı kullanılır. Özlü elektrodlar ile kaynak ise henüz dar bir alanda uygulanabilmektedir. Değişik ark kaynağı yöntemleri bütün paslanmaz çeliklerin kaynağı için uygun olmayabilir, zira çeliklerin bileşimlerindeki değişimler ve üretimlerinden gelen farklılıklar büyük rol oynar. Bundan dolayı sorunsuz kaynak edilebilmeleri için bir seri tetbire başvurulmak zorunluluğu vardır [15].

### 3.2. MARTENZİTİK KROMLU PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

Bu tür paslanmaz çeliklerde, çok yavaş bir soğuma halinde bile en kalın kesitlerde dahi martenzit olduğundan, ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) hızlı soğumanın oluşturduğu gerilmeler kaynak kabiliyetini büyük ölçüde etkiler. Az karbon içeren martenzitik paslanmaz çelikler, bir takım önlemler alınarak kaynak edilebilirler, yüksek karbon içerenler ise mümkün olabildiği kadar kaynak edilmemelidirler.

Az karbonlu martenzitik paslanmaz çeliklerde, martenzit nisbeten daha az serttir ve dolayısı ile çatlamaya

karşı eğilimleri daha zayıftır. Normal olarak bu çelikler kaynaktan önce bir ön tavlamaya tabi tutulurlar, burada uygulanan ön tavlama yüksek karbon eşdeğerli çelikler halinde olduğu gibi ITAB'de bir sertlik azalması oluşturmaz, sadece oluşan ısı gerilmeleri azalttığından çatlama olasılığını azaltır. Bu tür çelikler için uygulanan ön tav sıcaklığı 200-400°C arasındadır. Kaynak bölgesinde daha tok bir yapı elde etmek ve servis esnasında parçalarda ortaya çıkabilecek çatlama olasılığını ortadan kaldırmak amacı ile parçalar mümkün olan hallerde, hemen kaynaktan sonra, parça soğumadan bir gerilme giderme tavlamasına tabi tutulmalıdır. En iyi süneklik ve tokluk parçanın 800-820°C'de dört saat süre ile tavlansın ve çok yavaş bir şekilde tercihan fırında soğutulması sonucunda elde edilir.

Martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak dikişinin mukavemetinin çok önemli olmadığı ve parçanın da kükürtlü bir ortamda bulunmadığı hallerde ostenitik kaynak metali kullanılabilir. Ostenitik kaynak metalinin akma sınırının düşük olması kaynaktan sonra oluşan kendini çekme gerilmelerinin oluşturduğu çatlama olasılığını ortadan kaldırır. Parçanın kükürtlü bir ortamda çalışacağı hallerde ferritik kaynak metali veya esas metalden alınacak parçalar ile kaynak yapılmalıdır.

Yüksek karbon içeren (% 0.5-1,2) martenzitik paslanmaz çelikler, alınacak bütün önlemlere rağmen sıhhatli bir şekilde kaynak edilemezler [ 12,14,15,16,17,18 ].

### 3.3. FERRİTİK KROMLU PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

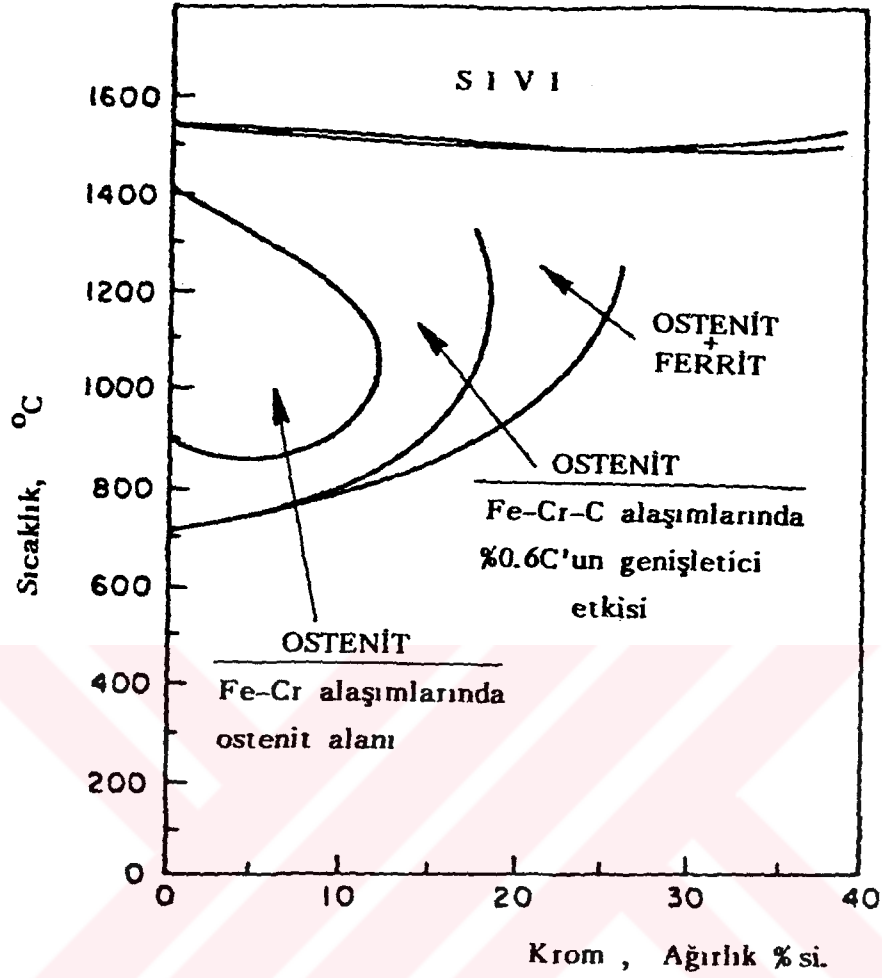
Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan en önemli sorun, bu malzemenin 1150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tane irileşmesine karşı olan aşırı eğilimidir. Kaynak esnasında ITAB'nin bir bölümü 1150°C'nin üzerindeki sıcaklıklara kadar ısınır ve dolayısı ile bu bölgede aşırı bir tane irileşmesi meydana gelir. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde katı halde  $\gamma/\alpha$  dönüşmesi olmadığından ısı işlem yardımı ile taneleri küçültmenin

olanağı yoktur. Aslında, ferritik paslanmaz çelikler çok ince taneli sünek bir yapıya sahiptirler. İri taneli bir yapı oluştuğunda gevrekleşirler, çentik-darbe mukavemetleri azalır ve geçiş sıcaklığı yükselir. Tane irileşmesine mani olabilmek için, ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin bileşimine bir miktar ( $N \leq 0,25$ ) azot ilave edilir (AISI 446). Bu tür paslanmaz çelikler kaynağa daha uygun bir durum gösterirler. Elektroda ilave edilen bir miktar azot da kaynak metalinin katılaşması sonucunda ince taneli olmasına yardımcı olur. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler daima bir miktar da karbon içerirler. Karbonun ferrit içinde çözülme miktarı çok az olduğundan, karbon tüm yapı içinde ince bir şekilde dağılmış karbürler halinde bulunur. Kaynak esnasında ITAB'de karbürlerin bir kısmı çözülür ve yerel ostenit bölgeleri meydana getirir. Şekil 3.1, Fe-Cr denge diyagramına bağlantılı olarak, çeliğin yapısında mevcut karbonun ostenit alanını genişletici etkisini şematik olarak göstermektedir. Buradan görüldüğü üzere karbon miktarının biraz artması ostenit alanını genişleterek yüksek miktarda krom içeren çeliklerde de ostenit oluşumuna olanak verir [1,12,15,18].

Oluşan ostenit, irileşen ferrit tanelerinin çevresinde bir ağ şeklinde yer alır; soğuma esnasında bu ostenit martenzite dönüşür, dolayısı ile ITAB'de iri ferrit taneleri etrafında martenzit ağından oluşmuş bir yapı ortaya çıkar. Bu yapının sertliğine martenzit bir etkide bulunmaz, zira miktarı çok azdır, ancak yapıyı kırılğan hale getirir [15,16,17,18], (Şekil: 3.2).

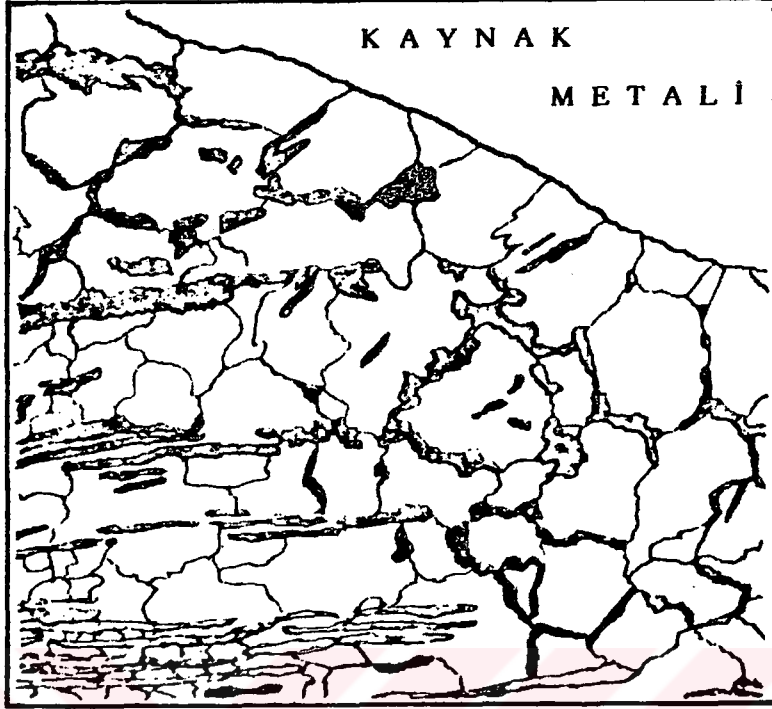
Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan bir tehlike de, ITAB'de oluşacak tanelerarası korozyona karşı aşırı hassasiyettir, özellikle stabilize edilmiş % 17 Cr'lu türlerde karşılaşılan önemli bir olaydır [16,18]. Ostenitik krom-nikellipaslanmaz çeliklerin kaynağında geniş olarak ele alınacak olan bu olay, bu tür çeliklerin aksine ferritik kromlu çeliklerde  $900^{\circ}\text{C}$  nin üzerindeki sıcaklıklardan hızlı soğuma halinde bile ortaya çıkmaktadır,





Şekil 3.1.- Fe-Cr alaşımlarında karbon miktarının ostenit alanını genişletici etkisi [ 3].

zira ostenitik karışık kristaller ile karşılaştırıldığında ferritik yapı içinde krom karbür çökmesi daha yüksek oranlarındadır. Bu tür çelikler kaynak edildiklerinde dikişe komşu bölgede tanelerarası korozyona karşı hassaslaşırlar, çünkü ısıl etkilere uzun süre maruz kalmaktadırlar. Krom karbürler önce çözülür, soğuma esnasında yer alabildiğince çabuk gerisin geriye tane sınırlarına partiler halinde çökerler. Stabilize edilmemiş % 17 Cr'lu çeliklerin kullanıldığı, kaynaklı bağlantılar kaynaktan hemen sonra 700-800°C de bir tavlama işlemine tabi tutularak tanelerarası korozyona karşı dirençli hale getirilebilirler [19,20, 21]. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde tanelerarası



Şekil 3.2.- % 17 Cr'lu ferritik paslanmaz çelikte ITAB' de tane irileşmesi ve tanelerarası martenzit ağı[17].

korozyona hassasiyeti önlemek amacıyla karbon miktarı % 0.03'ün altına düşürülerek ve çeliğin bünyesine bir takım alaşım elementleri katılarak tane sınırlarında krom karbür çökmesi problemi halledilmiş ancak bu yeni bileşimler de de kaynak esnasında  $\sigma$ -fazı gevrekleşmesi olduğundan bu yöntem geçici bir çözüm olarak kalmıştır. Paslanmaz çelik üreticileri bu yeni türlerin kaynağı için yeni kaynak yöntemlerinin kullanılmasını önermektedirler[16]. Eğer ferritik paslanmaz çelikler titanyum veya niyobyum ile stabilize edilmişlerse, kaynaklı bağlantıları tanelerarası korozyona karşı, ısıl işlem yapılmaksızın, dirençli olacaktır [19,20,21].

Bu tür çeliklerin kaynağında ortaya çıkan önemli iki sorunda  $\sigma$ -fazı oluşumu ve  $475^{\circ}\text{C}$  gevrekleşmesidir.  $\sigma$ -fazı

sert, gevrek bir metallerarası bileşiktir (800-1000 HV). Bu fazın oluşumunda yüksek krom miktarı, molibden ve soğuk şekillendirme büyük rol oynar. Bu faz sıcaklığın 600-900°C arasında tutulması sonucunda ortaya çıkar; bileşimi yaklaşık olarak % 52 Cr ve % 48 Fe'den oluşmaktadır [22].  $\sigma$ -fazı, 900°C'nin üzerinde bir sıcaklığa ısıtılmakla ve hemen soğutulmakla önlenemez. Ancak bu tür paslanmaz çeliklerde 1000°C'ye ısıtmak sertlik ve işlenebilirlik kabiliyetlerini olumsuz yönde etkiler [3]. Bu bakımdan bu tür çeliklere hiç bir zaman 400°C'nin üzerinde bir ön tavlama uygulanmamalıdır [12....22].

% 17 - 26 Cr içeren çelikler 450-525°C'a ısıtıldıklarında 475°C gevrekleşmesi adı verilen bir sertleşme ve gevrekleşme ortaya çıkar. Kaynaklı bağlantılarda nitrik asite karşı korozyon hassasiyetini etkileyen bu gevrekleşme, 700-800°C de kısa süreli bir tavlama ve bunu takip eden suya soğutma ile giderilebilir [22,23].

Yüksek miktarlarda krom ve karbon içeren ferritik kromlu paslanmaz çeliklere, ITAB'nin özelliklerinin iyileştirilmesi bakımından 200°C'lik bir ön tavlama uygulanabilir, diğer hallerde bu çeliklerin kaynağında bir ön tavlama uygulanmaz.

Bu tür çeliklerde kaynaktan sonra 750-850°C'lik bir tavlama takiben hızlı bir soğutma, ITAB'nin sünekliliğinin ve tanelerarası korozyona direncinin artmasına yardımcı olur.

Kaynak edilmiş parçaların soğuk şekillendirilmesi ve zorlanması 300-400°C'lik bir ön tavlama sonra yapılmalıdır. Zira bu çeliklerin şekil değiştirme kabiliyetleri bu sıcaklıklarda hissedilebilir şekilde artmaktadır.

Kaynak dikişinde erimiş bölgede tane irileşmesinin neden olduğu gevrekliğe ostenitik elektrod kullanılarak mani olunabilir; az karbonlu ferritik paslanmaz çelikler halinde, ostenitik 18/8 türü, % 0,1'den fazla karbon içeren çelikler için ise % 25 Cr ve % 20 Ni içeren elektrodlar iyi sonuçlar verirler [12,14,16,18].

### 3.4. OSTENİTİK KROM-NİKELLİ PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

Nikel kuvvetli ostenit yapısı bir element olduğundan, bu tür çeliklerde katılaşma sırasında ortaya çıkan ostenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklık derecelerinde bile dönüşmeden kalır. Soğuma esnasında  $\gamma \rightarrow \alpha$  dönüşümü olmadığından bu tür paslanmaz çelikler de su verme yolu ile sertleştirilemezler. Antimagnetik olan bu tür çeliklere genellikle korozyon mukavemetini arttırmak için bir miktarda molibden katılır. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti açısından en önemli özellikleri şunlardır:

- a) Isıl iletme katsayıları oda sıcaklığında, az alaşımli ve karbonlu çeliklerin yaklaşık üçte biri kadardır;
- b) Isıl genleşme katsayıları karbonlu ve az alaşımli çeliklerin yaklaşık 1,5 katı yani % 50 fazladır,
- c) Bu tür çeliklerin elektrik iletme dirençleri, alaşımatsız çeliklere karşın dört ilâ yedi kat daha büyüktür.

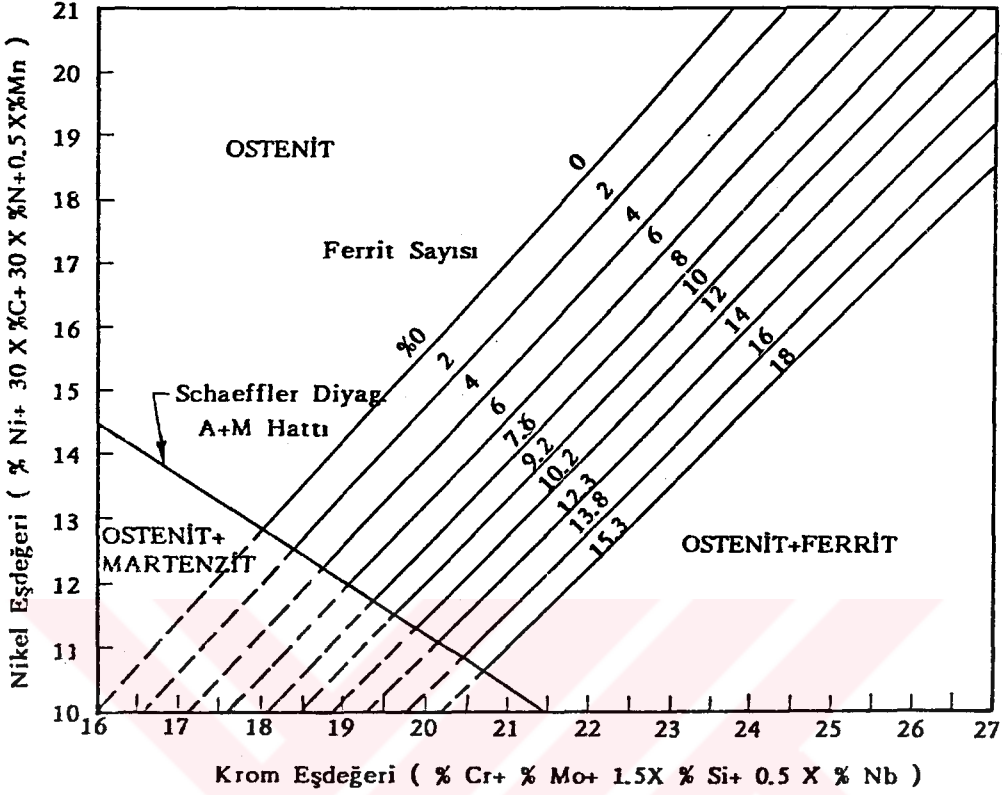
Bu özelliklerinden dolayı, krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında, normal karbonlu çeliklerin kaynağından daha fazla kendini çekme meydana gelir. Kaynak dikişinin soğuması esnasında büzölmelerin oluşması sonucunda, bu bölgede oluşan şiddetli iç gerilmeler çatlama tehlikesine yol açar. Bu tür paslanmaz çeliklerin çift taraflı iç köşe dikişlerinde sıcak çatlakların oluşma olanağı çok fazladır[1].

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini etkileyen fiziksel özelliklerin yanısıra bir dizi metalurjik etkende bu tür çeliklerin kaynağında önemli rol oynar; bunlar  $\delta$ -ferrit fazının oluşumu, tanelerarası korozyona hassasiyet, gerilmeli korozyona hassasiyet ve  $\sigma$ -fazının oluşmasıdır.

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin üretimlerinde, sıvı halden itibaren katılaşma başlayınca, ostenit ve  $\delta$ -ferrit taneleri oluşmaya başlar. Bu ferrit ostenitin dönüşümü sonucunda ortaya çıkan ferritten farklıdır. Katılaşma normal olarak ingota dökülen bir sıvı metalin katılaşmasında görülen hızla oluştuğu zaman bu çeliklerin yapısı ostenit taneleri arasına serpilmiş  $\delta$ -ferrit taneciklerinden oluşur [1]. Bu faz krom ve ferriti stabilize eden elementler yönünden zengin, nikel ve osteniti stabilize eden elementler yönünden fakirdir. Bu fazın oluşumu, çelik üreticilerinin istemediği bir durumdur, zira sıcak şekil değiştirmeyi zorlaştırır ve malzemede çatlakların oluşumunu teşvik eder. Bu fazın sürekli olarak tanecik sınırlarında bulunması korozyon direncini azaltır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda uzun süre  $\delta$ -ferrit fazıyla karşı karşıya kalınması sonucunda da, malzemenin mukavemetinde ve şekillendirilebilirlik kabiliyetinde azaltıcı yönde etkiyen sert ve gevrek  $\sigma$ -fazının oluşumu gibi sorunlarla karşılaşılır [1,3].

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynak metalinin ferrit miktarının saptanmasında, Schaeffler Diyagramının geliştirilmiş şekli olan De Long Diyagramı (Şekil 3.3) kullanılır. Bu diyagram ile kaynak metalinin yapısında bulunacak  $\delta$ -ferrit miktarının saptanması amacı ile ferrit yapıcı elementler krom, molibden, silisyum ve niyobyum, krom eşdeğeri olarak yatay ekseninde, ostenit yapıcı elementler olan nikel, mangan, karbon ve azot miktarlarına bağlı olarak nikel eşdeğeri düşey ekseninde yerleştirilmiştir. De Long Diyagramından "ferrit sayıları" ve buna bağlı olarak  $\delta$ -ferrit yüzdesi okunabilir. Bu diyagramın kullanılması sayesinde örtülü elektrodlar ile yapılan ark kaynağında, oluşturulacak kaynak metalinde ortaya çıkabilecek problemler önceden bilinerek, gereken tetbirler alınabilir [18].

Bu olaya mani olabilmek için katılaşan ostenitik paslanmaz çeliklerde soğumanın çok yavaş bir hızla seyretmesi gerekir. Başka bir çözüm yolu da bu çeliğin uzun bir süre  $1150^{\circ}\text{C}$  de tavlınması ve hızla soğutulmasıdır. Ostenit yapıcı

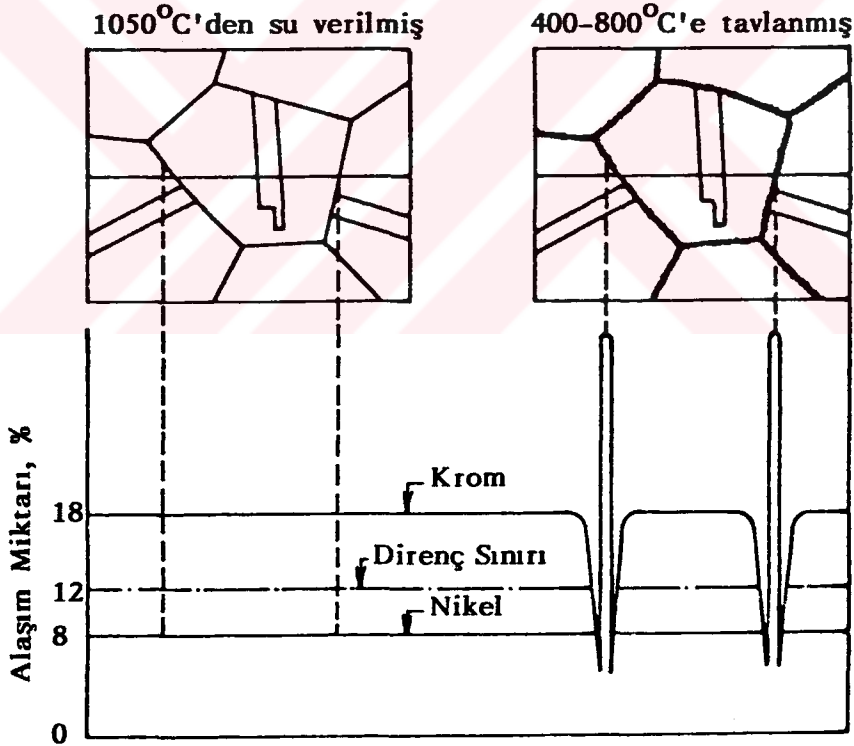


Şekil 3.3.- Ostenitik kaynak metalinde ferrit sayısının tanımlanması için kullanılan De Long diyagramı [18].

elementler olan nikel, mangan ve azotun çeliğin bileşiminde artması  $\delta$ -ferrit oluşumunu engeller [1,12,18].

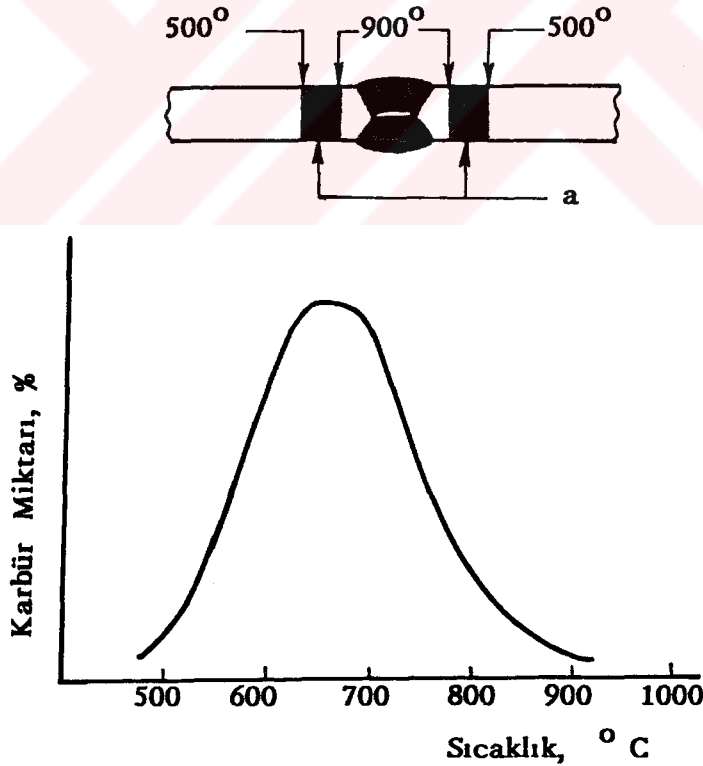
Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan ikinci bir sorunda, özellikle 18/8 çeliği gibi bazı krom-nikelli paslanmaz çeliklerin 450-850°C sıcaklık aralığındaki bir sıcaklıkta uzun süre kalmalarında oluşan krom karbür çökmesi eğilimidir. Bu çelikler üretimleri sırasında krom ve karbonun ostenit içerisinde çözüldüğü 1100°C'den itibaren hızla soğutulurlar. Bu şekilde, bu elementlerin çökme tehlikesi ortadan kalkmış olur ve oda sıcaklığında karbonun diffüzyon hızı çok düşük olduğundan, servis esnasında oluşma olanağı yoktur. Sıcaklığın 450°C'nin üzerine çıkması ile karbonun diffüzyon hızı,

karbonu tane sınırlarından dışarıya çıkartacak derecede artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı olan yüksek affinitesinden dolayı bu bölgede krom ile birleşerek krom karbür meydana getirir  $[(Fe,Cr)_{23}C_6]$ . Oluşan krom karbürün ağırlık olarak % 90'nını krom oluşturduğundan, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile ostenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır (Şekil 3.4). Bunun sonucu olarak malzeme korozif bir ortamda bulunduğu, kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon oluşur. Bu şekilde ortaya çıkan tanelerarası korozyon bütün malzemeyi çok kısa bir zamanda kullanılmaz hale getirir. Çeliğin karbon içeriği arttıkça bu olay şiddetlenir [1,12,22].



Şekil 3.4.- Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesine bağlı olarak krom azalması (şematik) [22].

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşıp hızla soğuduğundan ve elektrod olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak metali, yani kaynak dikişi için karbür çökeltme tehlikesi yoktur. Buna karşın, ısının tesiri altında kalan bölge, kaynak süresi boyunca, 500-900°C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğundan, karbon içeriğinin yüksek olması halinde ostenit tane sınırlarında tanelerarası korozyona neden olacak karbür çökeltmesi olayı ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.5). Belli bir karbon içeriği için karbür çökeltmesi olayının şiddeti sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çökeltme başlamadan önce sıcaklık ile değişen bir kuluçka periyodu vardır. Sıcaklık ve çeliğin karbon içeriğine göre en kısa sürede çökeltmenin başladığı bir sıcaklık vardır ki buna kritik sıcaklık adı verilir.



Şekil 3.5.- 18/8 çeliğinde, kaynak işleminin karbür çökeltmesine etkisi (şematik)

(a) ile gösterilen bölgeler kritik bölgelerdir [1].

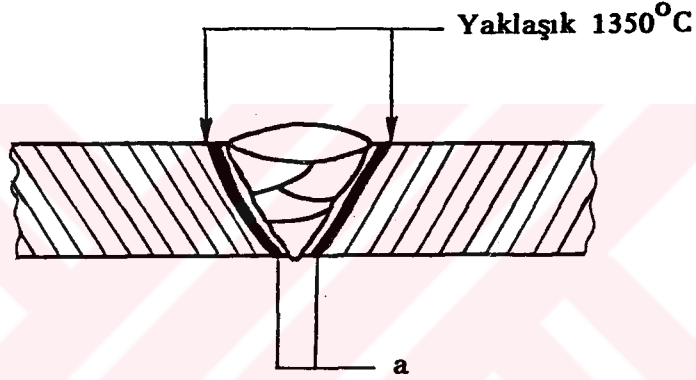


Karbon İçeriği (%)	Kuluçka Periyodu (dakika)	Kritik Sıcaklık (°C)
0.03	11	650
0.05	7	650
0.06	2.5	670
0.08	0.3	750

Tek paso ile yapılan ark kaynağında ITAB, 650-750°C arasındaki sıcaklığa bir dakikadan daha az bir süre maruz kalır. Buna karşın çok pasolu kaynak halinde, bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısı ile karbür çökeltme tehlikesi başgösterir. Karbür çökeltmesinin oluşabilmesi için, çeliğin karbon içeriğinin belirli bir miktarın üzerinde olması gerekir. Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzatacağından bu tehlike ortadan kalkacaktır. Bu bakımdan kaynak ile birleştirilmesi gereken ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin, karbon içeriğinin en çok % 0.06, optimum % 0.03 civarında olması gerekmektedir [1]. Bu amaçla ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin üretilen özel türlerinde (X 2 Cr Ni 18 9, X 2 Cr Ni Mo 18 10), karbon miktarı düşürülerek korozyon direncinin arttırılması amaçlanmıştır.

Tanelerarası korozyonun oluşmasını önlemek amacıyla uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonu olarak adlandırılır; bu durumda karbonun kroma karşı olan affinitesinden daha yüksek bir affiniteye sahip bir elementin, çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir. Bu şekilde çeliğin bileşimindeki karbon ile bu yeni element karbür oluşturur ve dolayısı ile iç yapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması olayı oluşmaz. Stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niyobyum ve tantalyumdur. Bu element karbürler, tane sınırları boyunca değil, ostenit taneleri içerisinde, ince zerrecikler halinde dağılmış olduklarından, çeliğin mekanik özelliklerinde de bir değişiklik oluşturmazlar. Stabilizasyonun gerçekleşebilmesi için ilâve edilen titanyumun karbonun dört katı, niyobyumun sekiz-on katı, tantalyumun onaltı katı olması gerekir.

Çeliklerde maliyet açısından titanyum, elektrotlarda titanyumun arktaki fazla kaybindan dolayı niyobyum tercih edilir. Stabilize edilmiş çelikler de, tanelerarası korozyona karşı tam manasıyla dayanıklıdır denilemez, zira niyobyum, titanyum ve tantalyum karbürler  $1300^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda çözülür ve karbon serbest kalarak krom karbür oluşturabilir. Bu sıcaklığa kadar erişen bölge çok dar bir alan olduğu için erime çizgisine yakın bir yerde, çok dar bir bölge korozyona karşı direncini kaybeder ve bu olaya "bıçak izi etkisi veya korozyonu" adı verilir[1], (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6.- Stabilize edilmiş ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikte kaynağın etkisi (bıçak izi korozyonu) (a) ile gösterilen bölgelerde TiC ve NbC' ler çözünmektedir [ 1 ].**

ITAB veya esas metalde karbür çökmesinin olduğu hallerde, şayet parçanın boyutları ve konstrüksiyonu uygun ise parça  $1100^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar tavlanıp su içinde aniden soğutulursa, yüksek sıcaklıkta ostenit içerisinde çözülmüş bulunan karbürler hızlı bir soğuma esnasında tekrar oluşmazlar. Ancak böyle bir ısıl işlemin uygulanması pek pratik değildir[1].

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde görünmesinin yanı sıra, % 9'dan daha az nikel içeren ostenitik paslanmaz çeliklerde kaynak bölgesinde  $\sigma$ -fazının oluşması bu tür çeliklerin de kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkiler.

550-925°C sıcaklık aralığında oluşan sert, gevrek metallere arası bileşik olan bu fazın oluşabilmesi için ostenitik yapı içinde bir miktarda ferrit bulunması gerekir. Soğuk şekil değiştirme, niyobyum, molibden, silisyum gibi elementlerin mevcudiyeti  $\sigma$ -fazı oluşumunu teşvik eder.  $\sigma$ -fazının bulunması çeliğin uzama büzülme ve çentik-darbe mukavemetini azalttığından mevcudiyeti arzu edilmez. Karbür çökmesini yok etmek için uygulanan ısı işlem  $\sigma$ -fazının da yok olmasını sağlar. Ostenitik paslanmaz çelik daha önceden bir homogenizasyon tavlamasına tabi tutulmuş ve içindeki ferrit miktarı % 6,5'un altına düşürülmüş ise, kaynak bölgesinde oluşacak  $\sigma$ -fazı çentik darbe mukavemetinin düşmesine neden olmaz. Burada ferrit miktarı az olduğundan, ostenitik yapı içerisinde ağ şeklinde değil, izole edilmiş odacıklar halinde bulunur. Bu şekilde oluşturulan  $\sigma$ -fazı, yapıya bir süneklik kazandırmaktadır. Tavlanmış durumda % 7-8'den daha az ferrit içeren kaynak bölgesi, sigma dönüşmesiyle az bir gevrekleşme kazanır. Bu da uygulamada önemli bir özelliktir [ 22,24].

## BÖLÜM: 4. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI VE BU KONUDAKİ LİTERATÜR TARAMASI

### 4.1. GENEL

Günümüzde konstrüksiyonlar iş verimi ve iş emniyetini arttırmaya, boyutları ve ağırlığı küçültmeye, aynı zamanda malzeme ve imalat masraflarını azaltmaya yöneliktir. Buna paralel olarak geliştirilen birleştirme teknikleri de sürekli yeni problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu arada, elektrik direnç kaynağı yöntemleri de seri imalatta uygun ve oldukça yaygın olarak kullanılabilen kaynak yöntemleri olarak uygulama alanına girmiştir. Kaynak işlemi, bir düğmeye veya bir ayak pedalına basarak makinayı çalıştırabilme bilgisine sahip operatörler tarafından büyük bir hızla gerçekleştirilir. Bu nedenle, özellikle ark kaynağı, gaz kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi diğer termik birleştirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, birim birleştirme boyuna düşen işçilik masrafı bu yöntemde oldukça düşüktür. Öte yandan, direnç kaynağı makinaları, diğer kaynak yöntemleri için gerekli cihazların maliyetleri ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır. Direnç kaynağını uygulamada ekonomik hale getirmek, yani, düşük birim-işçilik masrafı ile birlikte uygun birim-makina maliyeti elde etmek için çok sayıda aynı veya benzer birleştirme gerekmektedir. Bu kaynak yöntemi, ilâve malzeme kullanılmadığından sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenler ile, günümüzde uçak ve otomotiv endüstrisinde ve metal eşya imalatında büyük ölçüde kullanılmaktadır [ 25,26 ].

Günümüzde paslanmaz çelik ince saçların özellikle taşıt, mutfak-ev eşyaları ve mimari dekorasyonda yaygın biçimde kullanılabilmesi elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile birleştirmenin üstünlüklerine dayanmaktadır. BU

yöntemde, üst üste konmuş paslanmaz çelik sacların birleştirilmesinde, kaynak yerinde çok az renk değişimi ve elektrod izlerinden başka birşey görünmez. Ayrıca iyi bir bağlantının yapılmasında, ısınmanın çok kısa bir sürede meydana gelmesi nedeni ile, eritme kaynağı ile birleştirilmiş paslanmaz çeliklerin ostenitik türlerinde görülen krom karbür çökmesi ve ferritik türlerde görülen tane irileşmesi ya yoktur veya çok az bulunur [ 27 ].

#### 4.2. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞININ PRENSİBİ

Elektrik direnç nokta kaynağı, malzemedan geçen elektrik akımına karşı, malzemenin gösterdiği elektrik direnci nedeniyle oluşan ısı ve kaynak bölgesine uygulanan basma kuvveti ile gerçekleştirilen bir kaynak yöntemidir. Ayrıca bir dış ısı kaynağı yoktur, ısı, birleştirme yerinde Joule kanununa göre oluşur (Şekil 4.1); [ 28 ].

$$Q = K.I^2.R.t. \quad (1)$$

Burada:

Q : Üretilen ısı,

K : Bir sabit,

I : Kaynak akımı,

R : Kaynak akımının geçtiği devredeki dirençlerin toplamı,

t : Kaynak akımının devrede kalma süresidir.

Diğer taraftan oluşturulacak V hacmindeki bir kaynak noktasının erimesi için Q ısıya duyulan gereksinmeye bağlı olarak aşağıdaki formül verilebilir [ 29 ].

$$Q = V. \gamma(C_1T + C_2) \quad (2)$$

Burada da;

V : Kaynak edilen noktanın hacmi,

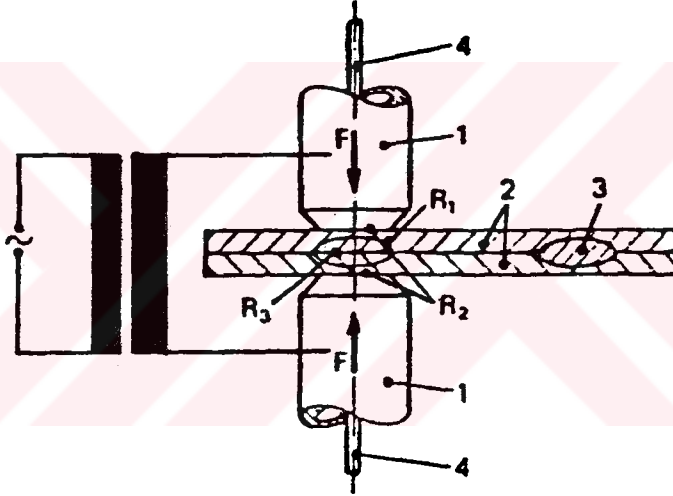
$\gamma$  : Kaynak edilen malzemenin yoğunluğu,

$C_1$  : Özgül ısı,

$C_2$  : Gizli erime ısı,

T : Erime sıcaklığı.

Üretilen ısının bir kısmı kondüksiyon veya radyasyon yolu ile uzaklaşır, (1) ifadesindeki direncin değeri küçük olduğundan, gerekli kaynak ısıısını üretebilmek için yüksek akım şiddetine gerek vardır. Gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, alçak gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatöründen sağlanır. Basma kuvveti, aynı zamanda kaynak akımını da ileten elektrodlar tarafından uygulanır. Bu kuvvetin şiddeti hidrolik, pnömatik veya mekanik düzenleyiciler ile ayarlanır [ 26,28].



- 1 Elektrod
- 2 Sac
- 3 Çekirdek
- 4 Soğutma Boruları
- F Elektrod Kuweti
- $R_1$  Sac Malzeme Direnci
- $R_2$  Elektrod-Sac Temas Direnci
- $R_3$  Sac- Sac Temas Direnci

Şekil 4.1.- Elektrik direnç nokta kaynağının prensib şeması [ 8].

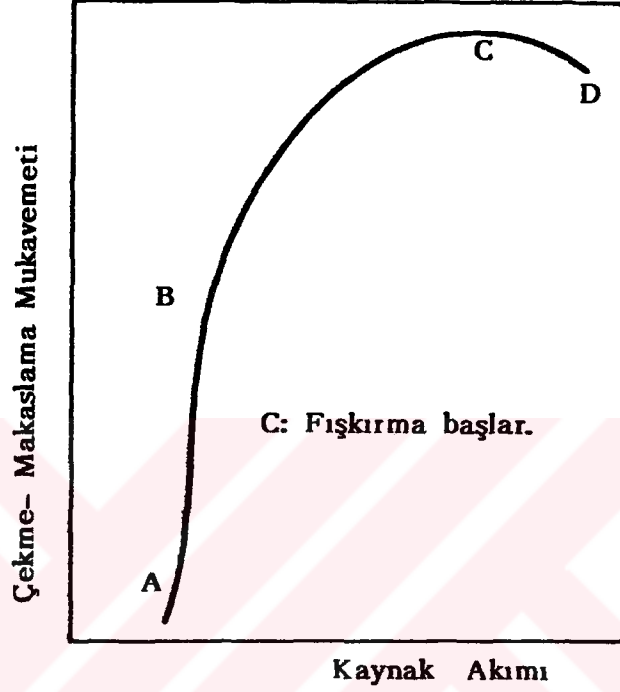
#### 4.3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINA ETKİYEN FAKTÖRLER

Paslanmaz çeliklerde hatasız nokta kaynağı bağlantılarını gerçekleştirebilmek için, belirli kaynak şartlarının dışına çıkılmamalıdır. Kaliteli kaynak noktalarının elde edilmesinde sadece kaynak makinasındaki ayarlanabilen büyüklükler (akım şiddeti, elektrod kuvveti, kaynak süresi) etkili olmayıp aynı zamanda elektrodların türü, şekli ve yönleri ile kaynak edilen sac yüzeylerinin durumu da önem arz etmektedir. Paslanmaz çelik sacların karbonlu ve az alaşımlı çeliklere oranla yaklaşık altı kat büyük elektrik dirençleri, zayıf ısı iletme özellikleri, yüksek ısıl genleşme katsayıları ve oksitlerinin de sıvı halde fazla viskoz olmalarına rağmen, elektrik direnç nokta kaynağında önemli bir avantaj sağlamaktadır [ 5 ].

##### 4.3.1. KAYNAK AKIMI VE KAYNAK ZAMANININ ETKİSİ

Kaynak bölgesinde, belirli hacimdeki metali erime sıcaklığına ulaştırmak için gerekli toplam ısı, (1) ve (2) ifadesi yardımıyla hesaplanıp sağlanmaktadır. (1) ifadesindeki R direnci, malzemeye, sac kalınlığına, elektrod kuvvetine ve elektrod uç çapına bağlı olup, değeri, artan elektrod kuvveti ile azalmaktadır. Şu halde, verilmiş bir elektrod kuvveti ve sac kalınlığı için, gerekli ısı miktarını elde etmek amacıyla değiştirebilecek kaynak parametreleri, kaynak akımı ve kaynak zamanıdır. Belirli bir ısı enerjisi elde etmek için çeşitli (I,t) değerleri mevcut olmakla beraber, ısı kaybının da zamana bağlı olması nedeni ile akım şiddetini keyfi olarak azaltarak kaynak zamanını arttırmak mümkün değildir. Akımın bir minimum şiddetinde küçük değerlerinde kaynak bölgesinde herhangi bir erime meydana gelmez. Bu minimum şiddet, malzemenin cinsine, kalınlığına, elektrod uçlarının boyutlarına ve elektrod kuvvetine bağlıdır. Bir başka deyimle, erimenin meydana gelebilmesi için bir minimum akım yoğunluğu mevcut olup, bu değer malzemenin cinsine kalınlığına ve kaynak bölgesine etki yapan elektrod basıncına bağlıdır.

Verilmiş bir elektrod basıncı için, akım yoğunluğunun bir üst sınırıda mevcuttur. Bunun üzerindeki değerlerde kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fışkırır. Bu olay kaynak dikişinde çekme-makaslama mukavemetinin azalmasına neden olur (Şekil 4.2), [26, 28].



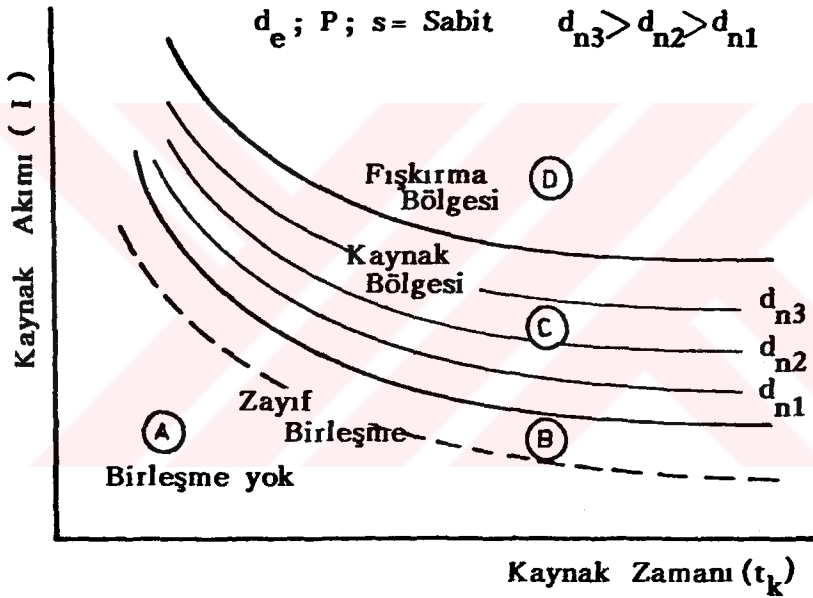
Şekil 4.2.- Nokta kaynağı bağlantısının çekme-makaslama mukavemetine kaynak akımının etkisi [28].

Paslanmaz çeliklerin yüksek elektrik dirençlerinden ötürü kaynak akım şiddeti, alaşımsız yapı çeliklerine nazaran daha küçük seçilir. Elektrik direncinin yüksek olmasından ötürü de, bu tür çeliklerde kaynak çekirdeğinin boyutu elektrod uç çapından % 10 daha büyük oluşur. Buna karşın, alaşımsız çeliklerde kaynak çekirdek çapı elektrod uç çapına yaklaşık olarak eşittir. Kaynak akım şiddetinin artması noktanın çapının büyümesine dolayısı ile çekme-makaslama mukavemetini arttırıcı yönde etkir. Kaynak çekirdeğinin yüksekliği, her iki sacın kalınlığının % 40-80'i arasında olmalıdır. Bu sınırların altına inilmemeli, üstüne de çıkılmamalıdır. Zira akım şiddetinin üst sınırında fışkırma başlar ve mukavemet azalır. Bunun yanısıra yüksek



sıcaklıklarda sıvı hale geçen malzemelerde sacların hareketli yüzeylerinin bastırılması sonucunda lunger oluşma tehlikesi de mevcuttur [5,8]. Ayrıca kaynak akımının fazla yükseltilmesi sonucunda, elektrodlarla saclar arasındaki temas yüzeylerinde erime meydana gelir, elektrodlar levhalara yapışarak tahrip olurlar [26].

Belirli bir sac malzemesi ve kalınlığı, elektrod uç çapı ve verilmiş bir elektrod kuvveti için bir kaynak kabiliyeti diyagramı (akım-zaman diyagramı) elde etmek mümkündür. Şekil 4.3'de böyle bir diyagram şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.3.- Nokta kaynağında akım ve kaynak zamanına bağlı olarak çizilebilen kaynak kabiliyeti diyagramı [26].

Bu diyagramda dört bölge mevcuttur, bunlar:

- A Bölgesi : Burada herhangi bir erime ve birleşme yoktur.
- B Bölgesi : Basınç kaynağı ile oluşan ve erime olmadan meydana gelen zayıf bir birleşme bölgesidir.
- C Bölgesi : Erime ve kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren erime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içinde gittikçe artar. Sonuçta, nokta çapı  $d_n$

elektrod çapı  $d_e$ 'ye yaklaşık olarak eşit olur.

D Bölgesi: Bu bölge fişkıma bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren fişkıma başlar.

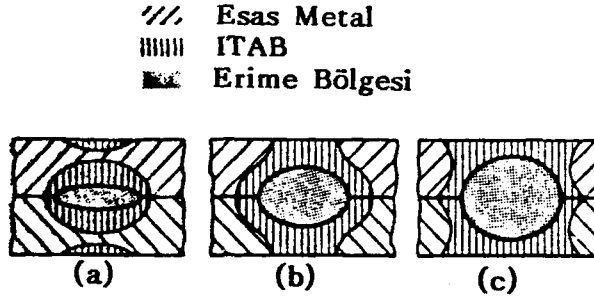
Kaynak bölgesi B, malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akımının ve zamanının hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada, akım ve zaman değerleri, C bölgesinin üst sınırına yakın kalınacak şekilde seçilir.

Şekil 4.3'den görüleceği gibi, kısa kaynak zamanı ve yüksek akım şiddeti kullanarak veya uzun kaynak zamanı, düşük akım şiddeti kullanarak aynı nokta çapı ( $d_n$ ) elde etmek mümkündür. Bunların ilkinde kısa süreli kaynak, ikincisine uzun süreli kaynak adı verilir.

Getirdiği büyük faydalar yüzünden, kısa süreli kaynak tekniği çok gelişmiş olup, büyük ölçüde kullanılmaktadır. Önceleri, çok ince saclar için bile birkaç saniye olan kaynak zamanı, kontrol organları ve akım devrelerindeki büyük gelişmelerden sonra birkaç periyoda<sup>x</sup> kadar düşürülmüştür. Kaynak zamanı azaldığında ısı kayıpları da azaldığından işlemin ısı verimi artmaktadır [26].

Kaynak zamanı, kaynak çekirdeğinin boyutlarının değişmesinde de etkilidir. Artan kaynak zamanı, çekirdeğin yükseklik ve çapını büyültür. Çekirdeğin etrafında Şekil 4.4 a ve b'de görülen ITAB ortaya çıkar. Uzun kaynak zamanı ITAB'ye silindirik bir form kazandırır ve aynı zamanda da çekirdek, yüksekliği doğrultusunda enine doğrultudan daha fazla büyür (Şekil 4.4.c), kaynak zamanının daha da artması çekirdeğin sabit büyüklükte kalmasına neden olur, buna karşın kaynak noktasının civarı ve elektrod çok fazla ısınır, sonuçta fişkımanın oluşması, derin elektrod izleri ve dolayısı ile de elektrod ömrünün azalmasına neden

x)  $f = 50$  Hz'lik şebeke frekansı için,  $1$  periyod  $= 1/50$  s'dir.



- (a) Kısa kaynak zamanı  
 (b) Orta kaynak zamanı  
 (c) Uzun kaynak zamanı

**Şekil 4.4.- Kaynak çekirdeğinin boyutlarına kaynak zamanının etkisi [ 8].**

olur. Yani uzun süreli kaynak halinde, sacların diğer bölgelerinde sıcaklık önemli ölçüde artar. Bu durum ise sacların dış yüzeylerinin yumuşamasına ve elektrodların sac yüzeylerine gömülerek derin izler bırakmasına neden olur. Bu olay aynı zamanda da korozyon direncini etkiler. Bu nedenle, sabit tutulan bir kaynak akımında ve belli bir kaynak süresinde kaynak bağlantısı en yüksek mukavemete sahip olur. Kısa süreli kaynakta ise işlemin hızlı olması nedeniyle sadece kaynak bölgesi erime sıcaklığına ulaşır, ve sacların dış yüzeylerinde aşırı ısınma olmadan kaynak işlemi sona erer. Uygulamada, bu bakımdan kısa akım süreleri tercih edilir. Ancak bu sürenin optimum bir değerde tutulması gerekir. Zira sacların yüzeylerindeki çok küçük düzensüzlükler ve farklılıklar kaynak noktasının aynı kütlede olmamasına neden olabilir [ 5,8,16,26,28,29].

#### 4.3.2. ELEKTROD KUVVETİNİN ETKİSİ

Elektrik direnç nokta kaynağında, kaynak işlemi esas itibariyle dört periyodda gerçekleşir. Bu periyodlar şöyle sıralanabilir.

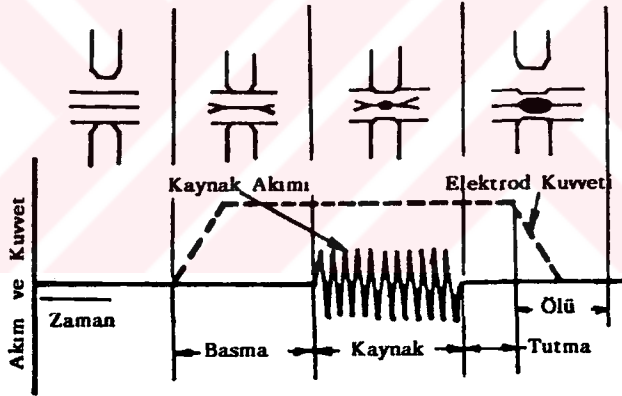
a) Basma (basınç) zamanı: Elektrod kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen zamandır.

b) Kaynak zamanı: Kaynak akımının geçtiği zaman aralığıdır.

c) Tutma zamanı: Kaynak akımının kesilmesinden sonra elektrod kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır.

d) Ölü zaman: Elektrodların iş parçaları ile temasta olmadığı zaman aralığıdır.

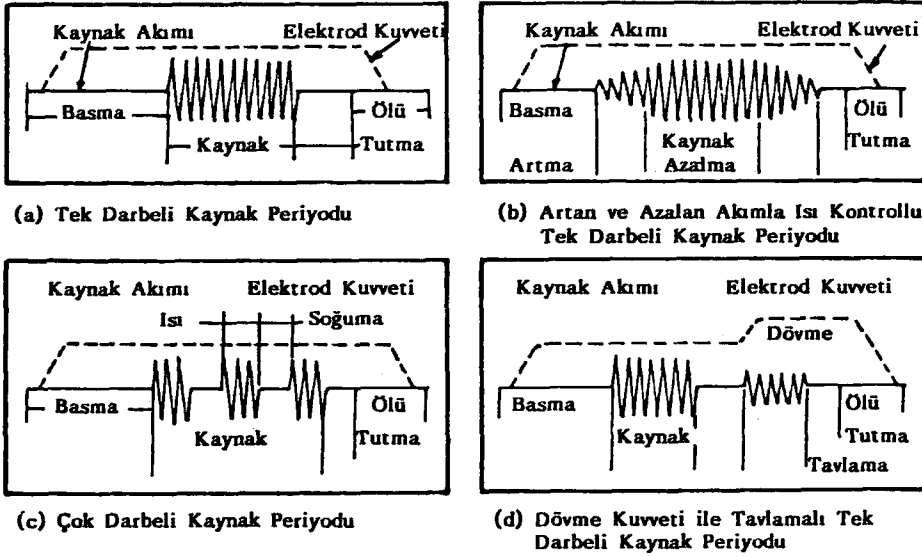
Şekil 4.5.'de bu periyodlar ve elektrodların saclara göre durumu gösterilmiştir [26].



Şekil 4.5.- Nokta kaynağında işlem periyodları [26].

Uygulamada, bu esas periyodlardan gidilerek ilave işlemlerde gerçekleştirilen nokta kaynağı çevrimleri Şekil 4.6'da verilmektedir [30].

Elektrod kuvvetinin kaynak işleminin üç periyodunda da önemli rol oynadığı görülmektedir. Basma zamanında, elektrod kuvveti, saclar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrod-sac temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Sacların elektrod altında, belirli bir alanda temas etmesini

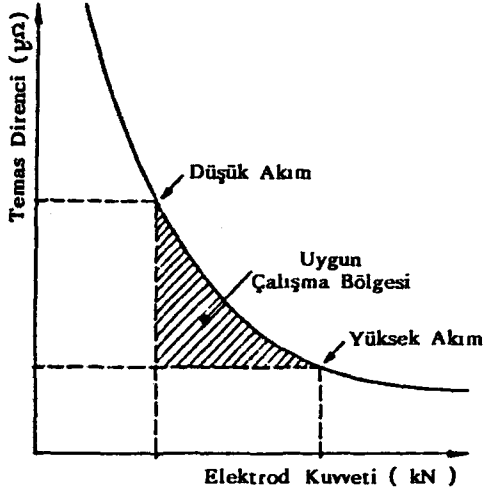


Şekil 4.6.- Nokta kaynağı işleminde çeşitli periyodların şematik olarak gösterilmesi [ 30 ].

sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak periyodunda elektrod kuvvetinin görevi, saclar arasından fışkırmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak bu fışkırmayı engellemektir. Dövme periyodunda ise, kaynak noktasının sıvı halinden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir [ 26 ].

Elektrod kuvvetinin değişimi ile temas direnci de değişir. Yüksek bir elektrod kuvveti düşük bir direnç, düşük bir elektrod kuvveti daha yüksek bir direnç oluşturur. Sacların arasındaki temas direnci, akımın akmaya başlamasından çok kısa bir süre zarfında ısınmayı sağladığından yüksek elektrod kuvvetlerinde yüksek akım şiddeti, düşük elektrod kuvvetlerinde, düşük akım şiddeti önerilmektedir (Şekil 4.7), [ 8 ].

Elektrik dirençlerinin yüksek olması ve yüksek sıcaklıklarda iyi mukavemet özelliklerinden dolayı paslanmaz



Şekil 4.7.- Elektrod kuvvetinin temas direnci üzerine etkisi [8].

çeliklerin nokta kaynağı için yüksek elektrod kuvveti gerekir. Bu değer alaşımsız çeliklerin iki, üç katı kadar olabilir. Ancak yüksek tutulabilen bu basıncın, uygun bir aralığı vardır, bu aşıldığı zaman çekirdeğin şekli bozulur ve elektrod ömrü azalır. Kaynak esnasında, kaynak süreci boyunca elektrod kuvveti uygun tutulmalıdır. Kaynak akımının kesilmesinden sonra da, elektrod kuvveti belirli bir süre tutularak kaynak çekirdeği basınç altında katılaşmalıdır. Elektrodun su ile soğutulmalarından ötürü kaynak bölgesinde şiddetli bir soğuma ve bu sayede de elektrodun altına hava giremediğinden oksidasyon önlenmiş olur. İnce saclarda kaynak akımı kesildikten sonra, basınç süresi 1/2 s. olmalıdır. Böylece hızlı soğuma oluşmasıyla karbür ayrışmasının önüne geçilmektedir. Kalın parçalarda ise bu süre uzatılmak zorundadır, örneğin; 3 mm. kalınlığında saclar için 1 s.'ye ihtiyaç vardır [5,8].

#### 4.3.3. SAC YÜZEY DÜZGÜNLÜĞÜNÜN ETKİSİ

Yüzey düzgünlüğünün etkisi elektrik direnç nokta kaynağında önemli bir faktör olarak temas noktalarındaki direnci büyük ölçüde etkiler. Yağ filmleri geçiş direncini değiştirdiklerinden, düşük değerli kaynak noktalarının oluşmasına neden oldukları gibi yüzeyde oluşan karbürizasyonda paslanmaz çelikler halinde korozyon direncinin azalmasına neden olur. Yüzey üzerindeki pislikler, ısının

üniform olarak oluşmasını engeller ve sonuç olarak ta yüzeyde çatlamalara yol açar. Yerel aşırı ısınmalar şiddetli renk farklılıklarına neden olur, bunlar korozyon direncini de etkiler. Bu nedenlerden dolayı, sac yüzeyleri büyük bir özenle hazırlanmalıdır. Yüzeylerde bulunan yabancı maddeler fırça ve dekapaj yolu ile temizlenerek parçalar metalsel parlaklığa getirilmelidir [ 8].

#### 4.3.4. MALZEME BİLEŞİMİNİN ETKİSİ

Malzemenin bileşimi, özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını, gizli erime ısılarını, ısı ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Elektrik iletkenliği (1) ifadesindeki R değeri yoluyla verilmiş bir akım şiddetinde, ısı üretim hızını saptayan bir faktördür. Metallerde, elektrik ve ısı iletkenlik genellikle aynı yönde paralel olarak değişir. Bu nedenle, yüksek elektrik iletkenliği ve dolayısıyla ile de, yüksek ısı iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerde yüksek akım yoğunluğunda dahi, üretilen çok az ısı çevreye hızla yayılır ve erime için gerekli ısı birikimini engeller. Bu ise kaynak işlemini imkânsız ve zor hale getirir. Diğer taraftan, mevcut ticari bir çok metalin birim kütlelerini erime sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı aynı seviyededir. Örneğin, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı özelliklerine sahip iki metali erime sıcaklıklarına getirmek için birim kütleleri başına yaklaşık aynı miktarda ısı gerekir. Bununla beraber, alüminyumun elektrik ve ısı iletkenliği paslanmaz çeliğe nazaran sırasıyla yirmi ve on kat daha büyüktür. Bu nedenle, alüminyum için gerekli kaynak akımı, paslanmaz çelik için gerekli olandan oldukça fazladır [ 26, 28, 29, 30].

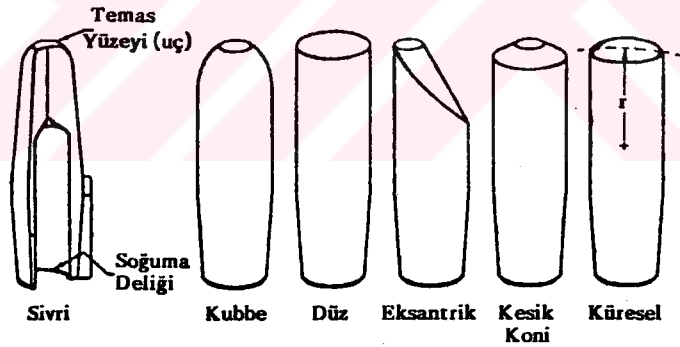
#### 4.4. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA KULLANILAN ELEKTRODLAR

Ticari saf bakır en iyi iletkenidir. Saf bakır elektrodlar, üstün mekanik özellikleri yanında, yeterli elektrik

iletkenliğine sahip malzemeler elde edilinceye kadar, direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti, daha yüksek elektrod kuvveti ve daha yüksek kaynak hızı kullanılan yöntemlerin gelişmesi, saf bakırın elektrod malzemesi olarak kullanılmasını durdurmuştur.

Soğuk çekilmiş bakır, statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemete ve düşük mukavemete ve düşük yumuşama sıcaklığına sahiptir. Ticari saf bakırın bu istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bir seri bakır alaşımı günümüzde elektrod malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Elektrodların şekil ve boyutları, kaynak yapılacak iş parçalarının malzemesine, şekil ve boyutlarına göre saptanır. Şekil 4.8'de standard elektrodlar gösterilmiştir. Bunlar içinde en fazla kesik koni uçlu ve küresel uçlu elektrodlar kullanılır [ 30 ].



Şekil 4.8.- Direnç nokta kaynağında kullanılan standard elektrod formları [30].

Paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağında kullanılan elektrodların çapı, kaynak edilecek sac kalınlığının yaklaşık 4 katı olmalıdır, elektrod kafalarının küresel olması halinde parça üzerinde daha az belirgin izler oluşur, fakat buna karşın çekme-makaslama mukavemeti yassı elektrod kafalarıyla kaynak yapılmış saclara nazaran % 5 oranında azalma gösterir.



Kesik koni elektrodların kullanılması halinde elektrod kafasının düz baskı alan çapı  $d$ ; sac kalınlığı  $s$  olmak üzere  $d=5\sqrt{s}$  formülünden hesaplanabilir.

Küresel elektrodlar yüksek basma kuvvetlerinin uygulanmasını kolaylaştırdıkları gibi aynı zamanda daha az akım ile kaynağı gerçekleştirirler. Kötü biçimlendirilmiş elektrodlar çapaklı ve kirli elektrod kafaları yer yer fazla ısınma ve sac yüzeyi üzerinde derin izler bırakmalarından ötürü kaynak noktalarının kalitesini düşürürler.

Direnç nokta kaynağında kullanılan elektrodların soğutulmaları da özel bir dikkat ister. Böylece kaynak noktalarının korozyon direnci de garantilenmiş olur [ 5 ].

#### 4.5. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA ISIL DENGE

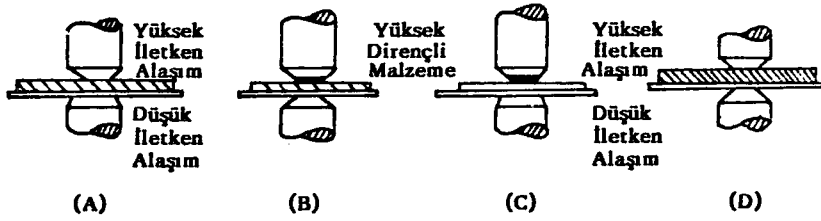
Eğer eşit bileşimde ve kalınlıkta iki sac, eşit kütle ve şekle sahip elektrodlar ile kaynak edilirse, ısı her iki parçada üniform olarak üretilecek ve kaynak kesiti tipik oval biçimde olacaktır. Bu şartlar mevcut ise ısı dengede mevcuttur. Bununla beraber, saclardan biri diğerinden daha yüksek elektriksel dirence sahip ise, ısı bu saca diğerine nazaran çok daha hızlı üretilecektir. Bu durumda ısı dengesi mevcut değildir. Paslanmaz çelik ve orta karbonlu çelik gibi, farklı iki metal kaynak edildiğinde, ısı dengesi, ya yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrod temas alanını arttırarak, veya düşük dirençli karbonlu çelik tarafında daha yüksek dirençli elektrod kullanılarak sağlanır.

Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, soğutulmuş elektrodun ince parça tarafında kaynak ara yüzeyine daha yakın olması nedeni ile, ara yüzeyde yetersiz ısı üretimi yönünde bir eğilim vardır. Uygun ısı dengesi, ince sac tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrod kullanılarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamana kullanmak suretiyle gerçekleştirilir.

Isıl dengeyi etkileyen faktörler esas olarak şunlardır:

- 1) Kaynak edilecek malzemelerin ısı ve elektriksel iletkenlikleri,
- 2) Kaynak edilecek parçaların geometrisi,
- 3) Elektrodların ısı ve elektriksel iletkenlikleri,
- 4) Elektrodların geometrisi.

Şekil 4.9'da, farklı metallerin nokta kaynağında ısı dengesi sağlamak için uygulanan yöntemler belirtilmiştir. Şekil 4.9a'da daha önce açıklandığı gibi, yüksek iletkenliğe sahip alaşım tarafına daha küçük temas yüzeyine sahip elektrod konularak bu taraftaki akım yoğunluğu arttırılmış ve her iki parçada da eşit derecede erime sağlanmıştır. Şekil 4.9b'de yine aynı malzemelerde bir başka yöntem kullanılarak ısı dengenin oluşturulması gösterilmiştir. Burada yüksek iletkenlikteki malzeme ile temasta olan elektrodun temas yüzeyi, molibden ve tungsten gibi yüksek ısı direncine sahip malzemeden yapılmıştır. Şekil 4.9c, her iki yöntemin bir arada uygulanışını göstermektedir. Şekil 4.9d'de yüksek iletkenliği dengelemek için malzemenin kalınlığını arttırarak gerçekleştirilen yöntem görülmektedir [30].



Şekil 4.9.- Farklı metallerin nokta direnç nokta kaynağında ısı dengesi sağlamak için uygulanan yöntemler [30].

#### 4.6. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Paslanmaz çeliklerin ostenitik, ferritik ve martenzitik türlerinin ince sac olarak kullanıldığı imalatlarda, bu sacların birleştirilmesinde elektrik direnç nokta kaynağı oldukça önemli bir şekilde uygulanmaktadır.

Paslanmaz çeliklerin aynı türlerinin birbiriyle nokta kaynağı üzerine A.B.D'den başlamak üzere Avrupa'da ve Doğu Bloku ülkelerinde çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır. Araştırmacılar, kaliteli nokta kaynağı bağlantılarının gerçekleştirilmesinde kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemeti ve hatta bağlantının korozyon özelliklerine etkisini incelemişlerdir [4,5,8,15,16].

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin nokta kaynağı ile ilgili birçok araştırma olmasına karşın ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin nokta kaynağı üzerine fazla çalışmaya rastlanmamaktadır. Ancak bazı ferritik kromlu paslanmaz çelikler sadece ihtiyaçlar çerçevesince kaynak yapılmış olup bu konuda yayınlanan bilimsel çalışmalar 1970'li yıllara aittir [4,5,8,16,27,31,32]. Martenzitik paslanmaz çelikler ise, zayıf kaynak kabiliyetleri nedeni ile elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmelerinde çok az çalışmaya konu olmuşlardır. Zira martenzitik, yapının mevcudiyeti, çekirdeğe komşu ITAB'de metalin sertliği dolayısıyla ile de kırılma hassasiyetini arttırmaktadır. Bu türün az karbon içerenlerinin direnç nokta kaynağında, kaynak sonrası ısıl işleme tabi tutulmadan iyi sonuçlar alınırken, yüksek karbon içeren martenzitik paslanmaz çelikler genellikle kaynak sonrası ısıl işlem uygulanarak kaynak edilmişlerdir [15,16,31,33].

##### 4.6.1. FERRİTİK KROMLU PASLANMAZ ÇELİKLERİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin en çok direnç nokta kaynağı yapılan türleri X7CrAl 13, X8Cr 17, X8CrNb 17

ve AISI standardına göre 442 ve 446 kaliteleri olarak adlandırılan çeliklerdir. Bu tür çeliklerin nokta kaynağı bağlantıları oda sıcaklığında kırılğan bir özellik gösterir, eğer hatalı bir bağlantı yapılmış ise kaynağı takiben bir tavlama ihtiyacı vardır [15,16].

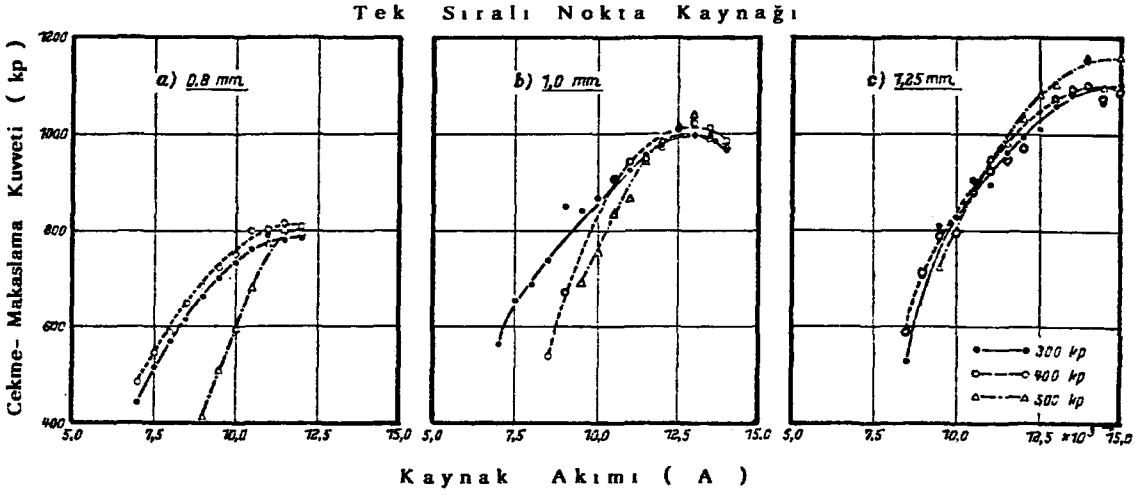
Ferritik kromlu ve korozyon direncini arttırmak amacıyla niyobyum ile stabilize edilmiş X8CrNb 17 çeliğinin direnç nokta kaynağı üzerine Küppers, Ortmann ve Düchting [27], adlarındaki araştırmacılar inceleme yapmıştır. Araştırmada; 0,8, 1, 1,25 mm. kalınlıklarında saclar birleştirilirken 0.08 s. (4 periyod) kaynak süresi yanı sıra 2,75 s.'lik son tutma süresi sabit kalmak koşuluyla kaynak akımı 7-15 kA ve elektrod kuvveti de 300-400-500 kp. değerleri arasında değiştirilmiştir. Elektrodlar DIN 44753'e göre üst elektrod büyük  $r=75$  mm. yarıçaplı küresel, alt elektrod ise düz olarak seçilmiştir.

Kaynak işlemi DIN 50124 esas alınarak tek ve çift sıralı nokta kaynağı olarak yapılmıştır.

Tek sıralı ve çift sıralı nokta kaynağı yapılmış parçaların çekme-makaslama kuvveti ile ilgili sınır değerler Şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.

Şekil 4.10'dan anlaşılacağı üzere tek sıralı kaynakta sınır değerlerinin oluşumunda akımın ve elektrod kuvvetinin değişimi büyük rol oynamaktadır. Malzeme kalınlaştıkça da daha yüksek mukavemet gösteren noktalar elde edilmektedir. Bunun nedeni, aynı çaplı elektrod ile kalın saclarda % 50-75 daha büyük bir çekirdeğin oluşmasıdır, kalın saclar ve daha büyük çekirdekler daha çok kuvvet iletirler.

Araştırmacılar, tek sıralı nokta kaynağı deneylerinde sonuç olarak, ulaşılabilecek maksimum çekme-makaslama kuvvetinin sac kalınlığı ile doğru orantılı olarak arttığını, ince sacların düşük kaynak akımı ile kaynak edilmesinde, akımın alt sınır değerlerinde elektrod kuvvetinin etkisinin önemli ölçüde ortaya çıktığını ve bu neden ile daha yüksek



**Şekil 4.10.- Tek sıralı nokta kaynağı yapılan X8CrNb17 çeliğine ait sınır değerleri [ 27 ].**

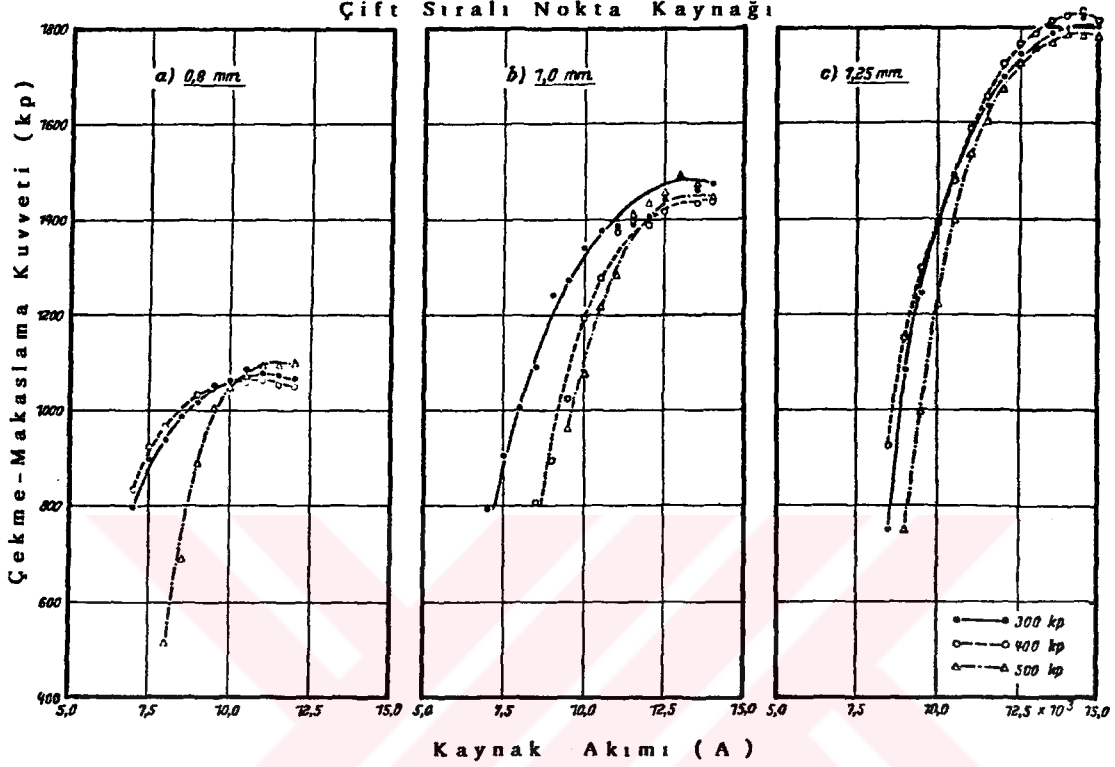
elektrod kuvveti gerektiren yerlerde, kaynak akımının artırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çift sıralı nokta kaynağında ise (Şekil 4.11), tek sıralılar için gerekli olan herşey geçerlidir. Bunlar birbirleriyle kıyaslanacak olursa, düşünülenin tam tersine çekme-makaslama kuvveti tek sıralı kaynakların iki katı değildir. Bu şöyle ifade edilmiştir:

- 0,8 mm'de yaklaşık % 37 yüksek
- 1,0 mm'de yaklaşık % 50 yüksek
- 1,25 mm'de yaklaşık % 64 daha yüksek

Bunun nedeni ise, çekme-makaslama deneyi yapıldığında gerçek bir çekme gerilmesinin oluşmamasıdır, zira bir bükülme ortaya çıkmakta ve dolayısı ile noktalardan yırtılma olmaktadır. Sac kalınlığı arttıkça aksenal çekme azalır, bükülmenin oluşturduğu gerilme sac tarafından absorbe edilir ve dolayısı ile nokta çekmeye zorlanır. Çekmeye maruz kalındığında da iki

noktada bundan etkilenir, tek nokta haline göre kopma yükünün artışı artan kalınlıkla artar.

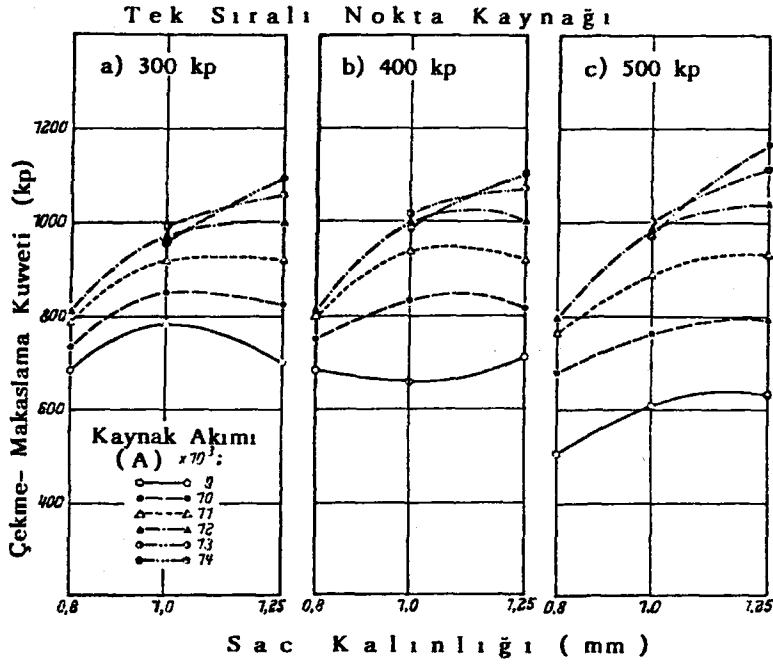


**Şekil 4.11.- Çift sıralı nokta kaynağı yapılmış X8CrNb17 çeliğine ait sınır değerleri [27].**

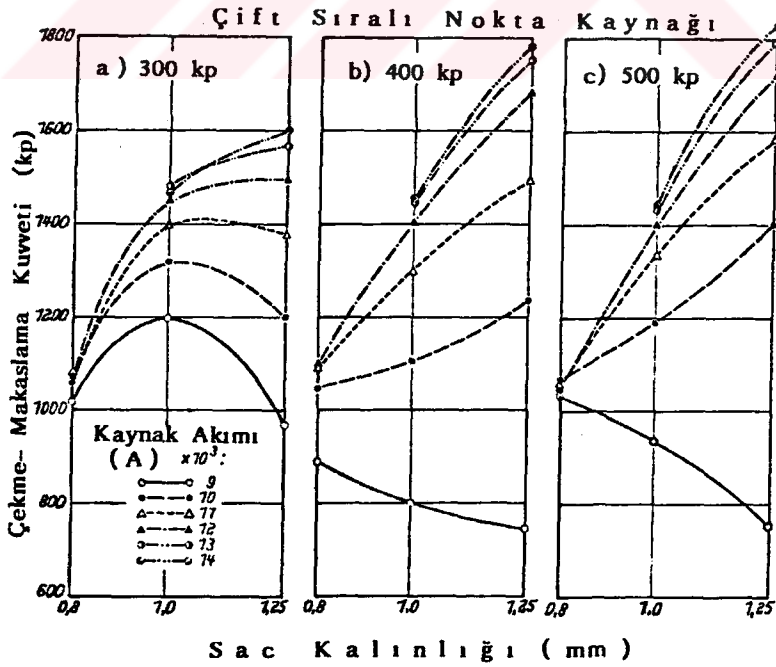
Araştırmacılar, tek ve çift sıralı nokta kaynağı yaptıkları X8CrNb 17 çeliğinin değişik kalınlıklarında, elektrod kuvveti ve kaynak akımının çekme-makaslama kuvvetine etkisini göstermek amacıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'deki diyagramlarla bu olayı incelemişlerdir.

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'deki diyagramların incelenmesinden görüleceği üzere her kaynak akımı belli bir sac kalınlığında maksimum bir çekme-makaslama kuvveti oluşturmaktadır. Akımın artması halinde bu değer kalın saclara doğru ilerlemektedir.

Araştırmacılar, ferritik kromlu X8CrNb 17 paslanmaz çeliğinin ince saclarının kaynağında kaynak yapacak şahsın

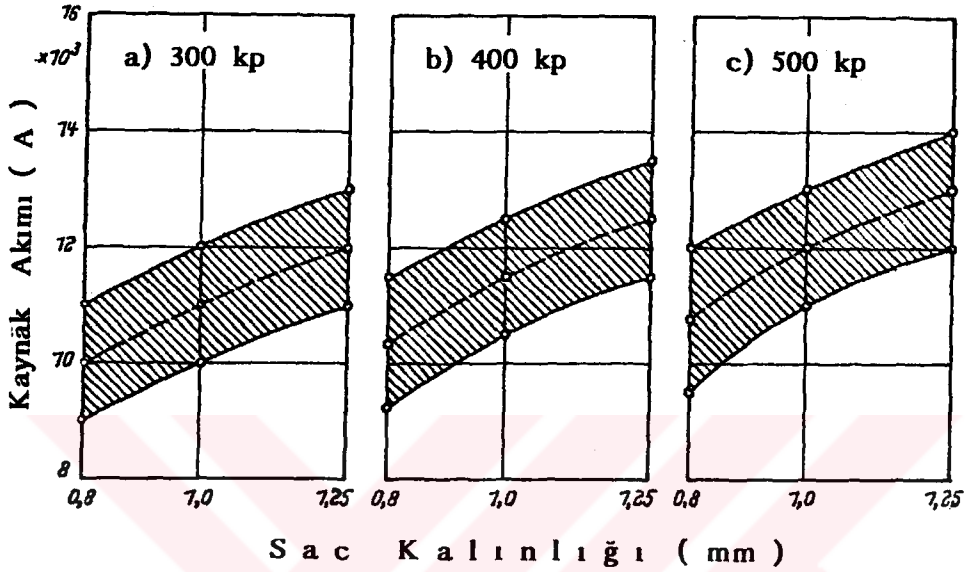


Şekil 4.12.- Tek sıralı kaynakta, çeşitli sac kalınlığı ve akım şiddetlerinde erişilen çekme-makaslama yükleri [ 27 ] .



Şekil 4.13.- Çift sıralı kaynakta, çeşitli sac kalınlığı ve akım şiddetlerinde erişilen çekme-makaslama yükleri [27].

eline gerekli kaynak koşullarını vermeyi amaçladıklarından, çalışma sonuçlarını bir seri diyagram ile açıklamışlardır; bu diyagramlar Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.



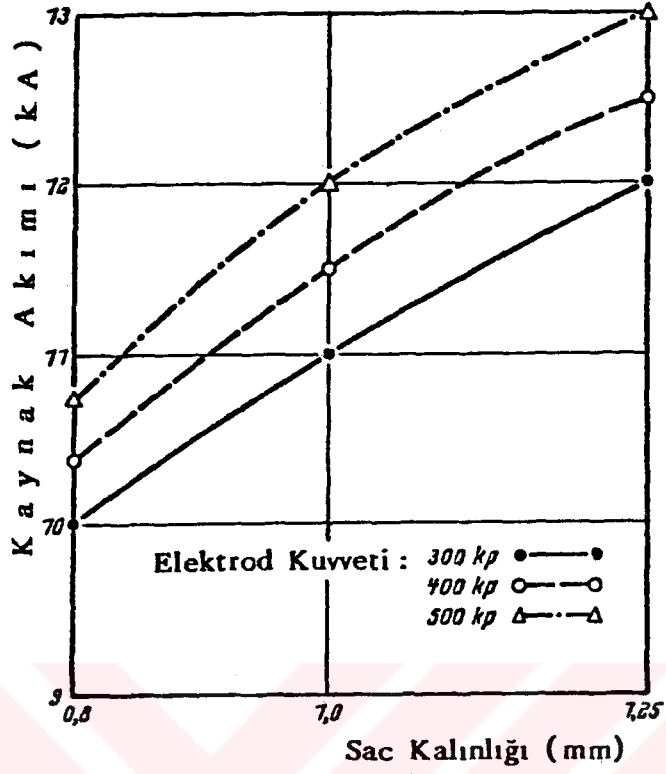
Şekil 4.14.- Verilen sac kalınlığı ve elektrod kuvvetleri için seçilen akım şiddeti alanı [27].

Şekil 4.14'de kaynak akımının ayar bölgeleri, sac kalınlıklarının ve elektrod kuvvetinin grafiği olarak verilmektedir. Artan sac kalınlığına göre, arttırılan elektrod kuvveti ile kaynak akımının arttırılması gerekir. Bağlantıyı mukavemetli hale getirmek için akımın üst sınırı, ancak sac üst yüzeylerindeki tahribatı önlemek istiyorsak alt akım değerlerinin kullanılması önerilmektedir.

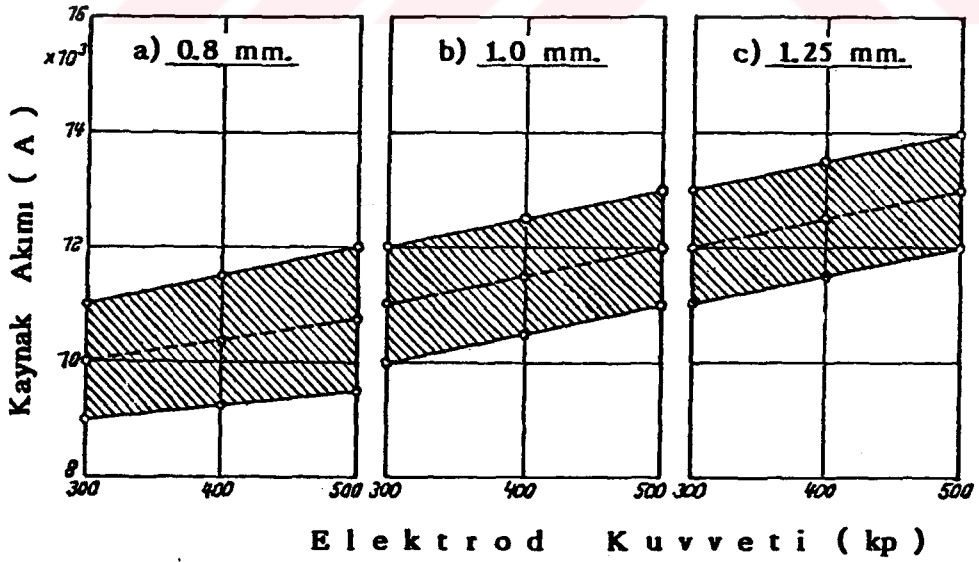
Şekil 4.18'de elektrod kuvvetine, sac kalınlığına uygun bir akım şiddeti seçiminde uygulamada kullanılacak bir diyagram yardımı ile belli bir sac kalınlığı ve elektrod kuvveti için kaynak akımı tesbit edilebilir.

Küppers, Ortmann ve Düchting [27], X8CrNb 17 çeliği - nin yanısıra X6Cr Mo 17 kalite Molibden ilaveli ferritik paslanmaz sacların direnç nokta kaynağı üzerine de

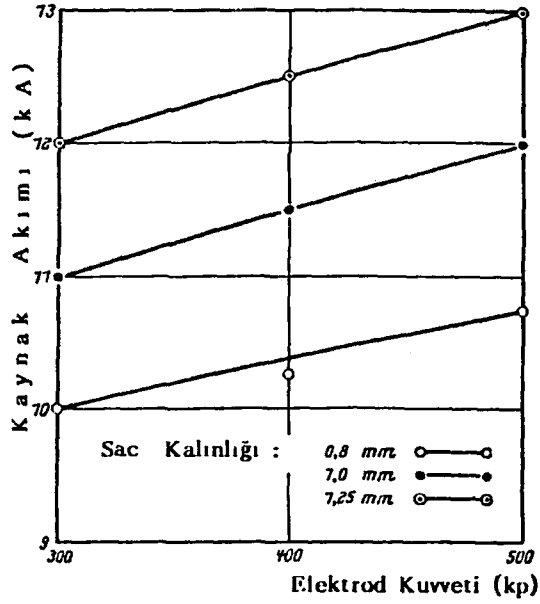




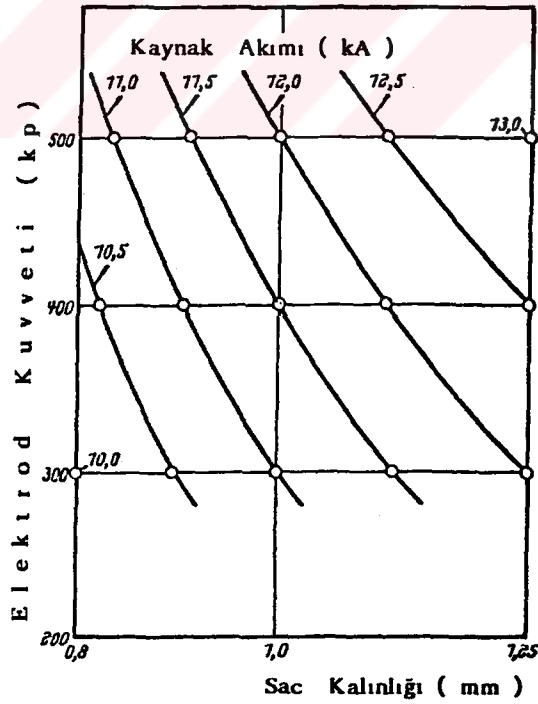
Şekil 4.15.- Çeşitli sac kalınlığı ve elektrod kuvvetlerinde tavsiye edilen akım şiddetleri [27].



Şekil 4.16.- Verilen sac kalınlığı ve elektrod kuvvetleri için seçilen akım şiddeti alanı [27].

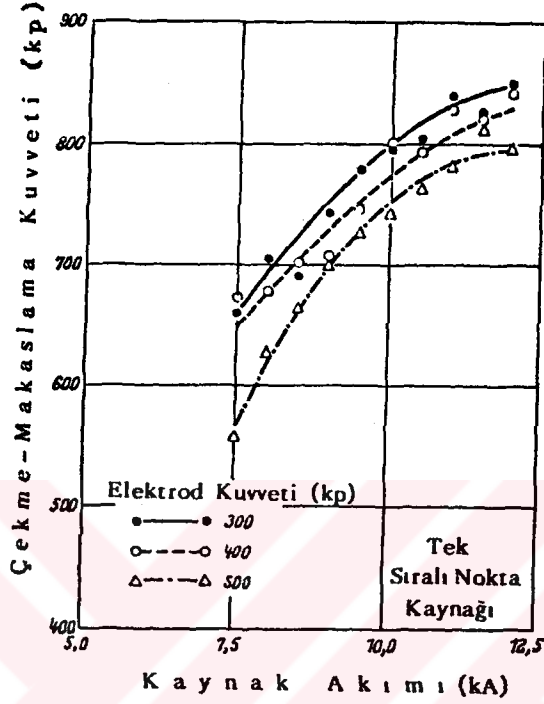


Şekil 4.17.- Çeşitli sac kalınlığı ve elektrod kuvvetlerinde tavsiye edilen akım şiddetleri [27].



Şekil 4.18.- Çeşitli sac kalınlığı ve elektrod kuvvetlerinde tavsiye edilen akım şiddetleri [27].

araştırma yapmışlardır, çekirdekte oluşan çatlaklar ve çekme-makaslama kuvvetinin tatminkâr olmayan (Şekil 4.19) sonuçlar vermesi yüzünden bu tür çeliklerin nokta kaynağına elverişli olmadığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.19.- Tek sıralı kaynak yapılmış X6CrMo17 çeliğine ait sınır değerleri [27].

Ferritik paslanmaz çeliklerin direnç nokta kaynağı üzerine yapılan bu araştırma sonucunda Küppers, Düchting ve Ortman[27], şu noktaların önemini vurgulamaktadırlar

- Ferritik paslanmaz sacların nokta kaynağında, akım şiddetinin artması bağlantının mukavemetini arttırır; bu artış fişkırtma ortaya çıkıncaya kadar devam eder.

- Sac kalınlığında artma akım şiddetinin de arttırılmasını gerektirmektedir.

- Elektrod kuvvetinin arttırılması aynı sac kalınlığı için, akım şiddetinin de arttırılmasını gerektirmektedir.

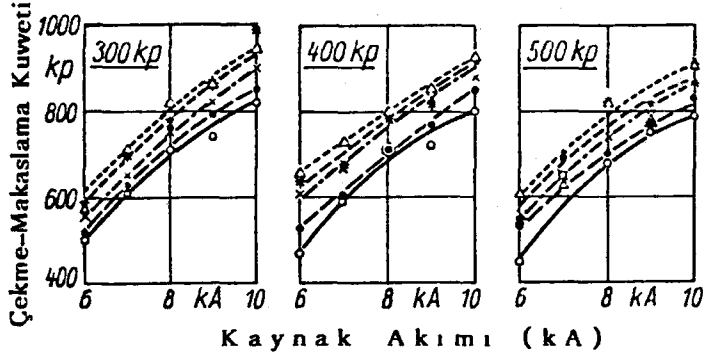
- X6 CrMo 17, Mobilden ilaveli krom çeliği direnç

nokta kaynağı için elverişli değildir.

#### 4.6.2. OSTENİTİK KROM-NİKELLİ PASLANMAZ ÇELİKLERİN ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Paslanmaz çelik türleri içinde en çok nokta kaynağı yapılan çeliklerdir. Bu tür çeliklerin nokta kaynağı üzerine yapılan çalışmalar özellikle uçak ve taşıt endüstrisinde kullanılmaya başlanması ile A.B.D.'de 1940'lı yıllarda başlamıştır [4,8,31,32]. Daha sonraları Avrupa'da özellikle Almanya'da paslanmaz çelik vagon ve otomobillerin üretiminin planlanması üzerine yapılan çalışmalar 1960'lı yıllarda başlamış ve günümüzde de devam ettirilmektedir [5,6,8]. Bunların yanısıra Avrupa, Güney Amerika ve Doğu Bloku ülkeleri ve Sovyetler Birliği'nde de ostenitik paslanmaz çelik ince sacların direnç nokta kaynağı üzerine çeşitli araştırmaların yapıldığı literatür taramasından anlaşılmaktadır.

Ostenitik paslanmaz çelikler içinde oldukça fazla kullanılan ve nokta kaynağı yapılan X5CrNi 189 adıyla anılan % 18 Cr-%8 Ni içeren çeliktir. Ayrıca bu tür çeliğin Ti ve Nb ile stabilize edilmiş ince saclarının nokta kaynağı da incelenmiştir. Bu konuda ilk çalışmalar Oppenheim ve Brand [5], tarafından gerçekleştirilmiştir. Oppenheim ve Brand, çalışmalarında paslanmaz çelik vagon ve otomobil yapımında kullanılacak nokta kaynaklı bağlantılarda bağlantının çekme-makaslama kuvvetinin arttırılmasında kaynak parametrelerinin etkisini 1 ve 1,5 mm. kalınlığında saclar üzerine araştırmışlardır. Deneylerde, önce 1 mm. kalınlığında saclar için elektrod kuvveti 250-500 kP, kaynak süresi 4-8 periyod, akım şiddeti de 6-10 kA değerleri arasında değiştirilmiş, tüm seriler de son tutma süresi 75 periyod olarak sabit tutulmuştur. Elektrodlar 75 mm ve 100 mm yarıçaplı küresel uçlu elektrodlar olarak seçilmiştir. Kaynak bağlantılarına uygulanan çekme-makaslama deneyi sonuçları Şekil 4.20'de görülmektedir.



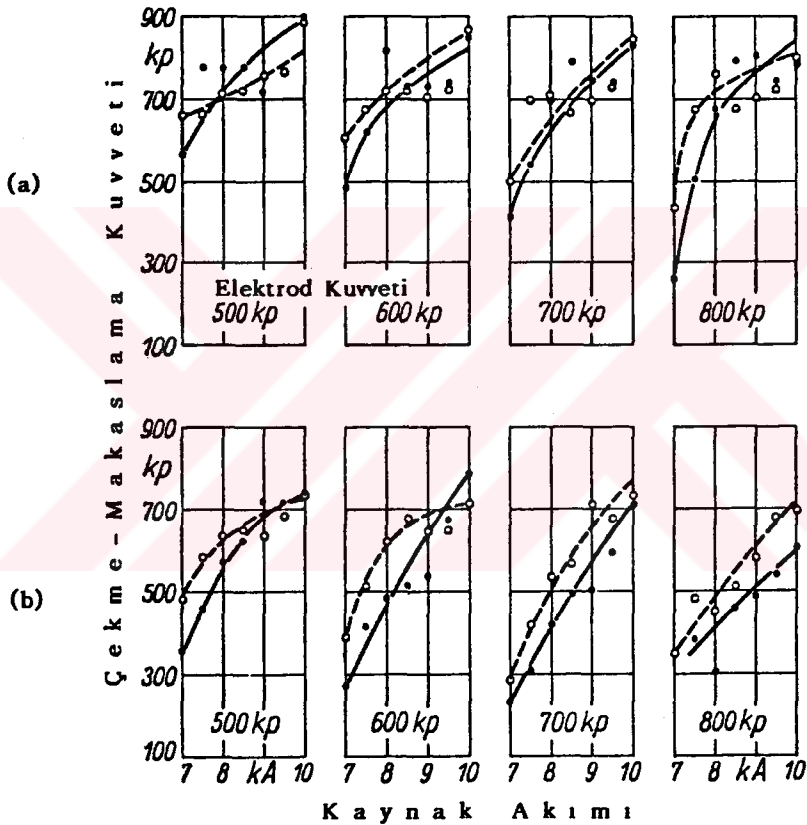
Elektrod Kuvveti : 300, 400 ve 500 kp,  
 Sac Kalınlığı : 1 mm,  
 Kaynak Akımı : o — o 4 Per.,  
                   ● — ● 5 Per.,  
                   × — × 6 Per.,  
                   \* — \* 7 Per.,  
                   Δ — Δ 8 Per.,  
 Nokta Aralığı : 40 mm,  
 Son Tutma Zam.: 75 Per.,  
 Elektrod : 75 mm. küresel uçlu..

Şekil 4.20.- X5CrNi 189 çeliğinin nokta kaynağında çekme-makaslama kuvvetinin değerleri [ 5].

Şekil 4.20'den görüleceği gibi kaynak akımının yükselmesi ile daha büyük kaynak çekirdeği oluşacak dolayısı ile de mukavemet yükselecektir. Artan kaynak süresi ise, az etkili olmakta, yüksek elektrod kuvveti temas direncini düşüreceğinden bağlantının mukavemetini azaltıcı etkide bulunmaktadır.

Oppenheim ve Brand, 7 kA kaynak akımında, 5 periyod kaynak süresinde ve 400 kp elektrod kuvvetinde kaliteli bağlantıların oluşmasında, uygun erime oranlarında çekirdek oluştuğunu, ayrıca 8 ve 9 kA'de 450-500 kp değerlerinde kaliteli noktalar elde edildiğini ancak akımın yükselmesi ile derin elektrod izleri ve saclar arasından fışkırma oluşarak sac yüzeyine kadar erime ile bağlantının kalitesinin bozulduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmacılar, elektrod uç formunun kaynak bağlantısının mukavemetine etkisini de araştırmışlardır. Bu amaçla, 1 mm. kalınlığında X5CrNi 189 çeliğin nokta kaynağında alt ve üst elektrod küresel uçlu, alt elektrod küresel uçlu, üst elektrod düz uçlu olarak seçmelerinin yanısıra elektrod kuvvetini de 500-800 kp arasında değiştirmişler ve diğer kaynak parametrelerini de bir önceki deneyde olduğu gibi değiştirerek deney sonuçlarını Şekil 4.21'deki eğriler ile ifade etmişlerdir.



Sac Kalınlığı : 1 mm,  
 Kaynak Akımı : 5 Per.,  
 Son Tutma Zam. : 75 Per.,  
 Elektrod Formu : ● — ● Üst Elektrod Düz,  
 Alt Elektrod Küresel,  
 ○ — ○ Üst ve Alt Elektrod  
 Küresel.

(a) Özel Akım Tertibatsız,  
 (b) Özel Akım Tertibatı Kullanılarak ( 5 yarım Dalgalı)

Şekil 4.21.- X5CrNi 189 çeliğinin direnç nokta kaynağında bağlantının mukavemetine elektrod uç formunun etkisi [5].

Şekil 4.21'den anlaşılacağı üzere deneyler 0.05 s'lik 5 yarım dalga ile geçen akım şiddeti programlanmış bir tertibat kullanılarak veya kullanılmadan (müellif buna 5 yarım dalgalı akım deyimini kullanmıştır) yapılmıştır. Bunların sonucunda 8 kA akım değerlerinden başlamak üzere uygun mukavemet değerleri gösteren bağlantılar ortaya çıkmış, her iki durumda da küresel uçlu elektrod kullanılan noktalarda kaliteli çekirdekler oluşmuş olmasına karşın erime oranlarının düşük olduğu gözlenmiştir. 8,5 kA de ise her iki elektrod tipinde de yeterli değerler bulunmuş ancak daha yüksek akım şiddetlerinde fışkırma ve sac yüzeylerinde renk değişimi ile bağlantının kalitesinin düştüğü belirtilmiştir.

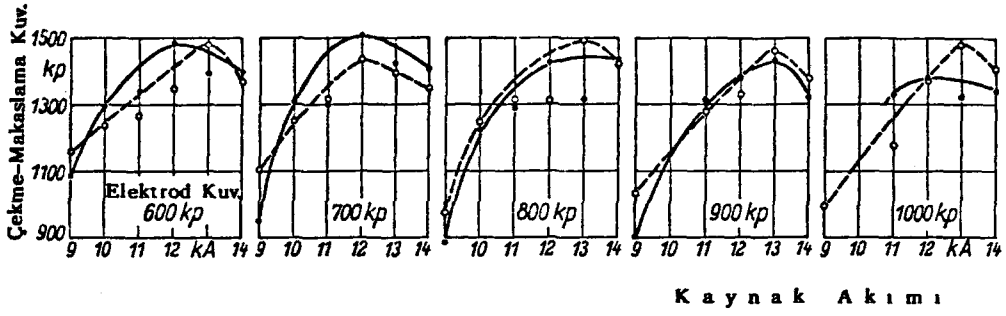
Oppenheim ve Brand, 1,5 mm. kalınlığındaki X5CrNi 189 çeliğinden ince saclarda da aynı deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerin sonuçları Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de görülmektedir.

Şekil 4.22'de özel akım tertibatı kullanılmadan yapılan kaynak bağlantılarında 11 kA'den yüksek akım şiddetlerinde kaliteli bağlantıların elde edildiği, 13 kA'den yüksek akım şiddetlerinde ise saclar arasından fışkırma ve sac yüzeyine kadar gelen çatlaklar nedeni ile çekme-makaslama kuvvetinin düştüğü gözlenmiştir.

Şekil 4.23'de de, özel akım tertibatı kullanılarak yapılan bağlantılarda, bu tertibat nedeni ile kaynak süresinin kısaldığı dolayısı ile mukavemetin daha az olduğu belirtilmiştir.

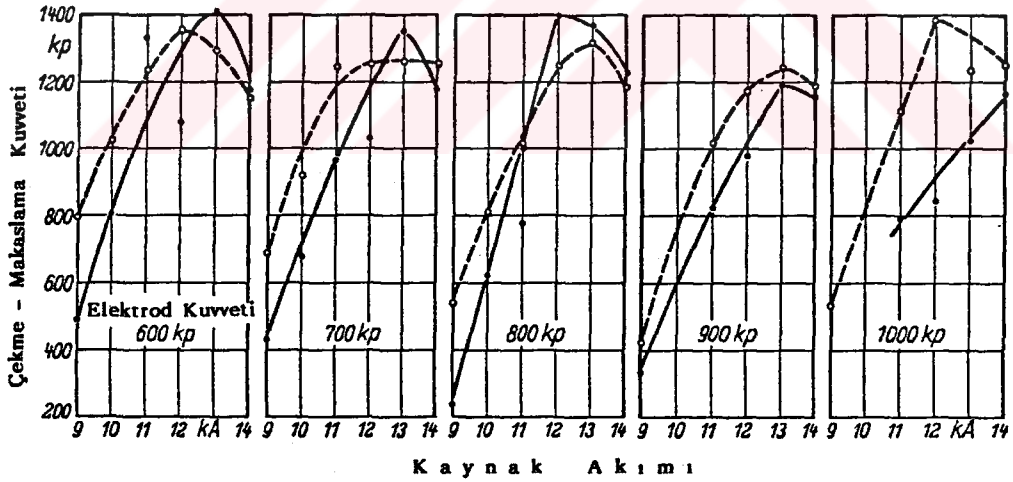
Araştırmacılar, 5 periyodluk kısa kaynak sürelerinde ve 75 periyodluk son tutma süresinin uygulanmasının çekirdek ve ITAB'de krom karbür çökmesi oluşturmadığını savunmuşlardır.

Oppenheim ve Brand, çalışmalarında X10CrNiTi 189 ve X10CrNiNb 189 stabilize ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynağı bağlantılarını da incelemiştirler. Bu konu



Sac Kalınlığı : 1,5 mm,  
 Kaynak Zamanı : 5 Per.,  
 Son Tutma Sür. : 75 Per.,  
 Elektrod Formu : ● — ● Alt elektrod düz,  
 Üst elektrod küresel,  
 ○ — ○ Üst ve alt elektrod  
 küresel...

Şekil 4.22.- 1,5 mm. kalınlığında X5CrNi 189 çeliğinin nokta kaynağında mukavemet değerleri (Özel akım tertibatsız), [5].



Sac Kalınlığı : 1,5 mm,  
 Kaynak Zamanı : 5 Per.,  
 Son Tutma Sür. : 75 Per.,  
 Elektrod Formu : ● — ● Üst elektrod düz,  
 alt elektrod küresel,  
 ○ — ○ Üst ve alt elektrod  
 küresel...

Şekil 4.23.- 1,5 mm. kalınlığında X5CrNi 189 çeliğinin nokta kaynağında mukavemet değerleri (Özel akım tertibatı ile - 5 yarım dalgalı-), [5].



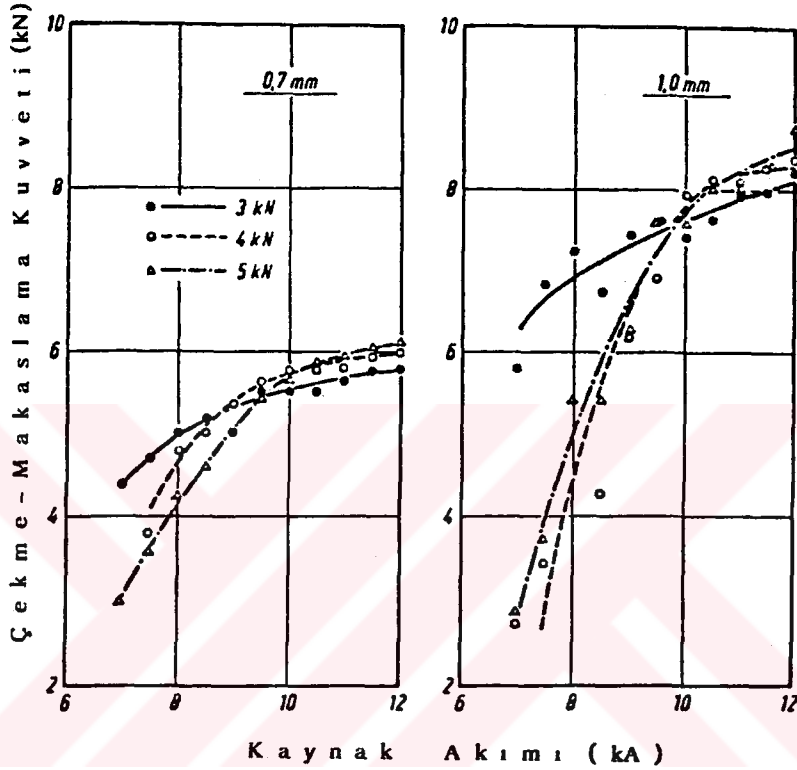
da günümüze kadar bir çalışma yapılmadığından araştırma güncelliğini korumaktadır. Araştırmacıların incelediği ilginç bir bağlantı serisi de X5CrNi 189/St37.12 çeliklerinin nokta kaynağı bağlantılarının mekanik davranışlarının tesbitidir. Vagon yapımında bu tür sacların birleştirilmesinin karşı karşıya geldiği durumlarda kaynak parametrelerinin saptanması açısından önemli bir araştırma olarak görülmektedir. Araştırmacılar yaptıkları deneylerin sonuçlarını bir tablo halinde toplayarak (Tablo 4.1) kaynak yapacak şahıslara tavsiye parametreleri vermişlerdir [5].

**Tablo 4.1.- Ostenitik paslanmaz çeliklerin birbirleri ve karbonlu çelikler ile nokta kaynağı için kaynak koşulları [5].**

Malzeme	Sac Kalınlığı (mm)	Kaynak Akımı (kA)	Elektrod Kuvveti (kp)	Kaynak Zamanı (per)	Çekme-Makaslama Kuvveti (kp)
<b>1) Küresel uçlu elektrod kullanılarak...</b>					
X5CrNi 189 / X5CrNi 189	1 + 1	8	500	5	700
X5CrNi 189 / X5CrNi 189	1,5 + 1,5	13	900.....1000	5	1450
X5CrNi 189 / St 37.12 (parlak)	1,5 + 3	12.....13	1000.....1100	14	2200.....2300
X10CrNiNb 189 / X10CrNiNb189	1 + 1	9	1000	7	960
X10CrNiTi 189 / X10CrNiTi 189	1 + 1	9	800	7	1000
<b>2) Bir tarafı düz, bir tarafı küresel uçlu elektrodlar ile...</b>					
X5CrNi 189 / X5CrNi 189	1 + 1	8,5.....9	600.....700	5	750
X5CrNi 189 / X5CrNi 189	1,5 + 1,5	13	900.....1000	5	1350.....1400
X5CrNi 189 / St 37.12 (parlak)	1,5 + 3	12.....13	1000.....1100	14	2200.....2500

X5CrNi 189 ostenitik paslanmaz çelik sacların direnç nokta kaynağı üzerine yapılan diğer bir araştırmada Küppers ve Düchting [34] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmada, 0,7, 0,8, 1, 1,25 mm kalınlığında sac parçaları 3,4,5 kN'luk elektrod kuvveti, 6-12 kA arasında değişen kaynak akımlarında ve 4 periyodluk sabit kaynak, 2,74 s'lik

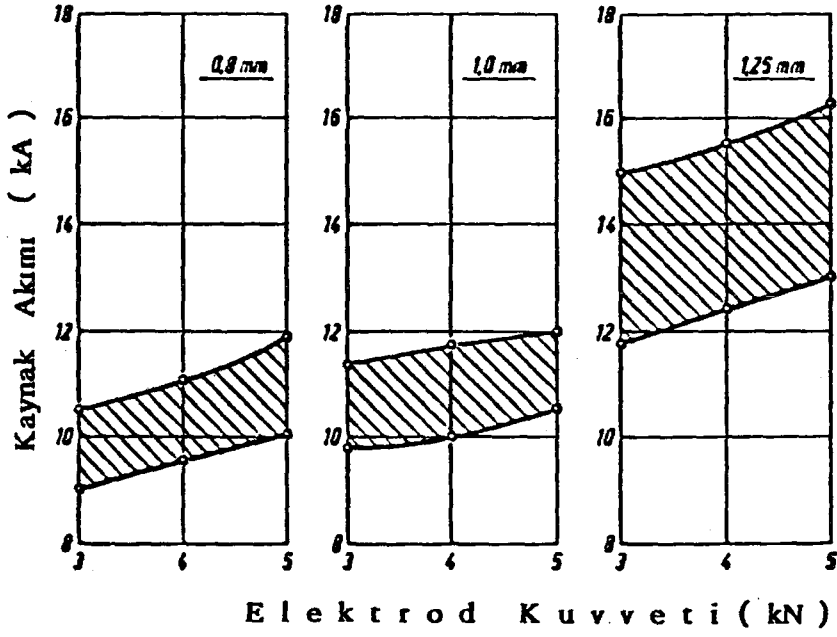
sabit son tutma süresinde 6 mm. basma alanına sahip  $r=75$  mm. yarıçaplı küresel elektrodlar kullanılarak nokta kaynağı yapılmış ve kaynak akımının, elektrod kuvvetinin ve sac kalınlığının çekme-makaslama mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da araştırmanın sonuçlarını gösterir grafikler verilmektedir.



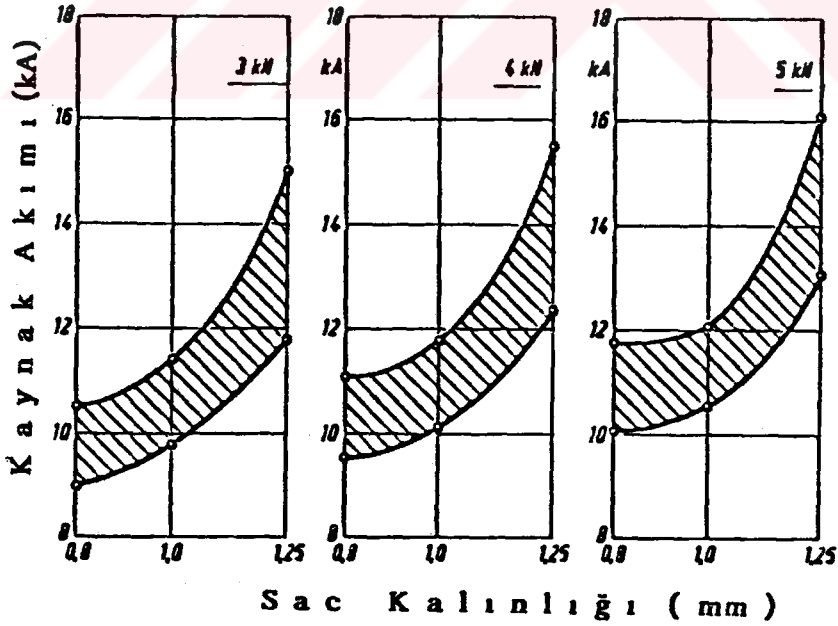
Şekil 4.24.- X5CrNi 189 çeliğinin nokta kaynağında çekme-makaslama kuvvetinin, sac kalınlığına ve diğer parametrelere göre değişimi [34].

Küppers ve Düchting, bu araştırmalarında X5CrNi 189 ostenitik paslanmaz çeliğinin nokta kaynağı bağlantılarında çekirdekte ortaya çıkan ve Oppenheim ve Brand [5] tarafından fazla detaylı incelenmeyen boşluklar ve çatlaklar üzerinde durarak hatasız kaynak noktalarının elde edilmesine yardımcı olacak öneriler de sunmuşlardır [34].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı üzerine bir seri çalışma da Sovyetler Birliğinde yapılmıştır. Bu çalışmalarda, Sovyet Demiryollarında kullanılan vagonların yapımında korozyona dayanıklı paslanmaz krom-nikelli çeliklerin kullanılması ve karbonlu



Şekil 4.25.- Ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynağında elektrod kuvvetine bağlı olarak kaynak akımı [ 34 ].



Şekil 4.26.- Ostenitik paslanmaz sacların nokta kaynağında çeşitli elektrod kuvvetlerinde sac kalınlığına bağlı olarak kaynak akımı [ 34 ].

çelikler ile de kaynağı problemleri araştırılmıştır. Sovyet GOST standardına göre üretilen ve standardize edilen bu tür çeliklerin birbirleriyle nokta kaynağı bağlantılarının yanısıra eritme kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri esas alınmıştır. Bağlantılarda çekme-makaslama mukavemeti, yorulma etkisi ve hatta korozyon olayları incelenmiştir [35, 36]. Bu çalışmalar uluslararası standartlara uygun olmadığından üzerinde fazla durulmamıştır.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemetine etkisinin incelenmesi yanısıra, bu bağlantılarda gerilmeli korozyon ve tanelerarası korozyon olaylarının oluşup oluşmadığı konusunda araştırmalar da mevcuttur.

Anık, Dorn ve Kassner [37], ostenitik paslanmaz çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı bağlantılarında, bağlantının gerilmeli korozyon özelliklerini incelemek amacı ile X12CrNi 18 8 çeliğinden 1 mm. kalınlığında, 30 mm. genişliğinde ve 100 mm. uzunluğunda deney parçalarını hazırlayarak tesadüfi bir dağılım ile bu deney parçalarını 30 mm. üst üste bindirerek ve tam bindirme bölgesi ortasından nokta kaynağı yapmışlardır. Deneylerde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 4.2'de özetlenmektedir.

Tablo 4.2.- Uzun ve kısa kaynak sürelerinde kaynak parametreleri [34].

Kaynak Parametreleri	Birim	Kısa Kaynak	Uzun Kaynak
Akım Zamanı	Periyod	5	50
Kaynak Akımı	kA	10,5	7,5
Elektrod Kuvveti	kN	5,0	4,0
Son Tutma Süresi	Periyod	50	50
Elektrod Malzemesi : CuCr ( DIN 44759 )			
Elektrod Formu : 6 mm. uç çaplı, konik			

Araştırmacılar, su altında kısa kaynak sürelerinde nokta kaynağını gerçekleştirerek, bağlantının oluşturulmasında hava etkini ve renklemenin önlenmesini amaçlamışlardır. Kaynak edilerek hazırlanmış deney parçaları % 42 lik MgCl çözeltisi içerisinde 10 ve 45 saatlik süreler ile kaynatılarak, gerilmeli korozyon deneyine tabi tutulmuş ve bağlantıların çekme makaslama mukavemetleri incelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 4.3'de verilmektedir.

**Tablo 4.3.- Gerilmeli korozyon deneyi uygulanan ve uygulanmayan bağlantıların çekme-makaslama deneyi sonuçları [ 37].**

Kaynak Türü	Çekme - Makaslama Deneyi Sonuçları ( k N )		
	MgCl' de kaynatılmış deney parçaları	10 saat MgCl'de kaynamış deney parçaları	45 saat MgCl'de kaynamış deney parçaları
Kısa Zaman	9,13 ( 9,42.....8,84 )	8,85	4,35
Su Altında Kısa Kaynak	9,42 ( 9,60.....9,23 )	8,98	9,03
Uzun Kaynak	8,78 ( 9,20.....8,36 )	8,86	8,11

Anık, Dorn ve Kassner araştırmalarında çekirdek kesitinde yaptıkları mikroskobik ve makroskobik incelemeler sonucunda kaynak özgerilmelerinden dolayı gerilmeli korozyon olayının ortaya çıktığını konstrüktörün bu konuda dikkatli olmasını tavsiye etmektedirler [ 37 ] .

Ostenitik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında tanelerarası korozyon mekanizmasını incelemek üzere Anık, Dorn ve Günaltan [38] X12CrNi 18 8, 1 mm.kalınlığında çelik sacların birleştirmelerini gerçekleştirmişlerdir. Tablo 4.2'de verilen kaynak parametrelerinin kullanıldığı

bu deneylerde ayrıca nokta çevresinde oluşan tavlama renginin giderilmesi için kısa süreli kaynak edilen bir seri bağlantı  $HCl + HNO_3 + H_2O$  çözeltisine daldırılmıştır. Böylece dört deney serisi incelenmiştir. Deney parçaları daha sonra Strauss Deneyine (DIN 50914-TS 3157) ve Huey Deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deneyler sonucunda da ağırlık kaybindan yola çıkılarak korozyon hızı ve mikroskobik inceleme ile de tanelerarası korozyonun oluşup oluşmadığı saptanmıştır.

Anık, Dorn ve Günaltan, çalışmanın sonucunda % 18Cr - % 8 Ni içeren ostenitik paslanmaz çelikleri nokta kaynağında kaynak süresinin karbon miktarına bağlı olarak uzun kaynak sürelerinde (50 periyod) dahi tanelerarası korozyona neden olamayacağını belirtmişlerdir [38].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin Mo ilave edilmiş bir türü olan X5CrNiMo 18 10 (AISI 316) çeliğinin nokta kaynağında ise tanelerarası korozyon olayı Blanco, Cabrera ve Choy [39], tarafından incelenmiştir. Deney parçaları nokta kaynağı işleminden sonra Strauss korozyon deneyine tabi tutulmuşlardır. Makalede deneylerde uygulanan kaynak parametreleri, deney parçalarının hazırlanması ile ilgili açıklayıcı bilgiler belirtilmemiştir. Çalışmada, esas metalde, ITAB'de ve çekirdekte tanelerarası korozyona hassasiyet incelenmiş olup sonuçlar mikroskobik olarak değerlendirilmiş ve ITAB'de tanelerarası korozyona hassasiyet olduğu ortaya çıkarılmıştır. Araştırmacılar,  $1050^{\circ}C$  de 30 dakikalık bir ısıl işlemin korozyon hassasiyetini ortadan kaldırdığını savunmaktadırlar [39].

## BÖLÖM 5. KONUNUN ÖNEMİ VE ÇALIŞMANIN PLANLANMASI

Paslanmaz çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı üzerine yapılan çalışmalar, bu tür sacların uçak, gemi, taşıt, kimya, gıda ve hatta uzay endüstrisinde direnç kaynağı ile birleştirilerek uygulama alanına girdiğini göstermektedir. Yapılan çalışmalar endüstride kaliteli kaynak bağlantılarının oluşturulması için direnç nokta kaynağı parametrelerinin saptanması açısından önemlidir.

Paslanmaz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı üzerine bilimsel araştırmaların yapılmasında A.B.D.'de uçak endüstrisinde kullanılmaları büyük etken olmuştur. Daha sonraları vagon yapımında da kullanılmaları bu çalışmalarını hızlandırmıştır. Ayrıca bilindiği gibi, A.B.D.'de kullanılan otomobillerde ekzost boruları paslanmaz çelik saclardan yapılmaktadır. Otomobil kaportalarında ise, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kullanılması ve bunların çeşitli kimyasal proseslerden sonra boyanarak korozyona karşı korunmaları ancak 20 yıl kadar dayanabilme süresi sağlamakta bu nedenlerden dolayı, otomobil üreticilerini daha uzun ömürlü otomobillerin yapımına yönlendirmektedir. Bu amaç ile, gelecek yüzyılların otomobillerinde korozyon problemini minimuma indirmek düşünüldüğünden paslanmaz çelik sacların ve parçaların kullanılması önem kazanmaktadır. Avrupa'da otomobil üreten iki firmanın paslanmaz çelik sacların kullanıldığı ilk uzun ömürlü prototipler üzerinde çalıştıkları yapılan literatür araştırmasından anlaşılmaktadır [6,7]. Gerçekten geleceğin yüksek mukavemeti ve paslanmaz otomobilleri, başta paslanmaz çelik saclardan, alüminyum alaşımlarından ve plastik malzemelerden oluşan karma bir yapıdan meydana geleceklerdir.

Endüstride, bu kadar yaygın uygulama alanı bulan paslanmaz çeliklerin nokta kaynağı ile birleştirilen

türlerin başında ostenitik paslanmaz çelikler gelmektedir. Ancak stratejik bir malzeme olan nikelin kritik hallerde zor bulunması ve özellikle pahalı olması sadece krom içeren ferritik paslanmaz çeliklerin uygulama alanlarını genişletmektedir. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin parlak ve dekoratif görünüşleri, gerilmeli korozyona karşı yüksek dirençleri yanısıra fiyatlarının da ucuz olması özellikle kimya endüstrisinde, mutfak-ev eşyalarında ve mimarlıkta ekonomik ve yaygın olarak kullanılmalarını teşvik etmektedir. Bu nedenle hem ferritik paslanmaz sacların hem de ostenitik paslanmaz sacların birbirleriyle kaynak edilerek kullanıldıkları görülmektedir. Bunların elektrik direnç kaynağı yöntemleri ile birleştirilmeleri ekonomik ve ucuz olduğundan bir kısmı ferritik diğer kısmı ostenitik saclar-  
dan oluşan yapılarda fiyat dengelenmesi önemli ölçüde gerçekleştirilmektedir.

İncelenen literatür çalışmalarından anlaşılacağı üzere ferritik ve ostenitik paslanmaz çelik çiftinin elektrik direnç nokta kaynağı üzerine çalışma yapılmadığı görülmüştür. Böyle bir boşluğun doldurulması amacı ile, bu tür çeliklerin birbirleriyle nokta kaynağı bağlantılarının kaliteli olup olmayacağı düşünülerek, seçilen ostenitik ve ferritik saclardan deney parçaları hazırlanmış ve seçilen bazı nokta kaynağı parametreleri ile kaynak edilmişlerdir. Bu ön deneylerden olumlu sonuçlar alındığı görüldükten sonra, kaliteli nokta kaynağı bağlantılarının gerçekleştirilmesinde etkili olan kaynak parametreleri değiştirilmiştir. Zira kaynak parametrelerinin bağlantının çekme-makas-  
lama mukavemeti üzerine etkisi büyüktür. Çalışma da, ferritik - ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağında optimum kaynak koşullarının bulunması amaçlanmıştır. Deneylerde daha sonra ileri bir aşamada, bağlantıda korozyon problemlerinin ortaya çıkaracağı sorunların önceden görülerek incelenmesi düşünülmüştür. Tanelerarası korozyon olayına neden olan krom karbür çökmesinin saptanmasında kullanılan korozyon deneyleri araştırılarak, incelenmiş bunlardan deney sonrası mekanik bir deney gerektirdiği için



Strauss Korozyon deneyi esas alınmıştır [40]. Bu deneyden sonra bağlantının mekanik özelliklerindeki değişimlere bakılmasının yanısıra tanelerarası korozyona neden olan krom karbür çökmesinin oluşup oluşmadığı ve bağlantıda diğer bazı metalurjik değişimlerin varlığını anlamak için esas metal, ITAB ve kaynak çekirdeğinin makroskobik, mikroskobik incelenmesi planlanmıştır.



## BÖLÜM: 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 6.1. GENEL

Bu araştırmada, iki tür paslanmaz çelik sac (ferritik kromlu ve ostenitik krom-nikelli), aynı türler üçer seri halinde birbirleriyle ve farklı iki türde üç seri halinde birbirleriyle periyod ve kaynak akımı değiştirilerek (elektrod kuvveti ve elektrod formu sabit) elektrik direnç nokta kaynağı yapılmıştır. Bağlantının mekanik değerlerini saptamak amacı ile, bütün seriler çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuştur. Ferritik + Ostenitik paslanmaz çelik çiftine ait bağlantılar Strauss Korozyon Testine tabi tutulduktan sonra çekme-makaslama deneyi uygulanmıştır. Ayrıca mikro yapı özellikleri de araştırılmıştır.

### 6.2. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME

Araştırmada kullanılan ferritik kromlu ve Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelik saclar yurt dışından ithal edilmiş olup X 12 Cr Ni 18 8 ve X 8 Cr 17 çelikleridir. Bu çeliklerin kimyasal bileşimleri Tablo 6.1'de verilmiştir.

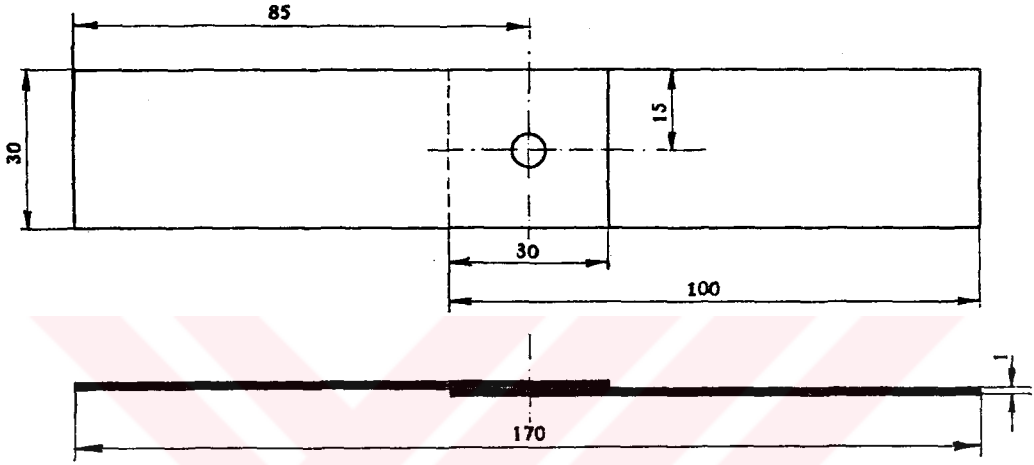
Tablo 6.1.- Deney parçalarının malzemelerinin kimyasal analizleri \*

Sac Malzemesi	Kimyasal Bileşim (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
X 12CrNi 188	0.089	0.287	1.42	0.013	0.004	18.28	8.21	0.39	0.48
X 8Cr 17	0.083	0.33	0.46	0.006	0.0003	16.59	0.24	0.028	0.13

\* ) Analizler Spektro-Lab. cihazı ile saptanmıştır. (OERLIKON A.Ş.)

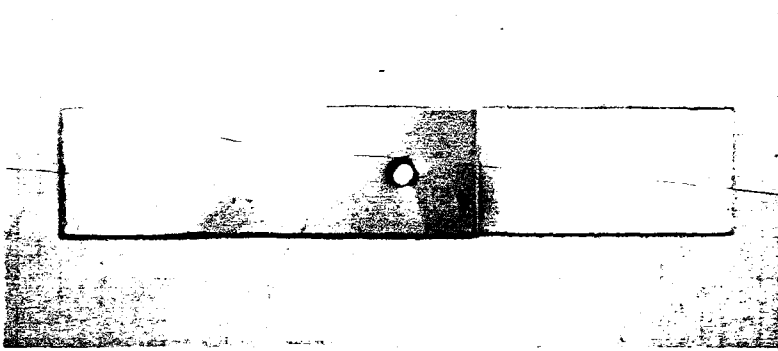
### 6.3. DENEY PARÇALARININ BOYUTLARI

Deneylerde, 1 mm. kalınlığında, boyutları Şekil 6.1 de verilen malzeme kullanılmıştır. Bu boyutların saptanmasında, kenar etkilerini ortadan kaldırmak, çekme-makaslama deneyi esnasında kırılmanın kaynak bölgesinde meydana gelmesini sağlamak ve minimum malzeme sarfiyatı gibi faktörler dikkate alınmıştır.



Şekil 6.1.- Deney parçasının boyutları ve kaynak noktasının pozisyonu.

Şekil 6.2'de de elektrik direnç nokta kaynağı yapılmış deney parçasının fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 6.2.- Nokta kaynağı yapılmış deney parçası.

#### 6.4. DENEY PARÇALARININ HAZIRLANMASI

Giyotin makas ile kesilerek tesadüfi bir şekilde dağıtılan, deney parçalarının yüzeyleri yağ, gres, pas v.s. yabancı maddelerden arındırılmak amacı ile sarf alkol içinde iyice yıkanmış ve çok temiz pamuklu bir bez ile silinerek temizlenmiştir.

#### 6.5. KAYNAK MAKİNASI

Deneylerde, 120 kVA gücünde\*, elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömatik basma tertibatlı elektrik direnç-nokta kaynak makinası kullanılmıştır.

Elektrod kuvveti, elektrodlar arasına yerleştirilen bir manometre \*\* ile ölçülerek ayarlanmıştır.

Kaynak akımı değerleri, makinanın alt koluna yerleştirilen manyetik alan ölçmeli, geniş alanlı bir ampermetre\*\*\* ile ölçülmüştür.

Kaynak makinası ve ölçümlerin yapıldığı donanımlar Şekil: 6.3'de toplu olarak gösterilmiştir.

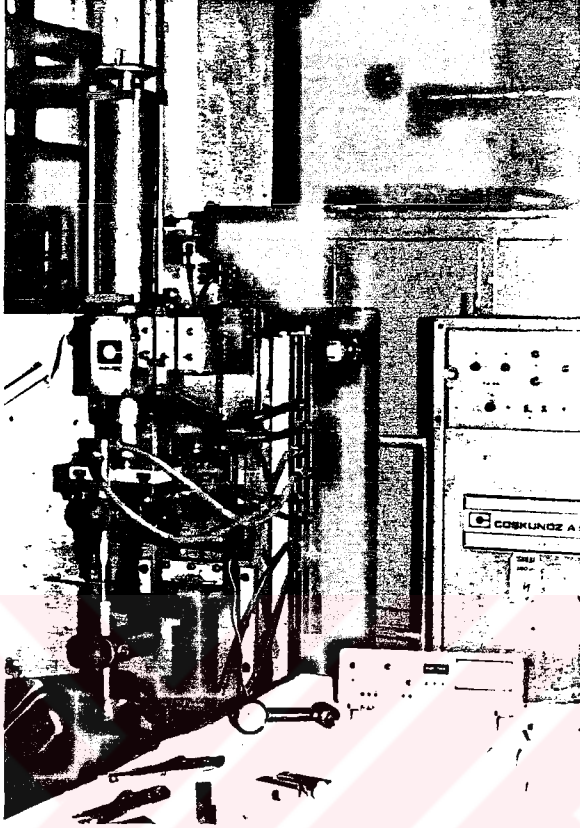
Nokta kaynağı süresi (periyod), ön ve son tutma süreleri makina üzerindeki elektronik düzenek ile ayarlanmıştır.

#### 6.6. ELEKTRODLAR

Deneylerde kesik koni uçlu, uç çapı 6 mm. olan saf bakır elektrodlar kullanılmıştır. Elektrodlar deneyin yapıldığı firmada özel olarak hazırlanmaktadır.

---

\* ) Tek Kollu Çoşkunöz Marka (ÇOŞKUNÖZ A.Ş.)  
 \*\* ) Çoşkunöz A.Ş.'de kendi üretimleri (ÇOŞKUNÖZ A.Ş.)  
 \*\*\* ) Messer-Griesheim PECO Widerstands- Schweisstechnik SM12A (ÇOŞKUNÖZ A.Ş.)



Şekil 6.3.- Deneylerde kullanılan nokta kaynak makinası ve yardımcı cihazlar.

## 6.7. DENEYLERİN YAPILIŞI

### 6.7.1. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI İŞLEMİ

Deney parçaları önceden bahsedildiği gibi temizlenip hazırlandıktan sonra Şekil: 6.1'de görüldüğü üzere, üst üste bildirilerek direnç nokta kaynağı işlemine geçilmiştir. Önce ostenitik-ostenitik çifti; ferritik-ferritik çifti daha sonra da ferritik-ostenitik çiftine ait deney serileri kaynak edilmiştir. Yapılan ön çalışmalar sonucu, elektrodun basma kuvveti deneyler boyunca 500 da N.olarak seçilmiştir.

Kaynak süreleri 5, 15, 25 periyod olarak değiştirilmiştir. Ön ve son tutma süreleri bütün serilerde sabit tutulmuş olup 25 periyod olarak alınmıştır.

Kaynak akımı 4,5 kA'den başlatılarak 1 kA ara ile arttırılarak 13,5 kA'e kadar çıkılmıştır.

Her deney şartında en az altı çift parça kaynak yapılmıştır. Bunlardan üç çift çekme-makaslama, diğer üç çift korozyon - çekme - makaslama deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca çekirdek kesiti alınarak mikroskopik, makroskopik ve mikro sertlik incelemesi yapılmıştır.

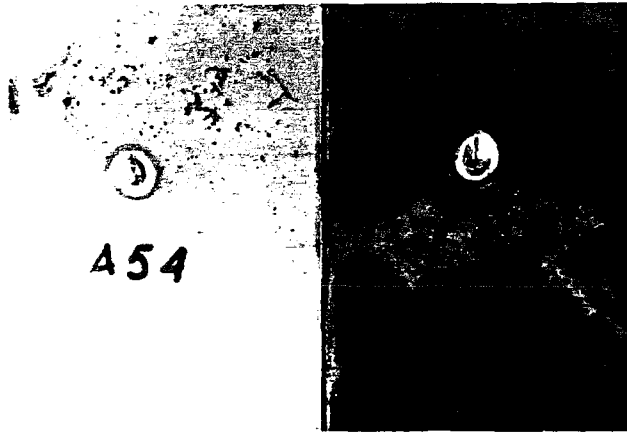
#### 6.7.2. ÇEKME-MAKASLAMA DENEYİ

Kaynak yapılmış parçalar, laboratuvar koşullarında 5 tonluk universal çekme makinasında\* çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuşlardır. Çekme-makaslama kuvveti olarak verilen değerler, çekme makinası skalasından okunan Maksimum kopma yüküdür. Deneyler esnasında üç değişik kopma tipi elde edilmiştir. Bunlar ayrılma kopması, düğmelenme tarzında kopma ve ferritik - ostenitik çiftinde gözlenen yırtılma tarzındaki kopmalardır (Şekil 6.4). Çekme hızı 7 mm/dak. olarak bütün parçalarda sabit tutulmuştur.

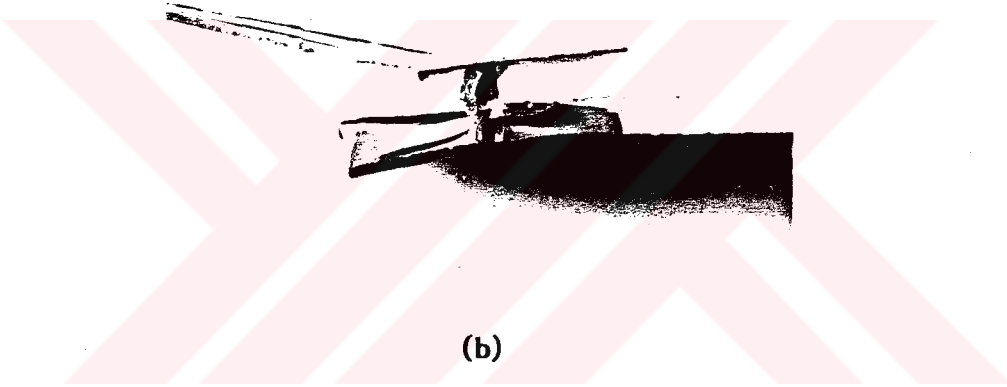
#### 6.7.3. KOROZYON DENEYİ

Paslanmaz çeliklerden yapılan kaynak bağlantılarına uygulanan korozyon deneylerinden Strauss Deneyi (TS 3157), deney şartları, süre ve deney sonrası incelemeler gözönüne alınarak tercih edilmiştir. Deney, yalnız ferritik-ostenitik çiftine ait kaynaklı serilere uygulanmıştır. Strauss Korozyon Deneyinin seçilmesinin başlıca amacı, kaynaklı bağlantılarda, tanelerarası korozyonun oluşup oluşmadığını görülebilir hale getirmesidir.

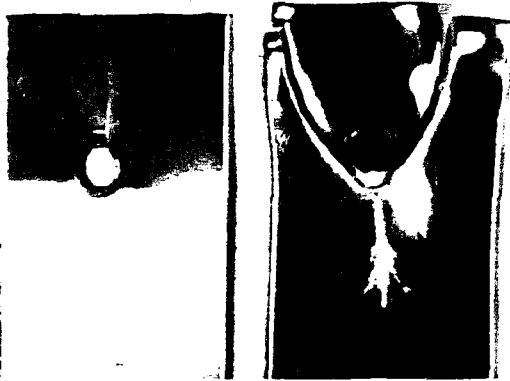
\* ) Otto-Wolpert Marka, maksimum 5 ton (İ.İ.Ü.)



(a)



(b)



(c)

**Şekil 6.4.- Direnç nokta kaynak bölgesindeki kırılma şekilleri.**

- (a) Ayrılma kopması,
- (b) Düğmelenme,
- (c) Yırtılma.

### 6.7.3.1. KOROZİF ÇÖZELTİ

Korozyon deneyinde sülfürik asit/bakır sülfat çözeltisi; analitik saflıkta reaktifler kullanılarak, parça boyutları da dikkate alınarak 1150 ml. olarak aşağıdaki şekilde hazırlanmıştır.

115 gr.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 700 ml. saf su içinde çözülmüştür. Daha sonra 115 ml.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho_{20} = 1,84$  gr/ml) yavaş yavaş ilave edilerek çözülme hızlandırılmış, bu çözeltiye 57,5 gr. elektrolitik bakır talaşı eklenerek, saf su ile çözelti hacmi 1150 ml'ye tamamlanmıştır.

### 6.7.3.2. KULLANILAN AYGITLAR

- Geniş ağızlı, 1500 ml. kapasiteli 4 adet erlenmeyer,
- Kaynama esnasında çıkacak asit buharlarını yoğunlaştırmak amacıyla erlenmeyer üzerine takılan 4 boğumlu, 4 adet yoğuşturucu,
- Çeşitli maşalar,
- Çözeltiyi sürekli kaynar halde tutmak için elektrikli ısıtıcı.

Şekil 6.5.de Strauss deneyinde kullanılan aygıtları ve deney düzeneğini toplu halde görmek mümkündür.

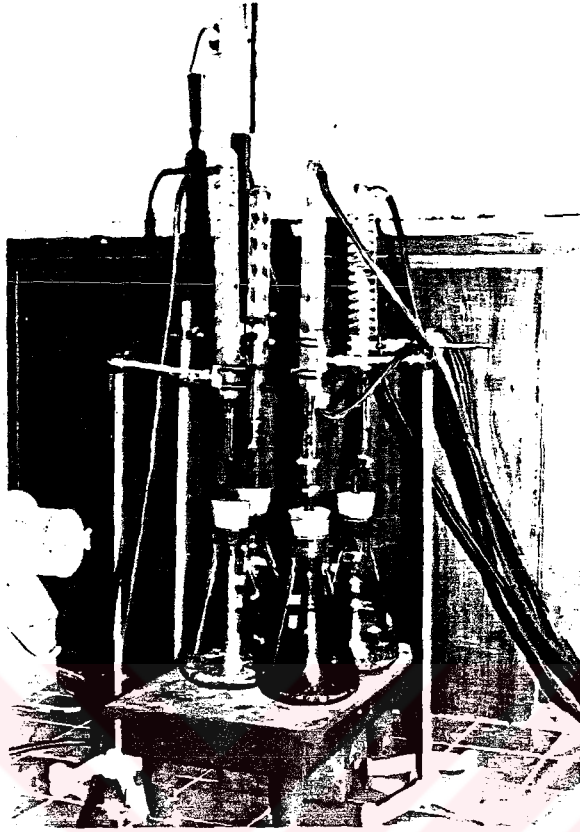
### 6.7.3.3. DENEY SÜRESİ

TS 3157'ye uygun olarak, deney süresi 15 saat seçilmiştir. Deney süresince ortam şartları sabit tutulmuştur.

### 6.7.3.4. KOROZYON DENEYİ UYGULANMIŞ PARÇALARIN ÇEKME-MAKASLAMA DENEYİ

Korozyon deneyine tabi tutulmuş parçalar 5 tonluk universal çekme makinasında, diğer serilere uygulanan şartlarda çekilmişlerdir.





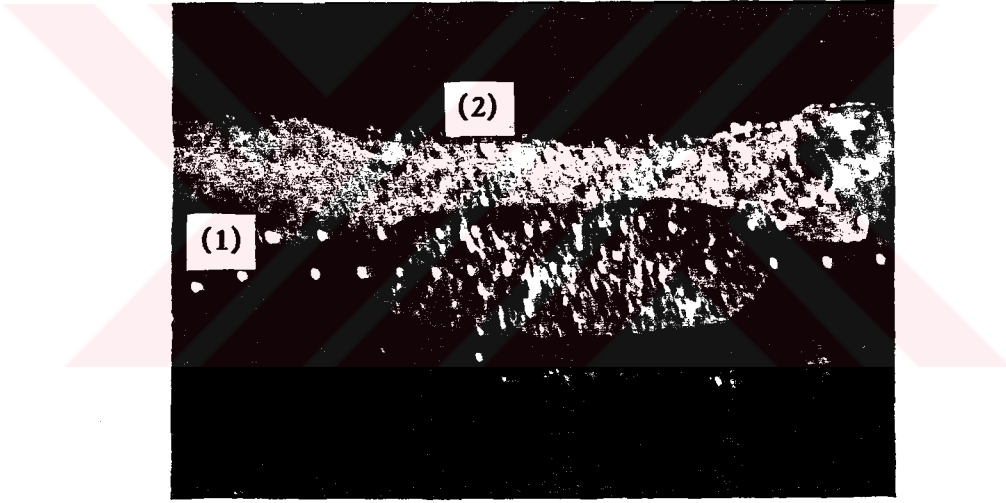
Şekil 6.5.- Strauss Korozyon deneyi için kullanılan düzenek.

#### 6.7.3.5. KOROZYON DENEYİ UYGULANMIŞ PARÇALARIN METALOGRAFİK İNCELENMESİ

Korozyon deneyi uygulanmış parçalardan çekme-makasla- ma deneyi yanısıra, örnek parçalar seçilmiş, tanelerarası korozyon ve çatlama olaylarının araştırılması amacıyla, me- kanik olarak çekirdek ortasından kesilmiştir. Metalografik muayene için kaba ve ince zımparalamadan sonra parlatma yapılmış, daha sonra parçalar iki ayrı solüsyonda dağlan - mıştır. Ancak biri ferritik, diğeri ostenitik paslanmaz çelikler için hazırlanan çözeltiler ile yapıyı tam olarak ortaya çıkarmak mümkün olmadığından Adler ayracını kullan- mak zorunluğunda kalınmıştır.

#### 6.7.4. KAYNAK BAĞLANTISININ SERTLİK DENEYİ

Çekirdek kesitinde, esas metalde, ısının tesiri altındaki bölgede ve kaynak metalinde sertlik ölçülmesi standard Vickers Sertlik Ölçme Cihazında\* gerçekleştirilmiştir. 1 kg. deney yükü altında 30 s. süre ile izler oluşturulmuş ve sertlik ölçümleri korozyon deneyi uygulanmayan ve uygulanan ferritik-ostenitik çiftine ait parçalar üzerinde, mikroskopik inceleme sonucu saptanan örnek parçalarda uygulanmıştır. Sertlik taraması ferritik ve ostenitik metal tarafından ayrı ayrı yapılmış, bazı örneklerde ise dikey dik kesitte ölçmeler yapılmıştır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6.- Kaynak çekirdeğinde sertlik ölçümü.

- (1) Boyuna sertlik ölçme izleri,
- (2) Enine sertlik ölçme izleri.

---

\* ) Karl Frank Marka Vickers Sertlik Ölçme Cihazı (İ.İ.Ü.)

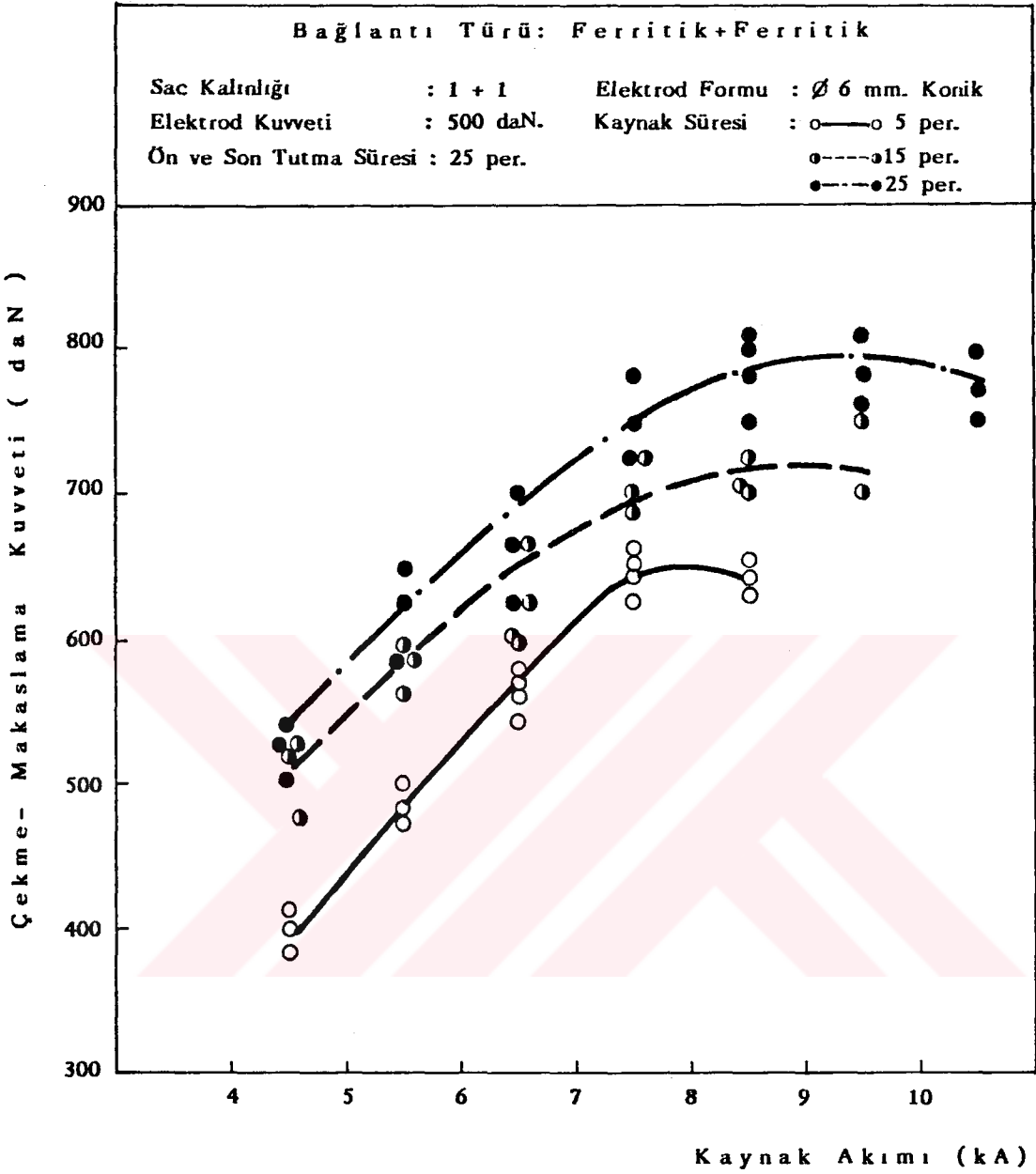
## BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Bu çalışmanın esas amacı ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağına ait bağlantıların çekme-makaslama mukavemetlerinin incelenmesi ile bu tür bağlantılardaki tanelerarası korozyonun etkisinin araştırılmasıdır. Bunun için özellikle ferritik-ferritik ve ostenitik-ostenitik paslanmaz çelik saclara ait nokta kaynağı bağlantıları ile bir karşılaştırma yapabilmek üzere ferritik ve ostenitik bağlantıların çekme-makaslama mukavemetleri kendi deney koşullarımızda bir defa daha ele alınmıştır ve dolayısıyla ile de, ferritik-ferritik ve ostenitik-ostenitik çeliklere ait bağlantıların korozyon deneyi ayrıca yapılmamıştır.

### 7.1. KOROZYON DENEYİNE TABİ TUTULMAMIŞ BAĞLANTILARIN ÇEKME-MAKASLAMA MUKAVEMETLERİ

#### 7.1.1. KAYNAK AKIMININ ETKİSİ

Deneylerde kullanılan ferritik paslanmaz çelik sacların nokta kaynağı bağlantılarında kaynak akımının etkisi Şekil 7.1'deki diyagramlarda görülmektedir. Bağlantılarda sabit tutulan her üç kaynak süresinde 4,5 kA gibi düşük akım şiddetlerinde küçük çekirdek kesiti olduğundan ayrılma tipinde kopma olmakta ve düşük mukavemet değerleri elde edilmektedir. Arttırılan akım şiddeti ile 5 periyod olarak sabit tutulan kaynak süresinde düşük çekme-makaslama mukavemeti değerleri elde edilirken, 25 periyodluk kaynak süresinde 8,5 kA ile 9,5 kA'de maksimum çekme-makaslama mukavemeti değerleri elde edilmiştir. 15 periyodluk kaynak süresinde ise arttırılan akım şiddetine bağlı olarak elde edilen değerler her iki eğrinin ortasında yer almaktadır.



Şekil 7.1.- X8Cr17 ferritik paslanmaz çeliğinin nokta kaynağında akım şiddetinin mukavemete etkisi.

Ferritik paslanmaz çelik sacların (1 mm. kalınlık) kaynağında arttırılan kaynak akımının yanısıra kaynak süresinin uzun tutulması, ısı girdisini arttırdığından kaynak çekirdeği kesiti büyümekte ve daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir. Burada şu hususu açıklamakta yarar vardır, zira daha uzun kaynak sürelerinde yapılan ön deneylerde arttırılan akım şiddetine bağlı olarak elde

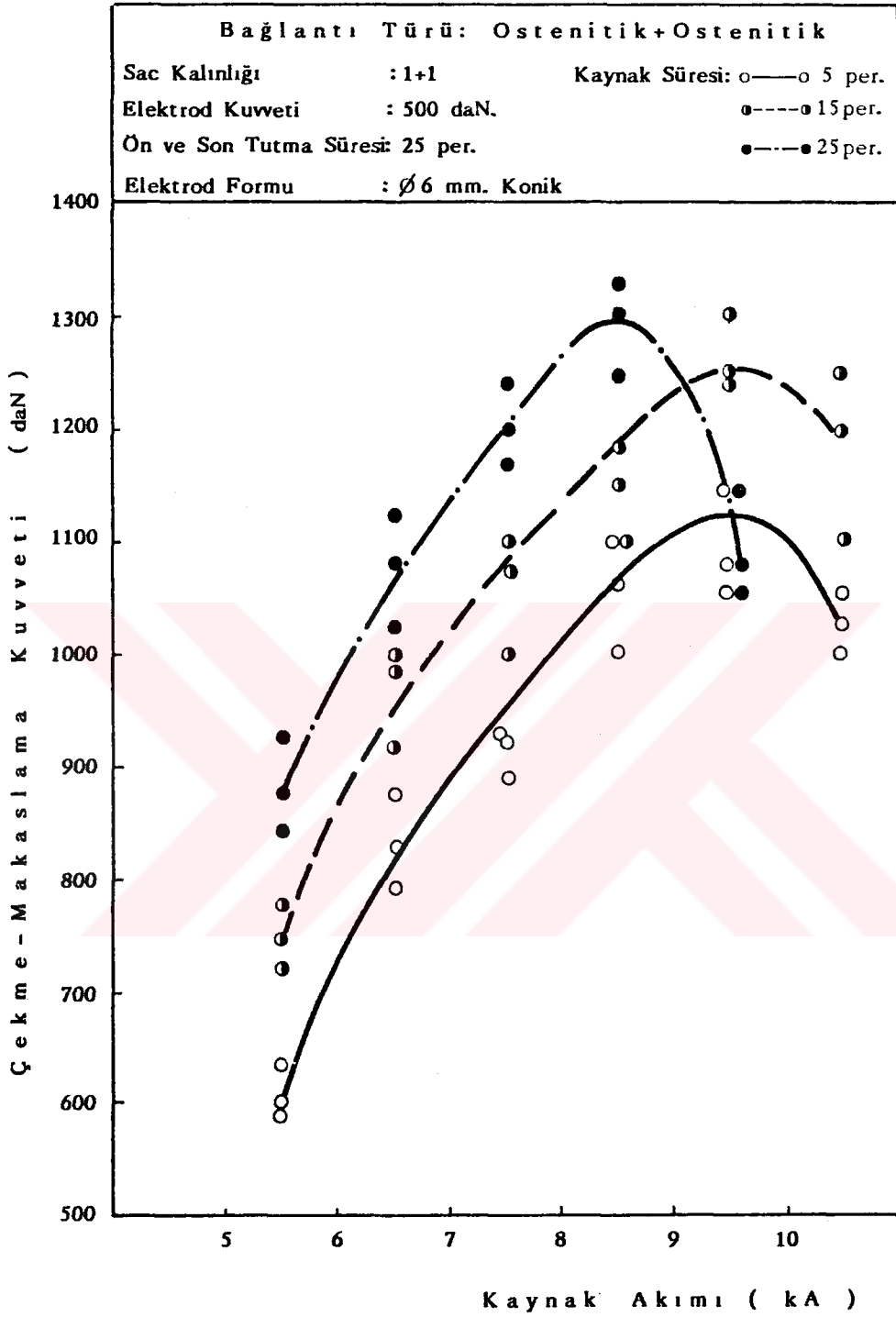
edilen çekme-makaslama mukavemeti değerlerinin 25 periyodluk kaynak süresinde elde edilen değerler ile çakıştı-  
tığı görülmüştür.

Bu tür sacların nokta kaynağında 9,5 kA akım sidde-  
tinden sonra mukavemetin düşmesinin nedeni sac ara yüzeyle-  
rinde fişkıırma oluşmasıdır. Özellikle 12,5-13,5 kA'lık  
yüksek akım şiddetlerinde saclar arasından kuvvetli bir  
fişkıırmanın (Şekil 7.2) yanısıra sac üst yüzeylerinden de  
fişkıırma oluşmakta dolayısı ile derin ve çirkin elektrod  
izleri kaynak kalitesini ve mukavemeti önemli ölçüde dü-  
şürmektedir.



Şekil 7.2.- 25 periyod, 12,5 kA'de sac arayüzeyinde  
oluşan aşırı fişkıırma.

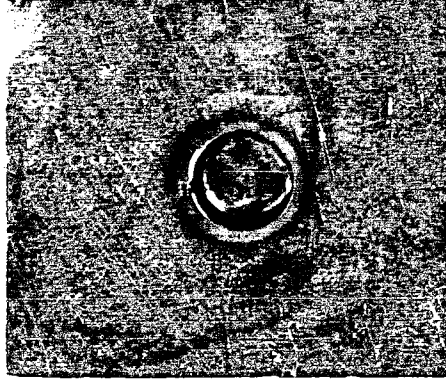
Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin ferritik  
kromlu çeliklere nazaran daha yüksek mukavemete sahip ol-  
maları, bu tür çeliklerin nokta kaynağı bağlantılarının  
da yüksek çekme-makaslama mukavemetine sahip olduklarını  
göstermektedir. Şekil 7.3'de bu tür çeliklere ait nokta  
kaynağı bağlantılarında artan kaynak akımının etkisi gö-  
rölmektedir. Diyagramın incelenmesinden görüleceği üzere  
25 periyod olarak sabit tutulan kaynak süresinde arttırılan



**Şekil 7.3.- X 12 CrNi 18 8 ostenitik paslanmaz çeliğinin nokta kaynağında akım şiddetinin mukavemete etkisi.**

akım şiddetine bağlı olarak 8,5 kA'de maksimum çekme-makaslama mukavemeti elde edilmiştir.

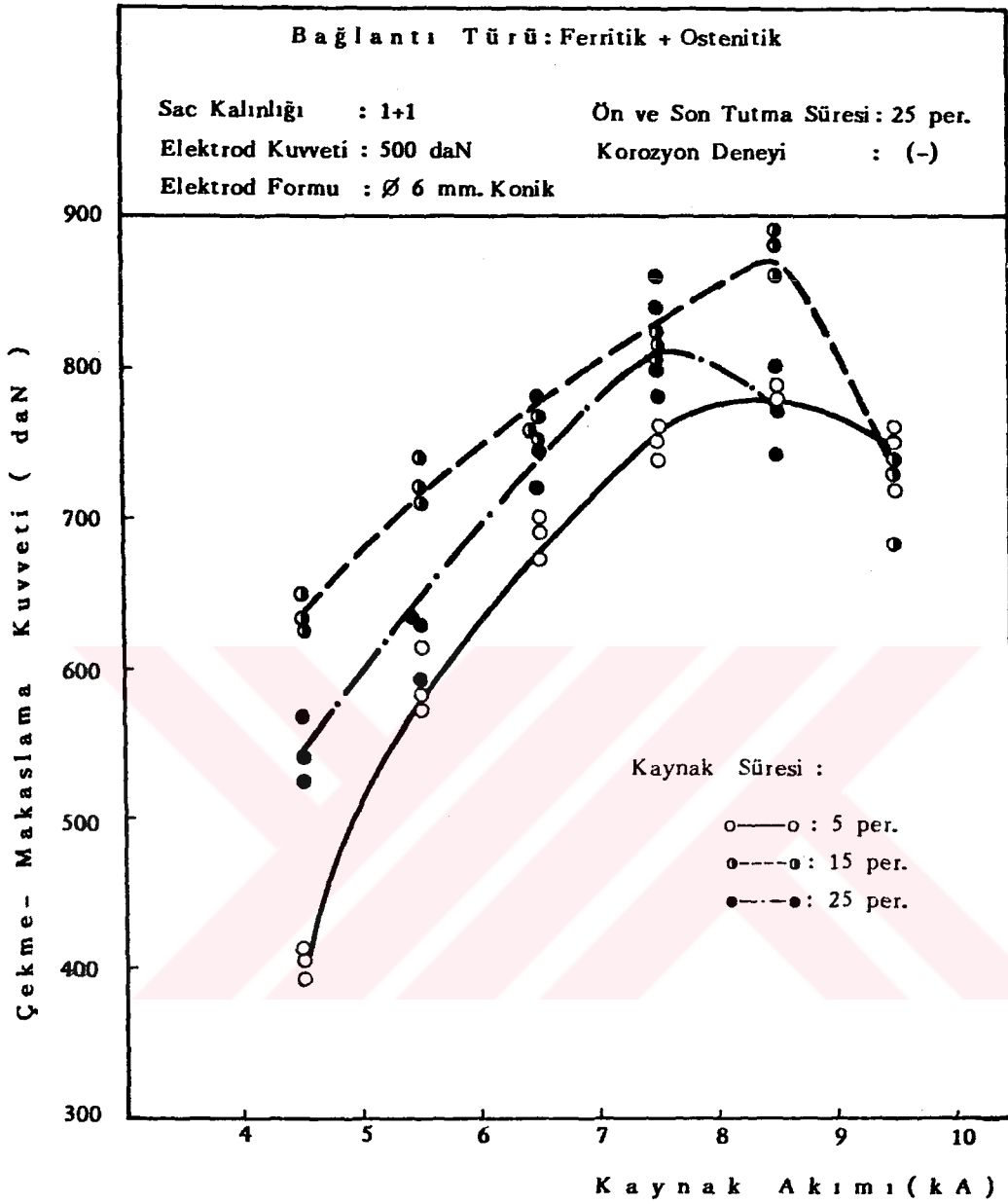
Daha yüksek akım şiddetlerinde ise saclar arasından fıçkırma ve derin elektrod izlerinin yanısıra nokta çevresinde renklenme ile bağlantının kalitesi düşmektedir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4.- Ostenitik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında yüksek akım şiddetlerinde kaynak yerindeki durumlar .

Bu çalışmanın esasını oluşturan bir tarafı ferritik ve bir tarafı ostenitik paslanmaz saclara ait nokta kaynağı bağlantılarında çekme-makaslama mukavemetine kaynak akımının etkisini gösterir diyagramlar Şekil 7.5'de verilmektedir. Kaynak süresinin 5 periyod olarak sabit alındığı birleştirmelerde 4,5 kA akım şiddetinde kaynak çekirdeği tam olarak oluşmadığından ayrılma tipinde kopma olmakta, artan akım şiddetine bağlı olarak çekirdek kesidi büyüyerek düğmelenme tipinde kopma oluşmaktadır. Bu kaynak periyodunda 8,5 kA'de 780 daN.luk bir çekme makaslama kuvveti elde edilmektedir.

15 periyod olarak alınan kaynak süresinde 4,5 kA akım şiddetinden itibaren kopma yükü artmakta ve 8,5 kA de 850-900 daN olarak bir maksimumdan geçmektedir. 25 periyodluk kaynak süresinde ise arttırılan akım şiddetine bağlı olarak elde edilen mukavemet değerlerinin değişimi ilginçtir. Zira daha önce incelenen yalnız ferritik ve yalnız ostenitik sacların nokta kaynağı bağlantılarında görülenin tersine bu kaynak periyodunda artan akım şiddetine bağlı olarak ortaya çıkan çekme-makaslama kuvveti değerleri 5 ve 15



Şekil 7.5.- Ferritik+Ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağı bağlantılarında akım şiddetinin mukavemete etkisi.

periyotlarda elde edilen değerlerin ortasında yer almaktadır. Bu kaynak periyodunda mukavemetin düşmesinin ana nedeni kaynak süresinin uzamasına bağlı olarak daha düşük akım şiddetlerinde ısı girdisinin artması ile fişkırmının erken başlamasıdır.



Ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftine ait nokta kaynağı bağlantılarında çekme-makaslama deneyinin uygulanmasında göze çarpan bir durum da akım şiddetinin artmasına bağlı olarak düğmelenme tipinde kopmaların oluşmasının yanı sıra ferritik çelikte çekirdek dibinden başlayarak yırtılma oluşmasıdır. Ferritik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağında çekirdeğe komşu ITAB'de iri taneli yapının gevrekliği bu olayın başlıca nedenidir. Bu tür kopmanın makrografisi Bölüm 6'da Şekil 6.4.c'de görülmektedir.

Ferritik-ostenitik çiftin nokta kaynağı bağlantılarında özellikle 8,5 kA'den daha yüksek akım şiddetlerinde sac arayüzeyinde hem ferritik hem de ostenitik taraftan fışkırma meydana gelmekte toplam fışkırma miktarı arttığından mukavemet önemli ölçüde azalmaktadır (Şekil 7.6).

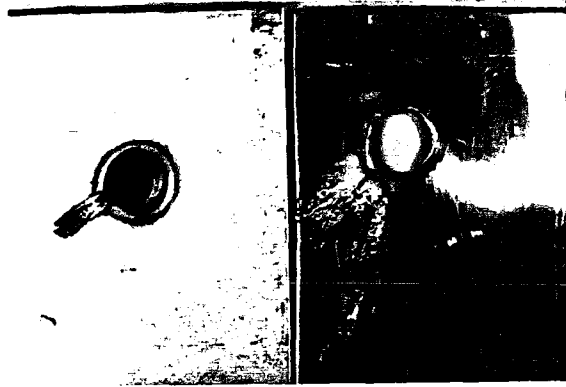


**Şekil 7.6.- Ferritik+Ostenitik çiftin nokta kaynağında yüksek akım şiddetlerinde hem ferritik hem ostenitik tarafta fışkırma.**

Özellikle 25 periyodluk kaynak süresinin sabit tutulduğu bağlantılarda ise saclar arasından fışkırmanın oluşmasının yanı sıra sac üst yüzeyinde (ostenitik çelikte) aşırı tav rengi ile elektrod basma yüzeyinden fışkırma oluşmaktadır. Çok yüksek akım şiddetlerinde görülen bu durum burada bir örnek olarak verilmiştir (Şekil 7.7).

#### 7.1.2. KAYNAK SÜRESİNİN ETKİSİ

Deneylerde kullanılan X8 Cr 17 ferritik paslanmaz çeliğin 1 mm. kalınlığında saclarının nokta kaynağında



Şekil 7.7.- Çok yüksek akım şiddetlerinde görülen fişkırma ve aşırı tav rengi.

kaynak süresinin çekme-makaslama mukavemetine etkisi Şekil 7.8'den görülmektedir. Kaynak süresinin artması ile bağlantının mukavemeti yükselmekte ve yüksek akım şiddetlerinde fişkırmanın başlamasına kadar devam etmektedir. Zira uzun kaynak süresi ısı girdisini arttırmakta çekirdek kesiti büyüyerek mukavemet artmaktadır.

X12 CrNi 18 8 ostenitik paslanmaz çeliğinin 1 mm. kalınlığında saclarının nokta kaynağında da kaynak süresinin etkisi Şekil 7.9'daki diyagramdan açıkça anlaşılmaktadır. Bu bağlantılarda da artan kaynak süresinde mukavemet yükselmektedir. Ancak 9,5 kA'den 10,5 kA'e kadar değerlerde 15 periyoddan sonra özellikle 25 periyodda oluşan fişkırmaya dolayısıyla değerlerin düşüşü görülmüştür.

Aynı kaynak koşullarında ferritik paslanmaz çelikte fişkırmanın meydana gelmemesi ferritik paslanmaz çelikler ile ostenitik paslanmaz çelikler arasındaki ısı iletimine bağlıdır. Ostenitik paslanmaz çelikler ferritik türlere nazaran ısıyı daha az ilettilerinden 25 periyodda biriken ısı yoğunluğu da fişkırmanın erken başlamasına neden olmaktadır.

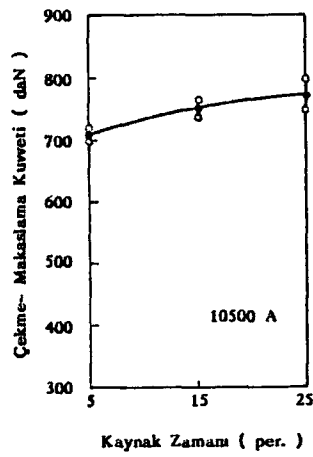
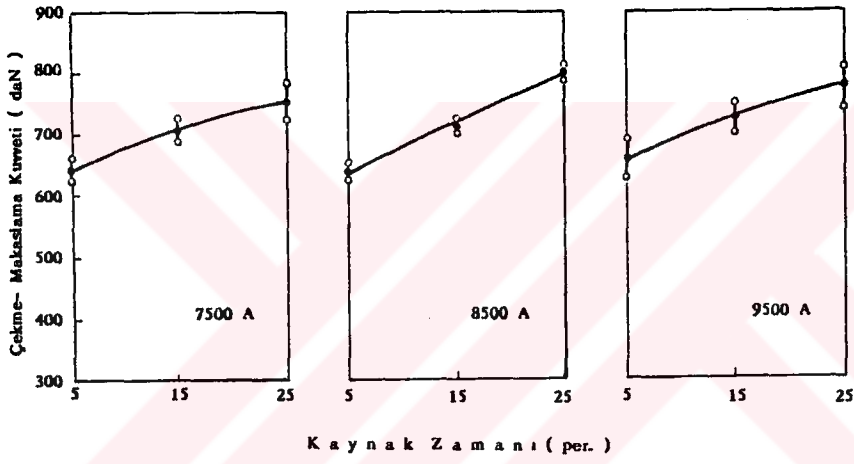
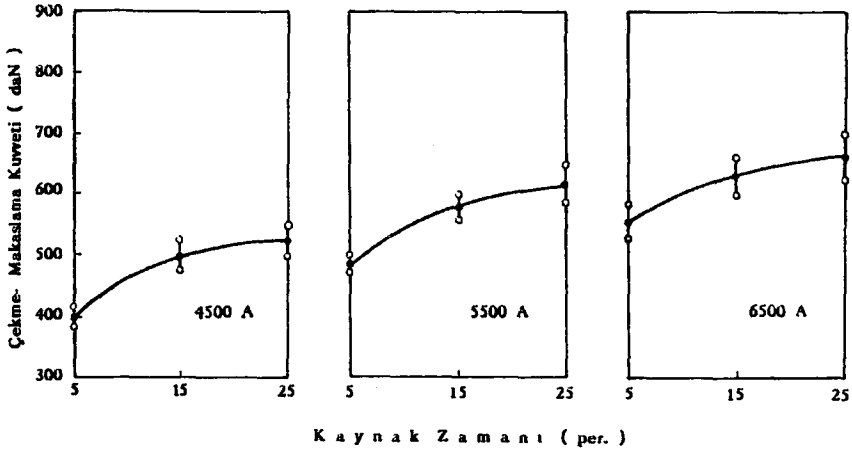
Şekil 7.10'da da ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağı bağlantılarında kaynak süresinin

mukavemete etkisi gösterilmiştir. Kaynak akımının etkisinde de ortaya çıkan ve dikkati çeken husus, 15 periyodluk kaynak süresinde elde edilen çekme-makaslama mukavemetinin, 25 periyoda göre daha yüksek olmasıdır. 25 periyodluk kaynak süresinde ısı girdisinin artması daha düşük akım şiddetinde fişkırmamanın erken başlamasına yol açmaktadır. Ayrıca ferritik tarafta ITAB'de tanelerin irileşmesi yapıyı gevrekletmektedir. Çekme-makaslama deneylerinde ferritik tarafta ITAB'de gevrekleşme etkisi daha iyi görülmüştür. Zira bu bölgeden başlayarak zamanla ilerleyen kırılma ferritik sacın yırtılmasına neden olmuştur.

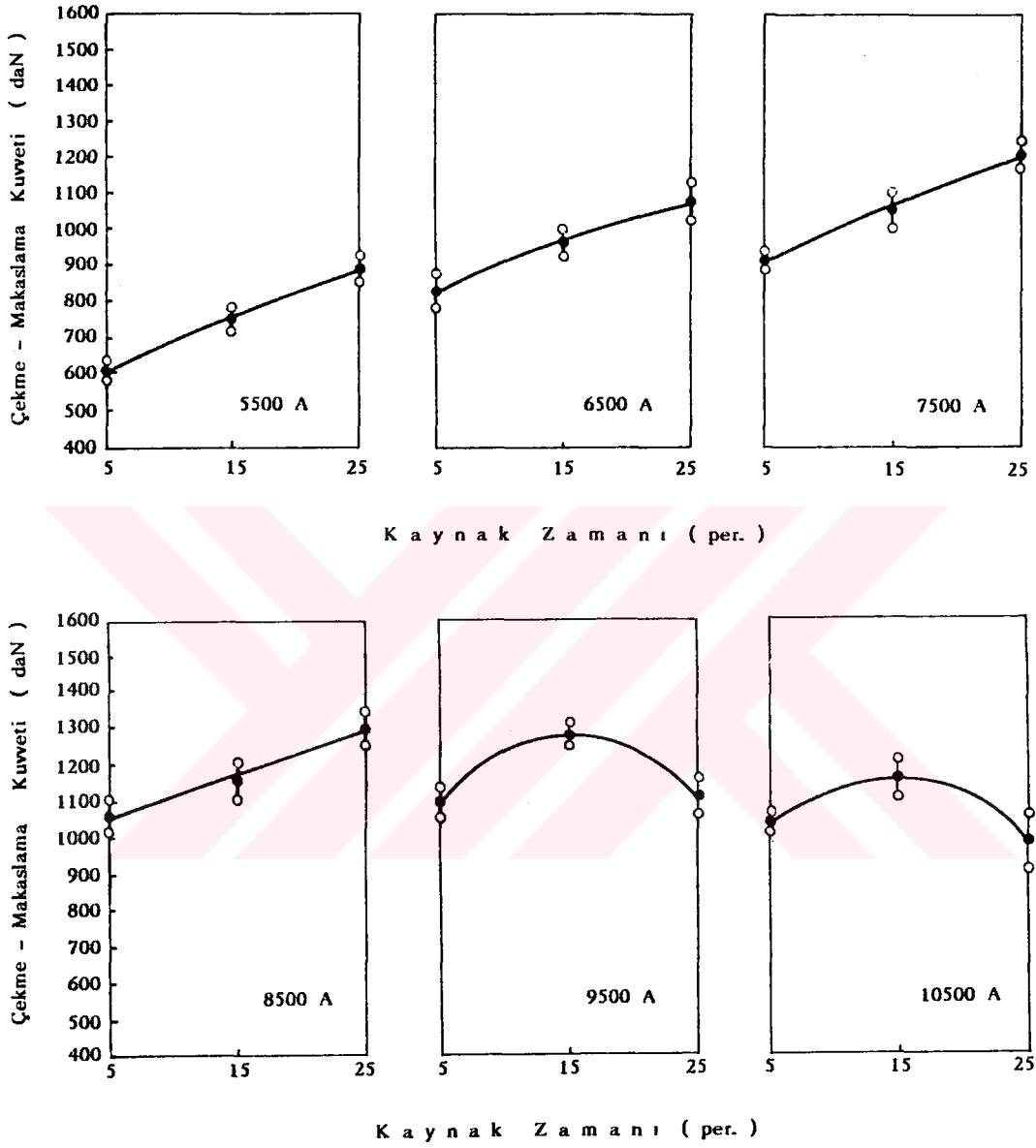
Kaynak süresinin ve dolayısı ile de ısı girdisinin etkisini bir diğer yönden incelediğimizde ferritik-ostenitik çifte ait bağlantıların çekme-makaslama mukavemetleri açısından ferritik-ferritik veya ostenitik-ostenitik bağlantılara göre yerini de saptamış oluruz. Bununla ilgili çubuk diyagramlar Şekil 7.11, Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'de görülmektedir. Her üç diyagramın incelenmesinden görüleceği üzere en düşük mukavemet değerlerine ferritik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağı bağlantılarında rastlanmaktadır. Ostenitik paslanmaz çeliklere ait nokta kaynağı bağlantıları ferritiklere göre oldukça yüksek mukavemetlidirler. Ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftine ait bağlantılar ise her iki türe göre orta mukavemet değerlerine sahiptir. Her iki çeliğin kombine bir birleştirmesi olan bu bağlantının mukavemet değerlerinin bu seviyelerde olması normaldir.

## 7.2. KOROZYON DENEYİNE TABİ TUTULMUŞ FERRİTİK-OSTENİTİK ÇİFTLERİN İNCELENMESİ

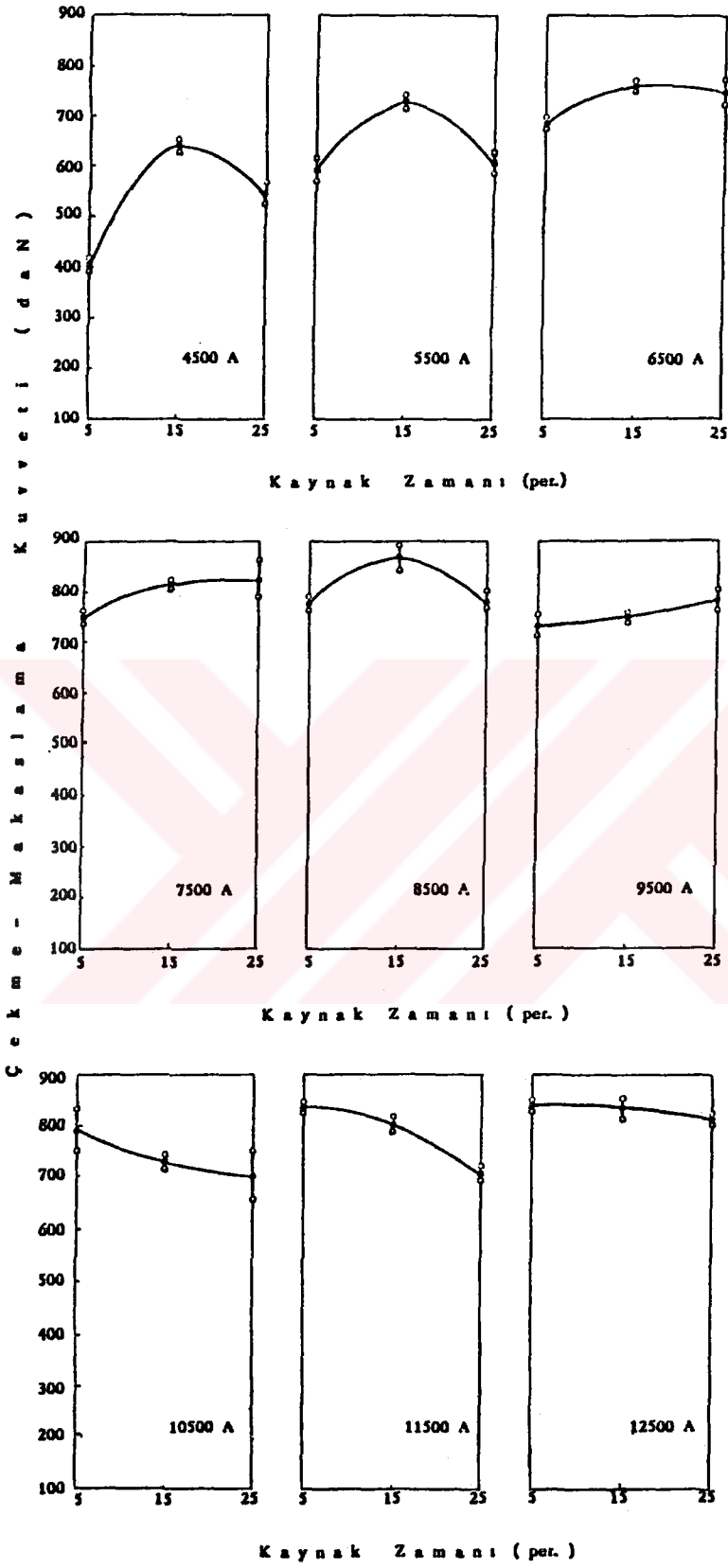
Bir tarafı ferritik, bir tarafı ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynağı bağlantılarında kaynak bölgesinde tanelerarası korozyona neden olan krom karbür çökelmesinin oluşumuna nokta kaynağı parametrelerinin etkisini incelemek amacıyla deney parçaları Strauss korozyon deneyine tabi tutulmuşlardır. Strauss korozyon deneyi



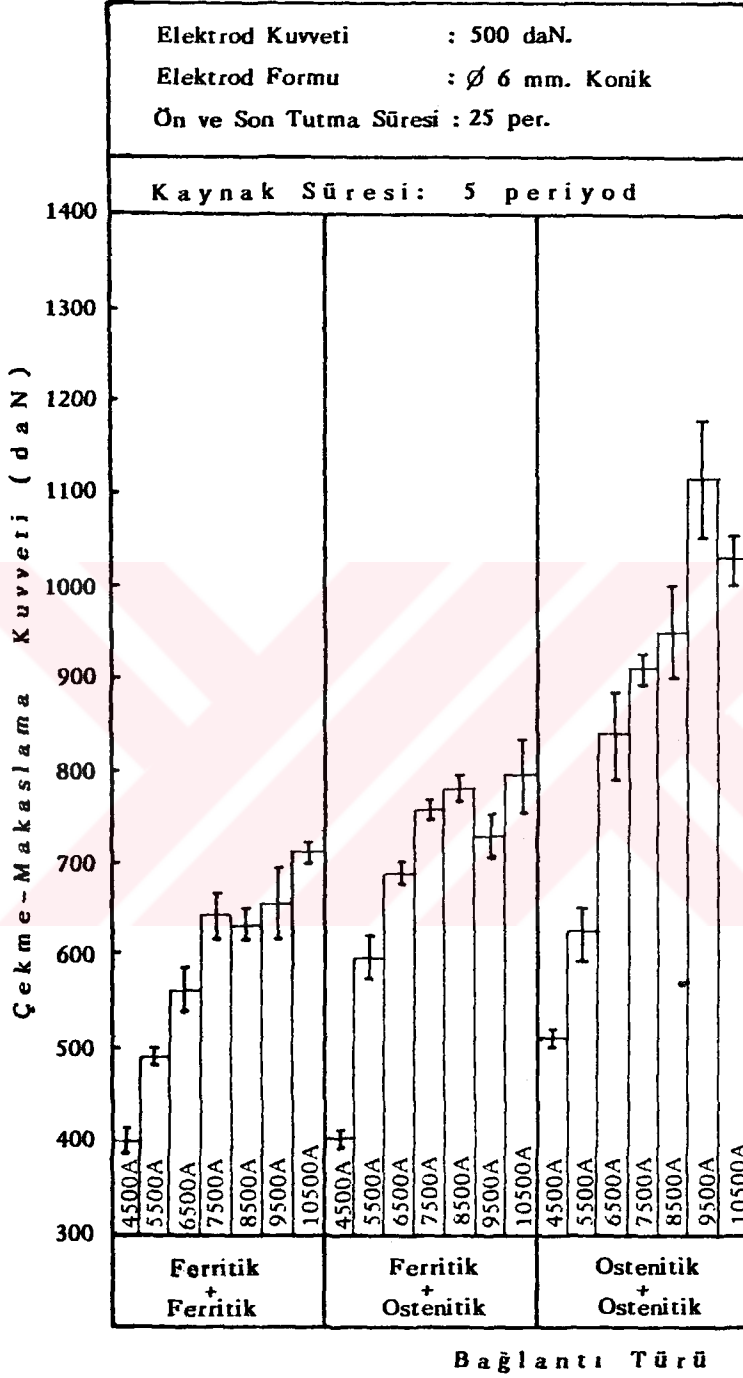
Şekil 7.8.- Ferritik paslanmaz sacların nokta kaynağı bağlantılarında kaynak süresinin mukavemete etkisi.



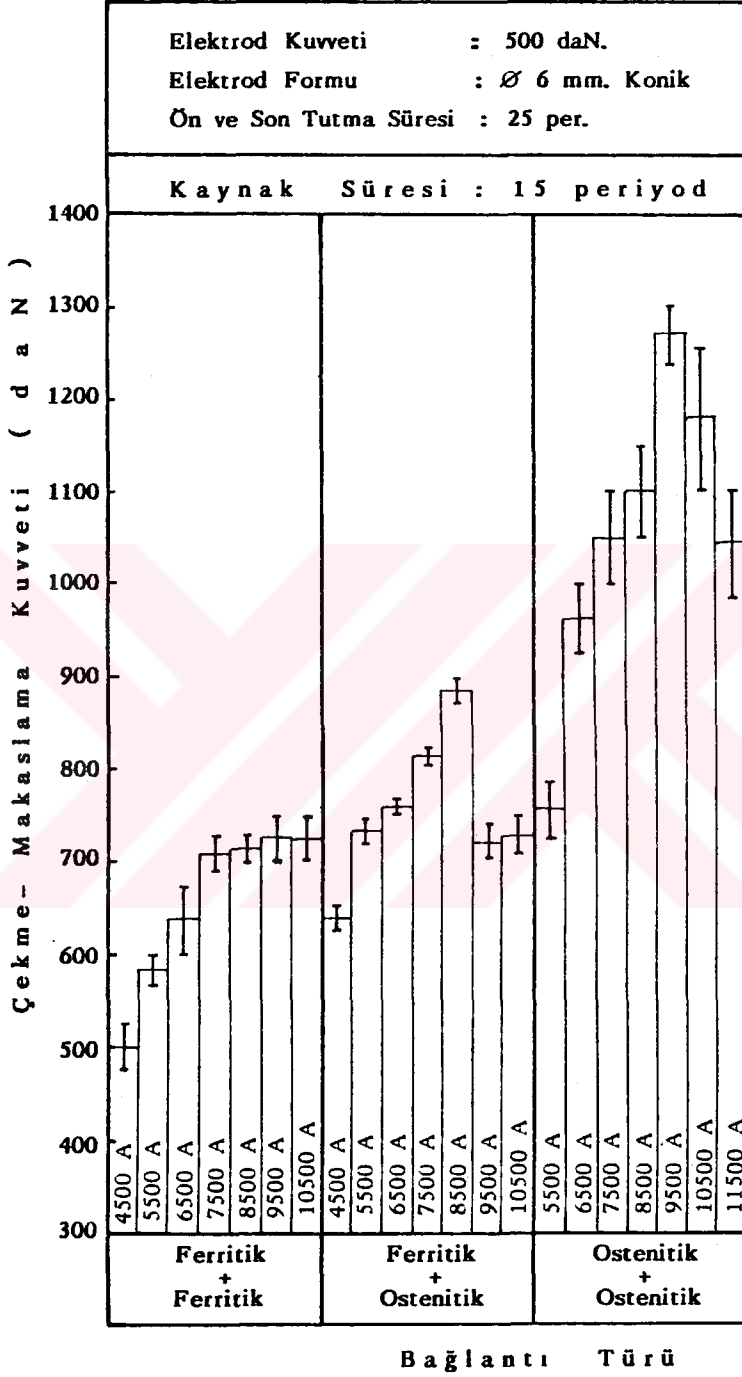
Şekil 7.9.- Ostenitik paslanmaz sacların nokta kaynağı bağlantılarında kaynak süresinin mukavemete etkisi.



Şekil 7.10.- Ferritik+Ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağında kaynak süresinin mukavemete etkisi.

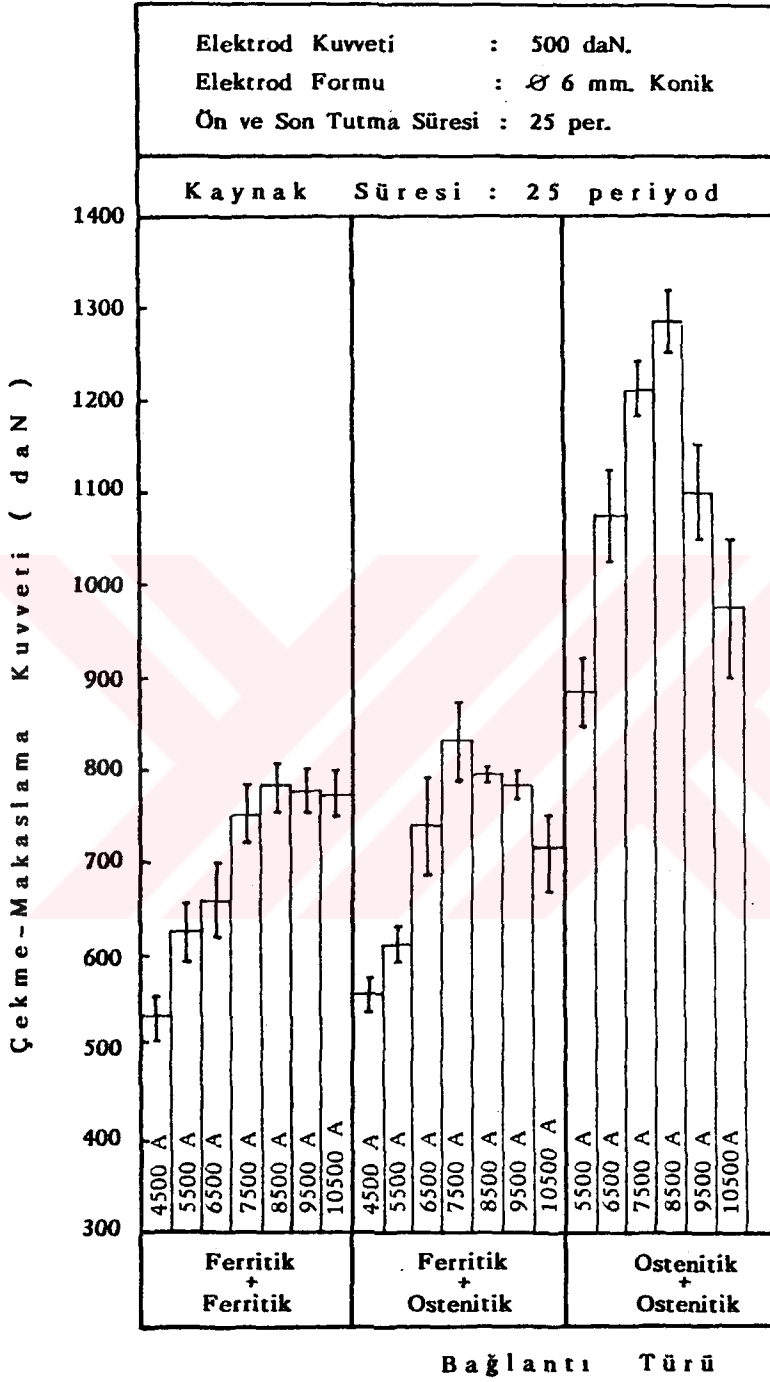


Şekil 7.11.- Paslanmaz çeliklerin nokta kaynağı bağlantılarının, 5 periyod kaynak süresinde çekme-makaslama mukavemetlerine göre karşılaştırılmaları.



Şekil 7.12.- Paslanmaz çeliklerin nokta kaynağı bağlantılarının, 15 periyod kaynak süresinde çekme-makaslama mukavemetlerine göre karşılaştırılmaları.

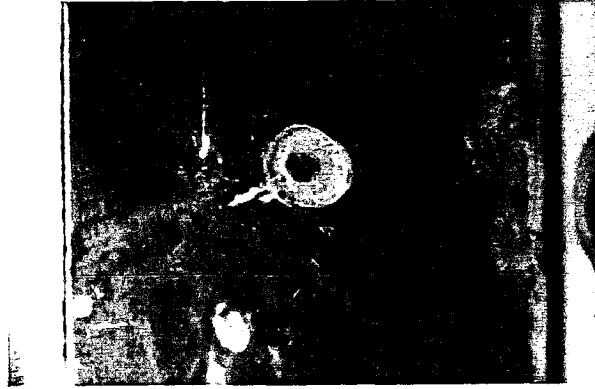




Şekil 7.13.- Paslanmaz çeliklerin nokta kaynağı bağlantılarının, 25 periyod kaynak süresinde çekme-makaslama mukavemetlerine göre karşılaştırılmaları.

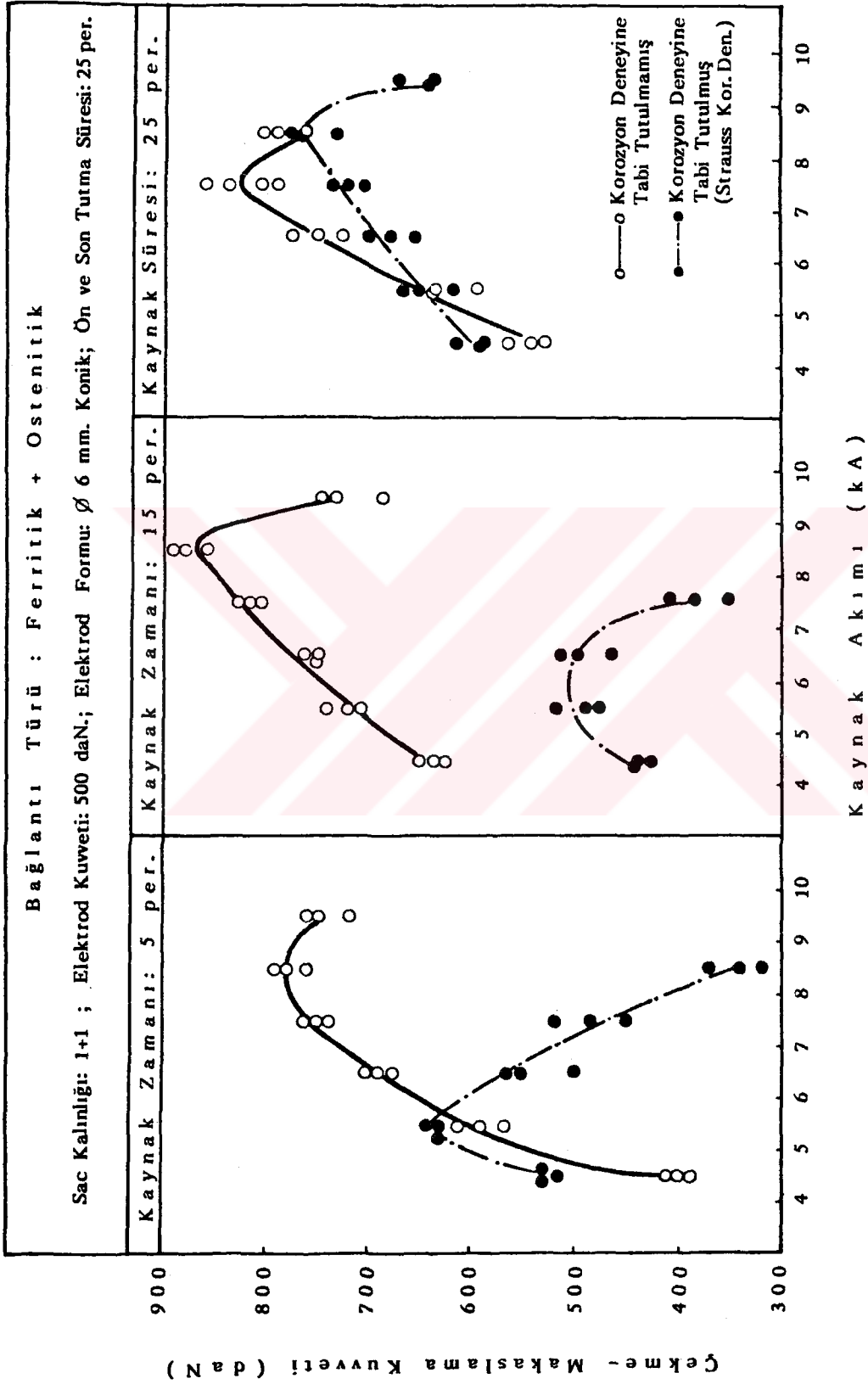
çözeltisinde kaynatılan parçalar daha sonra çekme-makasla-  
ma deneyine tabi tutularak koroziif ortamın mukavemete etki-  
si araştırılmıştır. Korozyon deneyi uygulanmış ve uygulan-  
mamış deney parçalarında kaynak akımının çekme-makasla-  
ma mukavemetine etkisini karşılaştırmalı olarak görmek Şekil  
7.14'de mümkündür. Eğrileri incelediğimizde ortaya çıkan  
ilginç sonuçları şöyle sıralayabiliriz:

Kaynak süresinin 5 periyod olarak sabit tutulduğu  
deney parçalarında artan kaynak akımı dolayısı ile artan  
ısı girdisine bağlı olarak 5,5 kA'de maksimum (650 daN)  
bir kopma yükü elde edilirken akım şiddetinin yükseltildiği  
bağlantılarda mukavemet hızla düşmektedir. Çekme-makasla-  
ma deneyinden sonra kopan parçaların makro incelenmesinden  
kopmanın tüm parçalarda ferritik çelik üzerinden ITAB'den  
oyularak olduğu ve çekirdeğin ostenitik çelik üzerinde  
kaldığı gözlenmiştir. Şekil 7.15'de 8,5 kA akım şiddetiyle  
kaynak edilmiş bir bağlantının ferritik çelik tarafındaki  
oyulma yüzeyi gösterilmektedir. Kopma yüzeyi incelendiğinde  
ITAB'de gevrek bir kırılma olduğu görülmektedir. Arttırılan  
ısı girdisinin ferritik çelikte ITAB'de tane irileşmesine  
neden olarak yapıyı gevrekleştirmesinden başka korozyon



Şekil 7.15.- 8,5 kA akım şiddeti ile kaynaklanmış bağlantıda korozyon  
deneyinden sonra ferritik taraftaki kopma yüzeyi.

deneyinin uygulanmasından sonra böyle bir durumun ortaya  
çıkması da tanelerarası korozyona neden olan krom-karbür  
çökmesini de teşvik ettiğini ortaya koymaktadır.

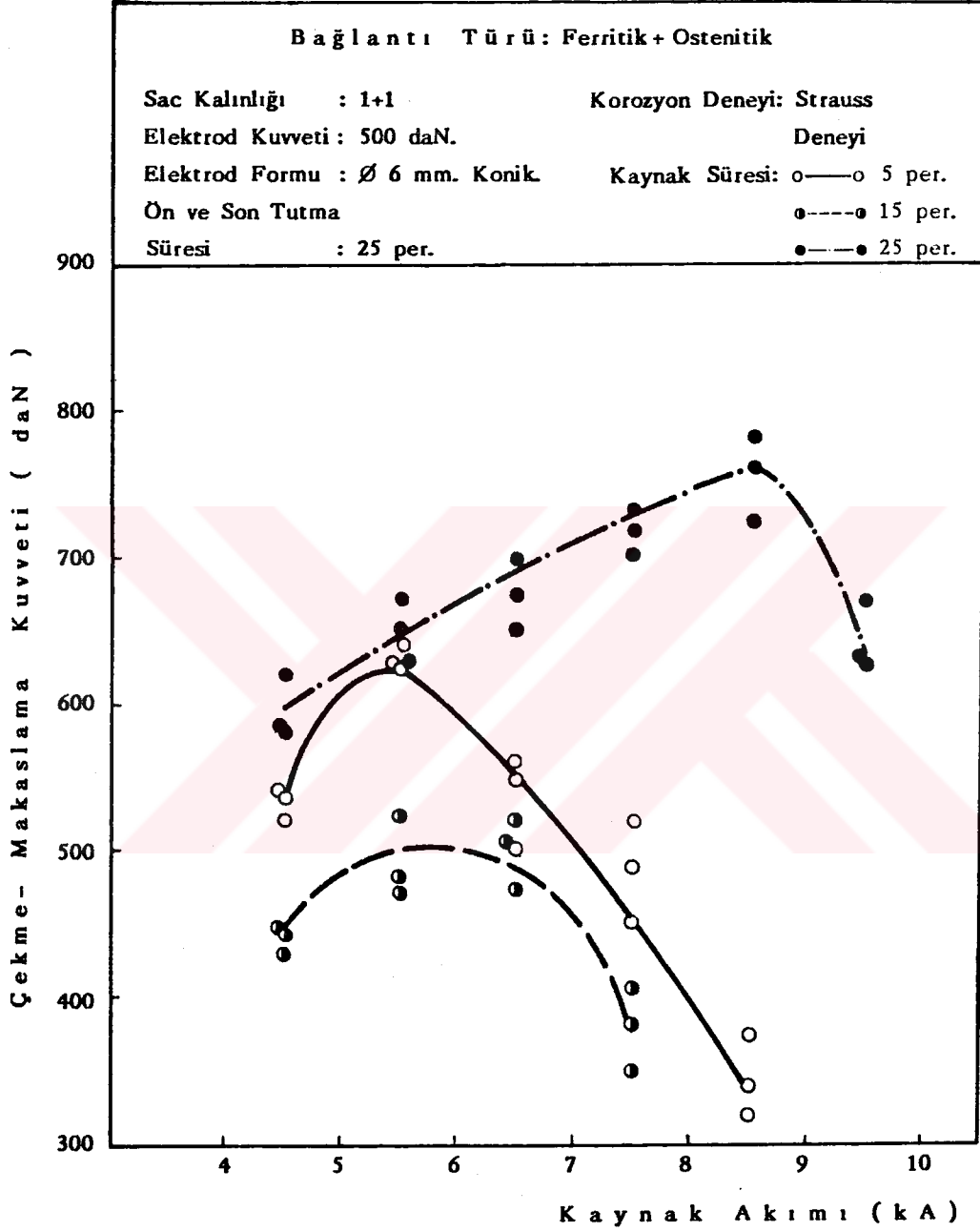


**Şekil 7.14.-** Nokta kaynağı yapılmış ferritik+ostenitik paslanmaz çelik çiftinin korozyon deneyi uygulanmadan ve uygulandıktan sonraki mukavemet değişimlerine kaynak akımının etkisi.

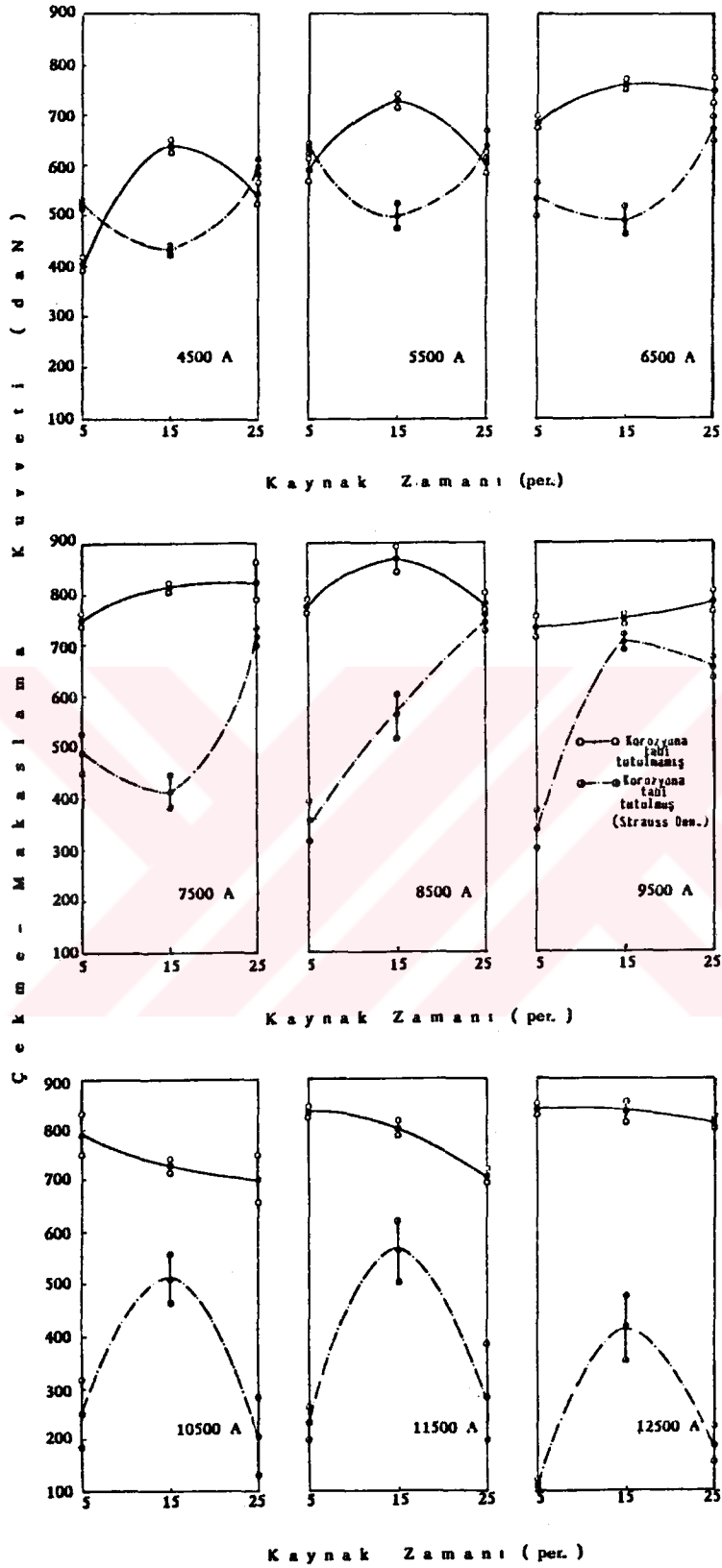
Kaynak süresinin 15 periyod olarak alındığı bağlantılarda korozyon deneyi uygulanmadan önce çekme-makaslama mukavemeti en yüksek değeri verirken, korozyon deneyinden sonra düşük akım şiddetlerinde dahi bağlantının mukavemetinin önemli ölçüde düştüğü görülmektedir (Şekil 7.16). Bu kaynak koşullarında artan ısı girdisinin tanelerarası korozyona neden olan krom karbür çökmesini oluşturduğu anlaşılmaktadır. Parçalar asitik ortam içinde bulununca tane sınırlarında kromca fakirleşmiş bölgeler korozyona uğramış dolayısı ile mukavemet önemli ölçüde düşmüştür.

Korozyon deneyine tabi tutulmuş bağlantılarda ilginç bir durumda 25 periyodluk kaynak süresinde mukavemetin yükselmesi ve korozyona tabi tutulmamış bağlantılardaki değerlere nazaran ötelenmesidir. Şekil 7.14'de bu durum açık bir şekilde görülmektedir. Mukavemetin yükselmesi düşük akım şiddetlerinde ısı girdisinin çok az krom karbür çökmesine neden olduğunu göstermektedir. Bu olay iç yapı fotoğraflarının incelenmesinden de anlaşılmaktadır. Etkili krom karbür çökmesi 8,5 kA'den yüksek ısı girdilerinde oluşmaktadır. Zira bu akım şiddetlerinde ısı girdisinin oluşturduğu sıcaklık aralığı ve soğuma hızı çökelmeyi teşvik etmektedir.

Korozyon deneyine tabi tutulmuş ferritik-ostenitik çiftine ait bağlantılarda kaynak süresinin çekme-makaslama mukavemetine etkisini Şekil 7.17 de görmek mümkündür. Şekil 7.17 korozyon deneyi uygulanmamış bağlantılardaki mukavemet değişimini de gösterdiğinden korozyon deneyinin uygulanmasından sonra mukavemetteki düşüşler üzerine kaynak süresinin etkisi dolayısı ile ısı girdisine bağlı olarak bir tanelerarası korozyon mekanizmasının etkisi kolaylıkla farkedilmektedir. 15 periyodluk kaynak süresinde tanelerarası korozyonun olduğu açıkça görülmektedir. Şekilde en alttaki üç diyagram yüksek akım şiddetlerinde sapmanın ortaya çıktığını ve bu kaynak koşullarında nokta kaynağı yapılmaması gerektiğini göstermek amacıyla ilave edilmiştir.



Şekil 7.16.- Nokta kaynağı yapılmış ferritik+ostenitik çiftinin korozyon deneyi uygulanmasından sonra mukavemet değişimlerinde kaynak akımının etkisi.



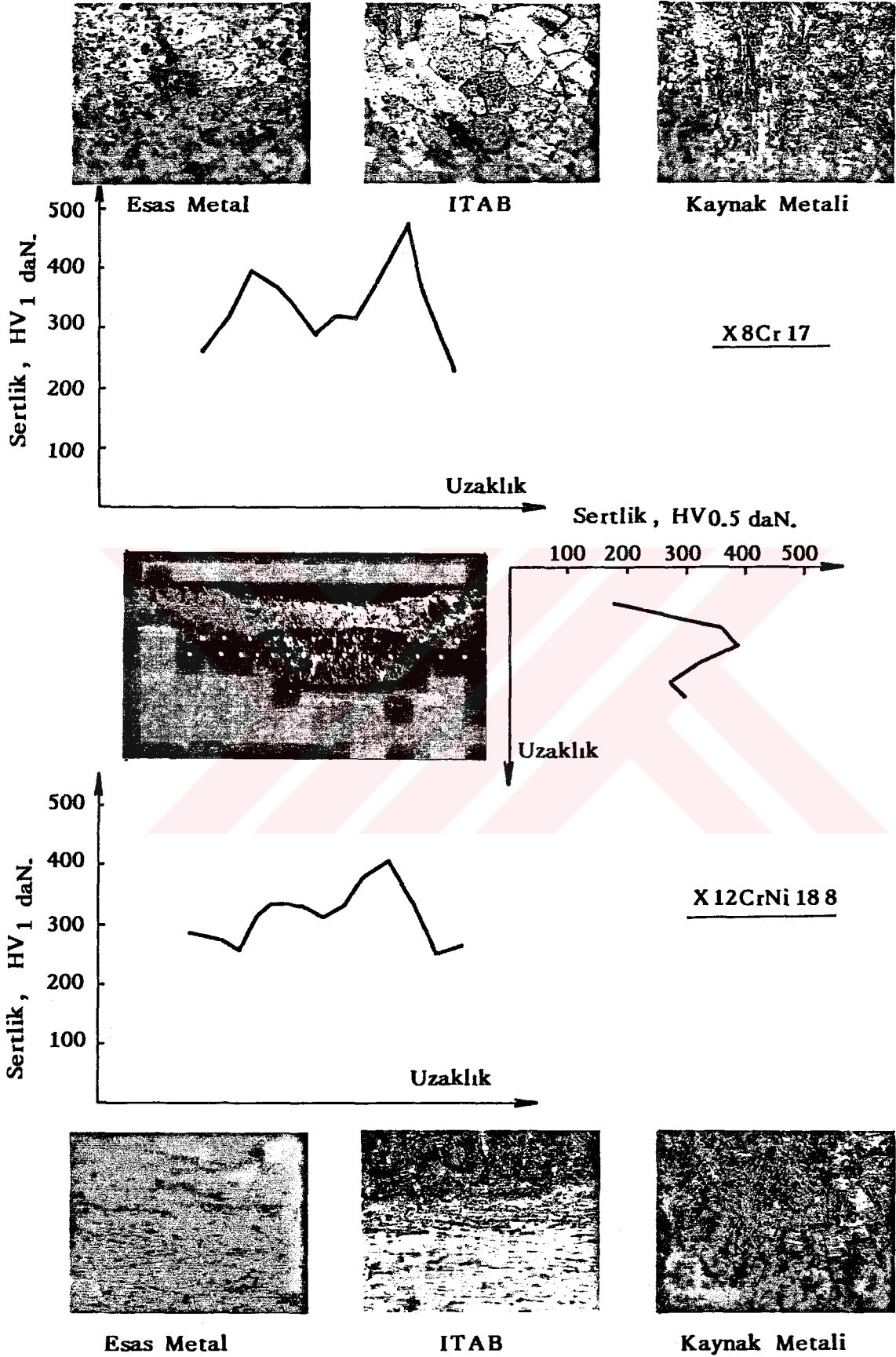
Şekil 7.17.- Ferritik+ostenitik çelik çiftinin korozyon deneyi uygulanmadan ve uygulandıktan sonra mukavemet değişimlerinde kaynak süresinin etkisini gösterir diyagramlar.

### 7.3. İÇ YAPI VE SERTLİK DURUMUNUN İNCELENMESİ

Yapılan çalışmada, ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftine ait bağlantılarda kaynak parametrelerinin çekirdek kesitinde meydana getirdiği metalurjik olayları tanımlamak amacıyla korozyon deneyine tabi tutulmamış ve tabi tutulmuş bağlantılarda iç yapı incelemesi yapılmıştır. Ayrıca hem ferritik hem de ostenitik çelik üzerinde çift taraflı olarak esas metal, ITAB ve kaynak metalinde sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İç yapı fotoğraflarını, çekirdek kesitini ve sertlik değerlerini içeren şekiller her kaynak koşulu için bir dizi halinde Şekil 7.18.a'dan başlayarak Şekil 7.35.b'ye kadar verilmektedir.

İç yapı fotoğraflarının incelenmesinden görüleceği gibi özellikle 15 periyodluk kaynak süresinin uygulandığı bağlantılarda arttırılan ısı girdisine bağlı olarak ferritik çelikte ITAB'de tanelerin irileştiği ve tane sınırlarında krom-karbür çökmesinin olduğu anlaşılmaktadır. (Şekil 7.24 a ve b; Şekil 7.25 a ve b; Şekil 7.26 a ve b; Şekil 7.27 a. ve b; Şekil 7.28 a ve b, Şekil 7.29 a ve b). Bu olayın korozyon deneyine tabi tutulmayan bağlantılarda bile ortaya çıktığı görülmektedir. Korozif ortamın etkisi ile kromca fakir bölgelerde tanelerarası korozyon oluşmuştur; daha önce belirtilen mukavemet düşüsünün ana nedeni böylece kanıtlanmış olmaktadır.

25 periyod kaynak süresinin uygulandığı bağlantılarda ise (Şekil 7.30 a ve b; Şekil 7.31 a ve b; Şekil 7.32 a ve b; Şekil 7.33 a ve b; Şekil 7.34 a ve b; Şekil 7.35 a ve b), ferritik tarafta ITAB'de aşırı tane irileşmesi görülmesine karşın tane sınırlarında krom karbür çökmesi düşük akım şiddetlerinde çok azdır. Ancak mukavemetin düşmeye başladığı 8,5 kA'den daha yüksek akım şiddetlerindeki iç yapılar incelendiğinde tane irileşmesinin yanısıra kromlerinde ITAB krom karbür ayrışması süresinde daha az bulunmakta, 8,5 kA'den daha yüksek akım şiddetlerinde ise daha uzun süre çökme sıcaklık aralığında kalmaktadır. Böyle-



Şekil 7.18 a.- 5 periyod, 5,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.





Esas Metal



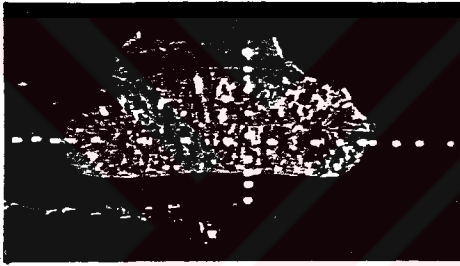
I T A B



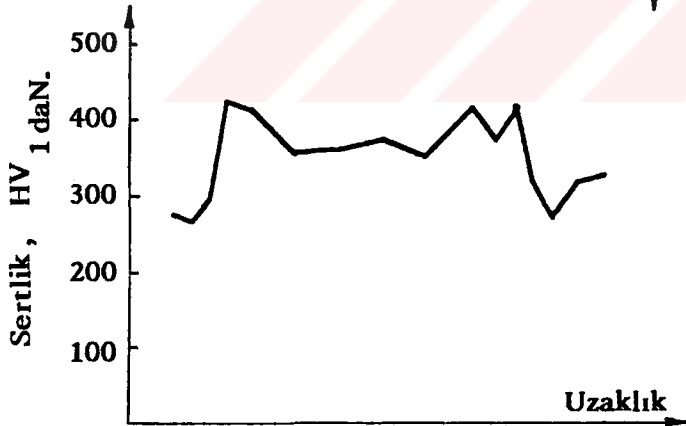
Kaynak Metali

X8Cr17 çeliği üzerinden  
boyuna sertlik ölçümü ya-  
pılamamıştır.

Sertlik, HV<sub>1 daN</sub>.  
100 200 300 400 500



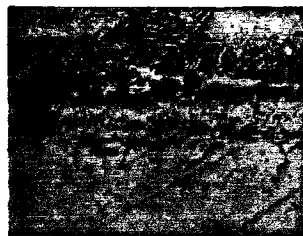
Uzaklık



X12CrNi188



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

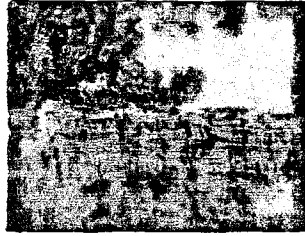
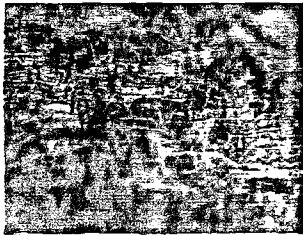
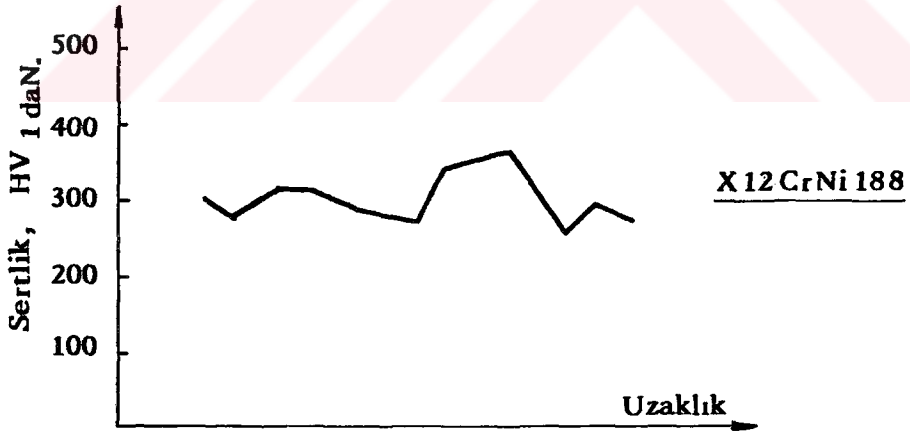
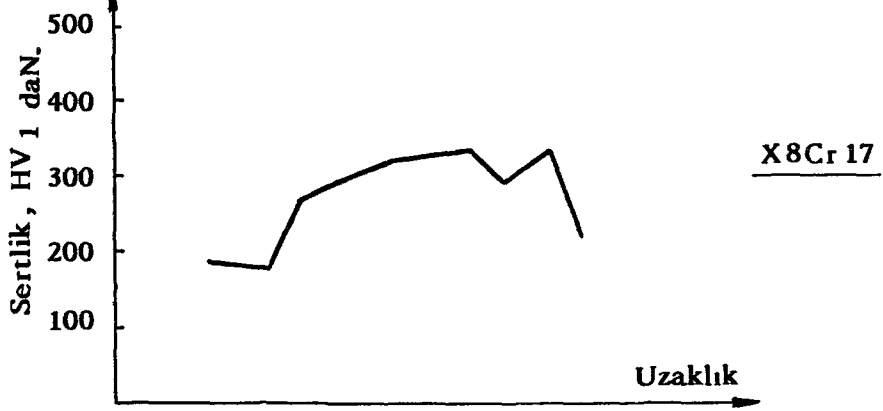
Şekil 7.18b.- 5 periyod, 5,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



Esas Metal

ITAB

Kaynak Metali



Esas Metal

ITAB

Kaynak Metali

Şekil 7.19a.- 5 periyod, 6,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



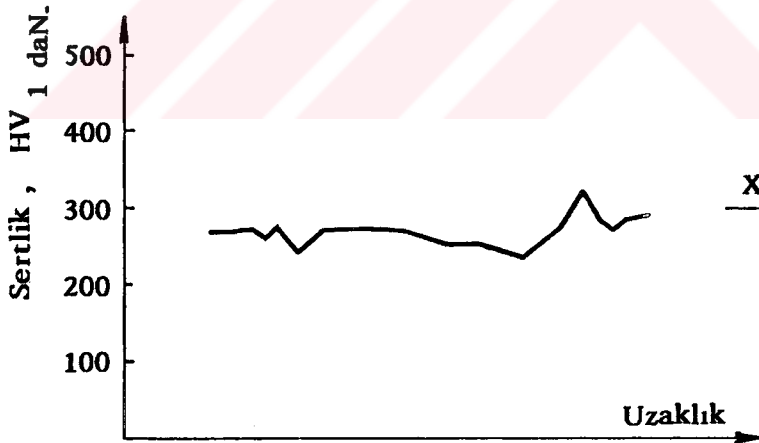
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.19b.- 5 periyod, 6,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



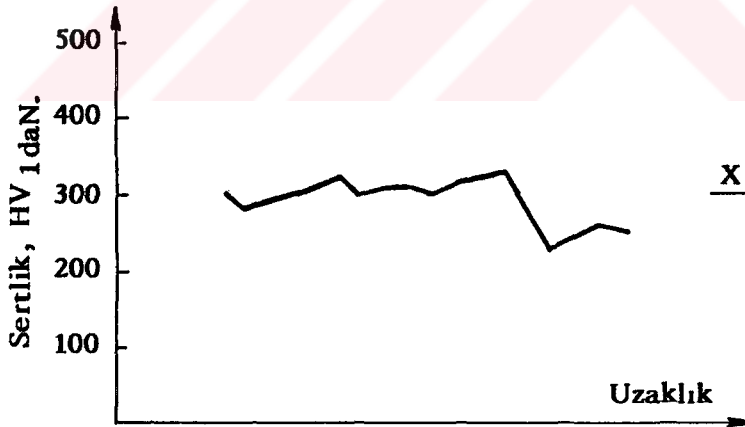
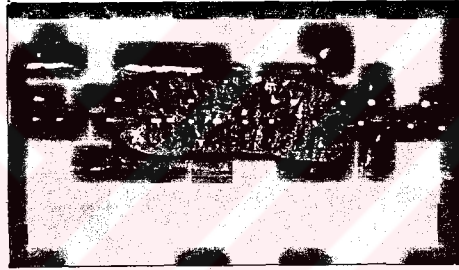
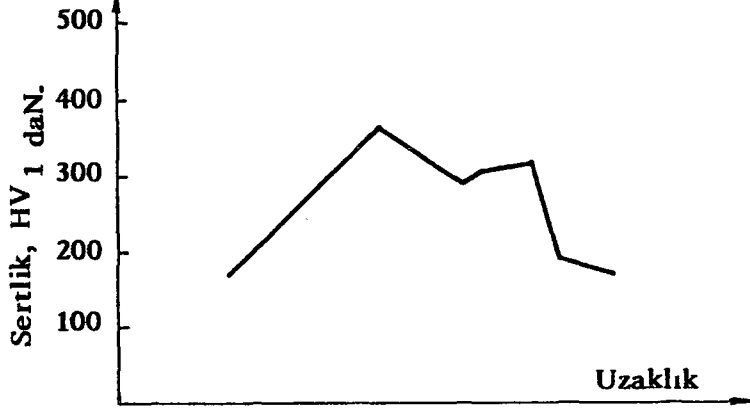
Esas Metal



ITAB



Kaynak Metali



Esas Metal



ITAB



Kaynak Metali

Şekil 7.20a.- 5 periyod, 7,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



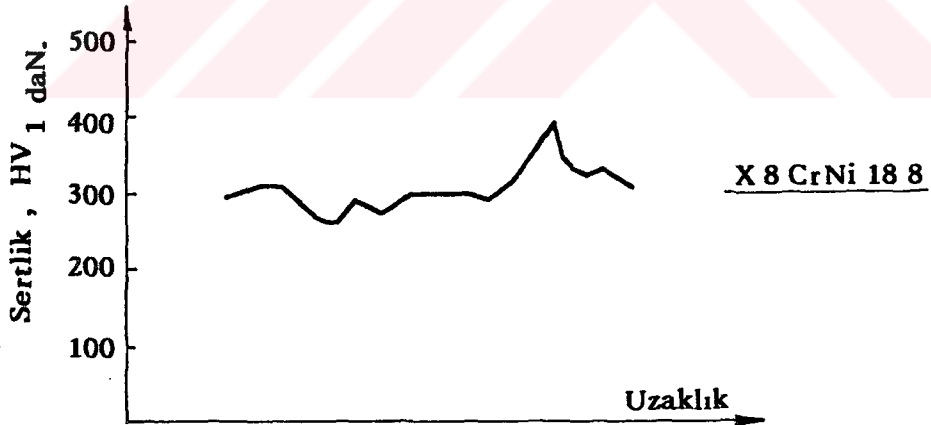
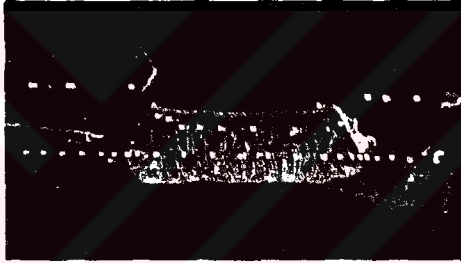
Esas Metal



I T A B



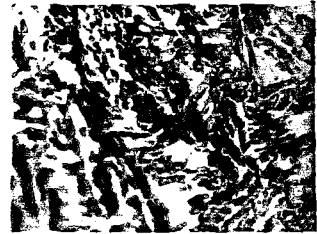
Kaynak Metali



Esas Metal

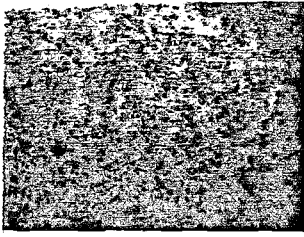


I T A B



Kaynak Metal

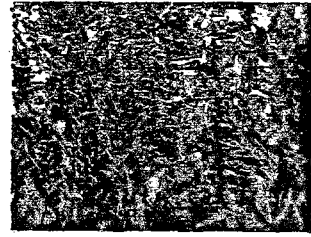
Şekil 7.20b.- 5 periyod, 7,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



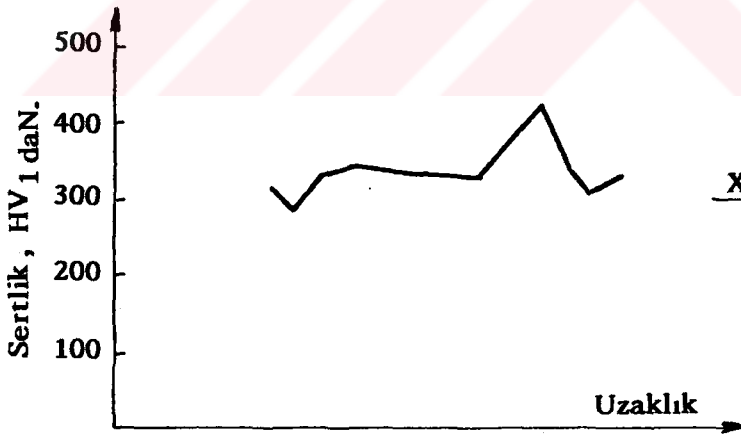
Esas Metal



ITAB



Kaynak Metali



Esas Metal

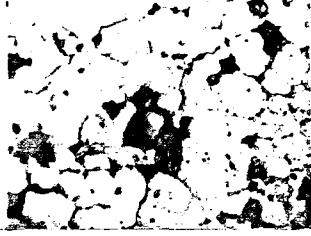


ITAB



Kaynak Metali

Şekil 7.21a.- 5 periyod, 8,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



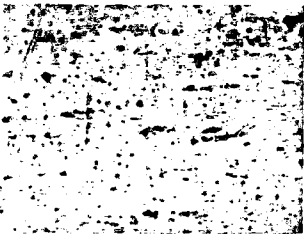
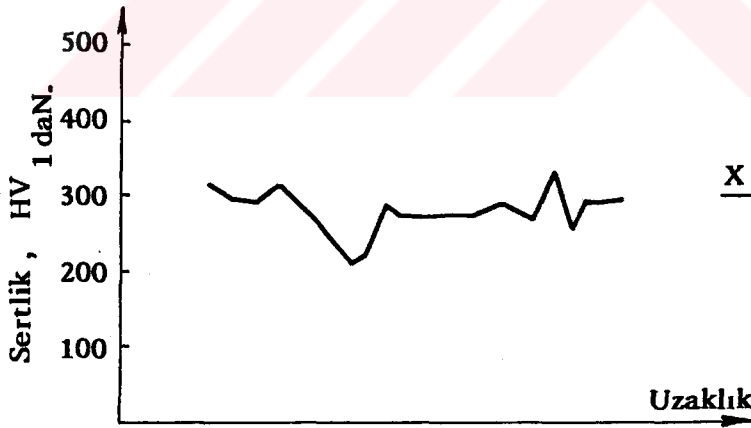
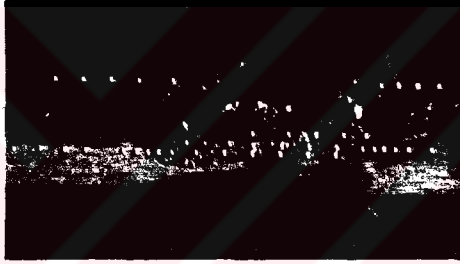
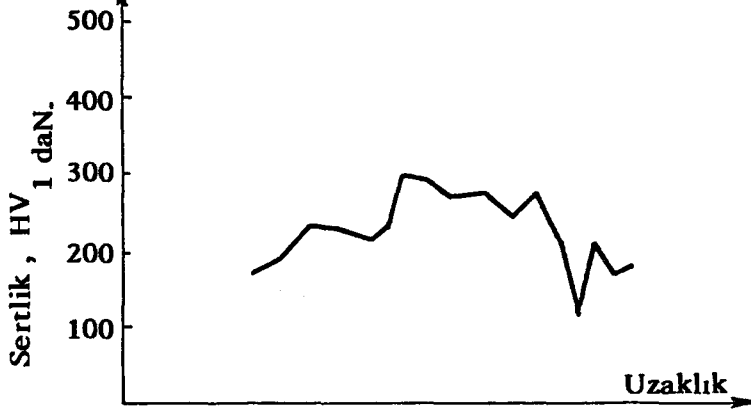
Esas Metal



I T A B



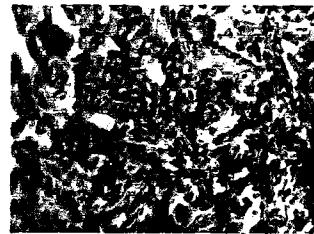
Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

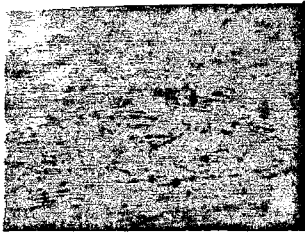
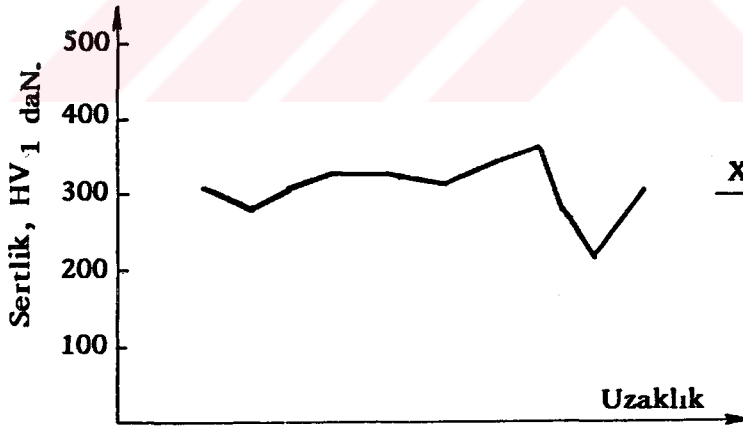
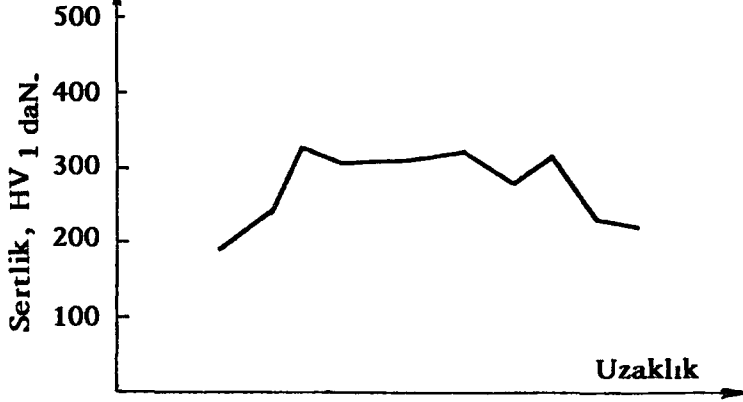
Şekil 7.21b.- 5 periyod, 8,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



Esas Metal

ITAB

Kaynak Metali



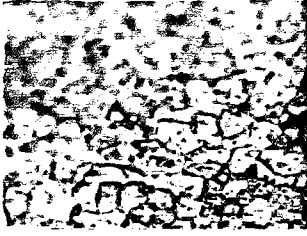
Esas Metal

I T A B

Kaynak Metali

Şekil 7.22a.- 5 periyod, 9,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.





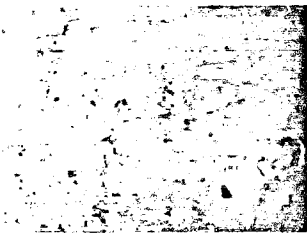
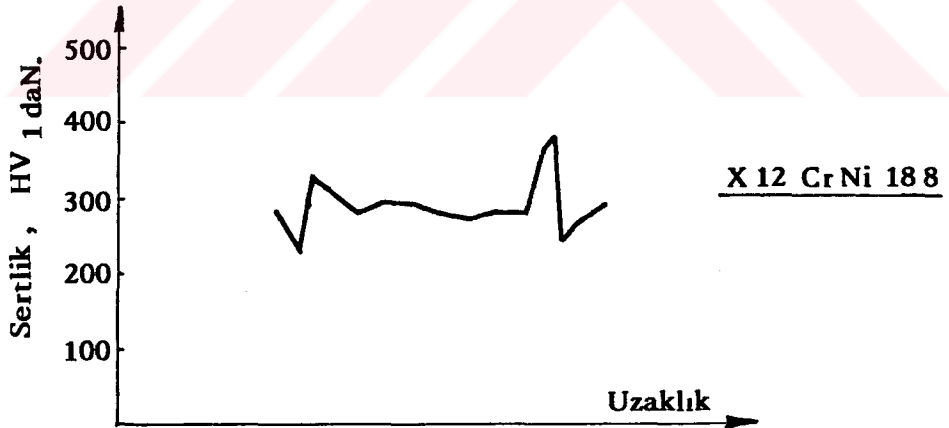
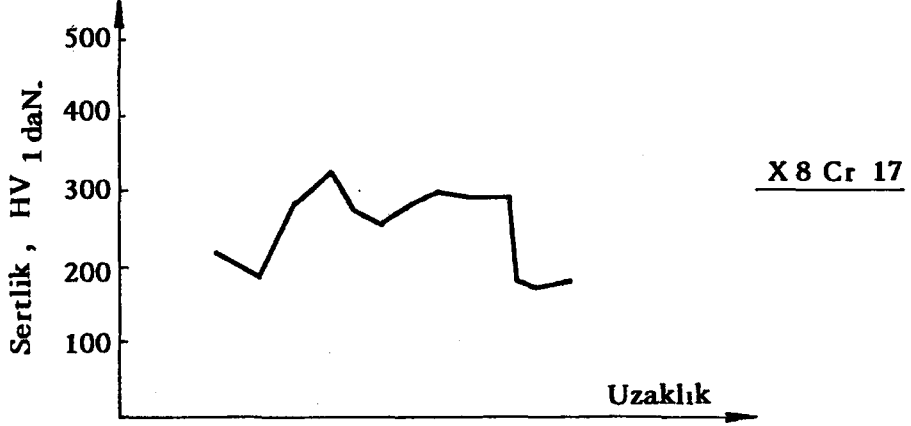
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B

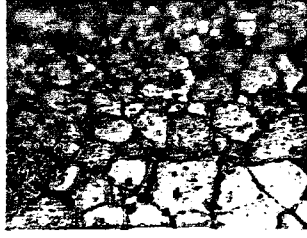


Kaynak Metali

Şekil 7.22b.- 5 periyod, 9,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



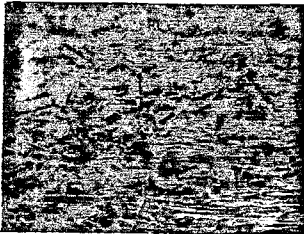
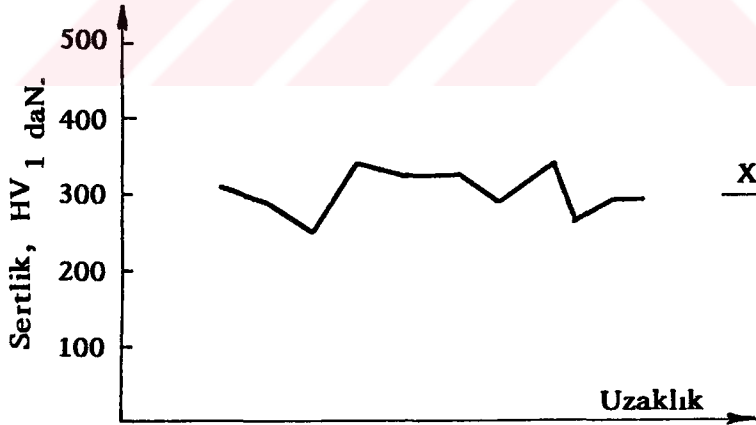
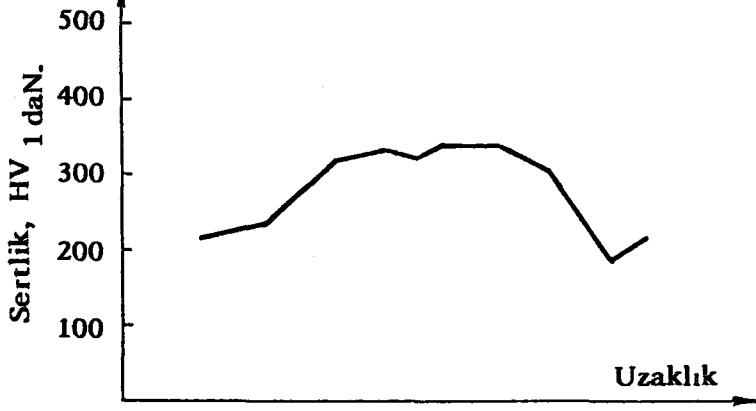
Esas Metal



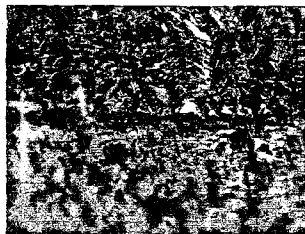
I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal

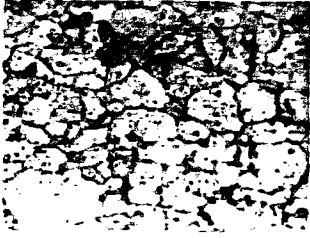


I T A B

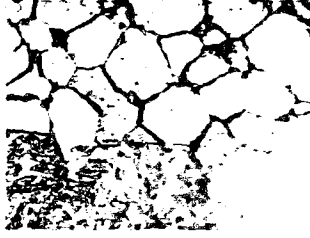


Kaynak Metali

Şekil 7.23a.- 5 periyod, 10,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



Esas Metal

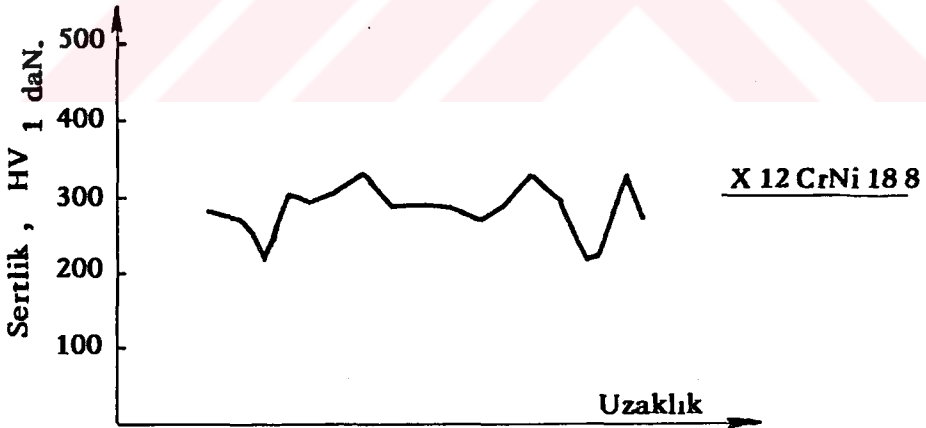


I T A B

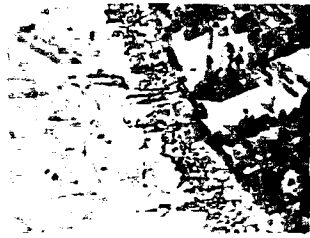


Kaynak Metali

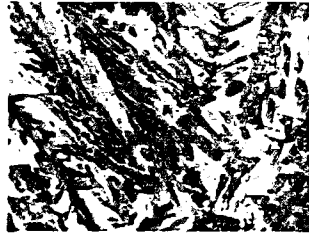
X 8Cr 17 çeliği üzerinden  
boyuna sertlik ölçümü ya-  
pılmamıştır.



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.23b.- 5 periyod, 10,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



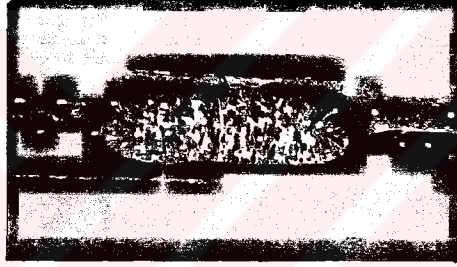
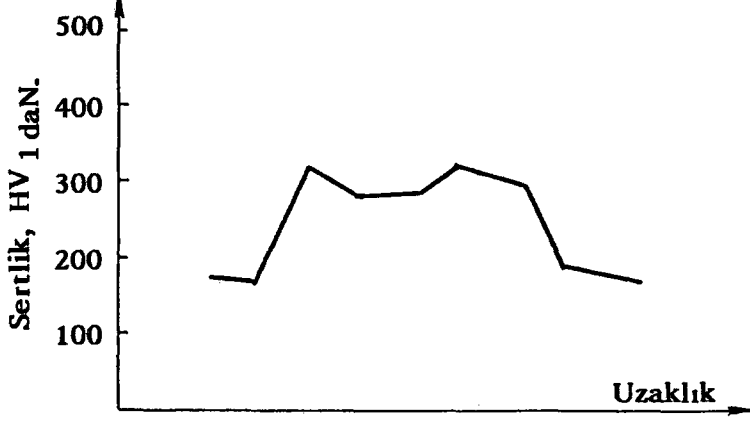
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal

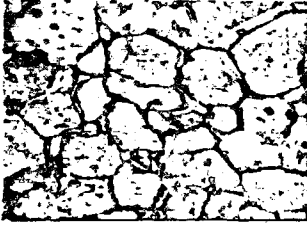


I T A B



Kaynak Metal

Şekil 7.24a.- 15 periyod, 5.5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



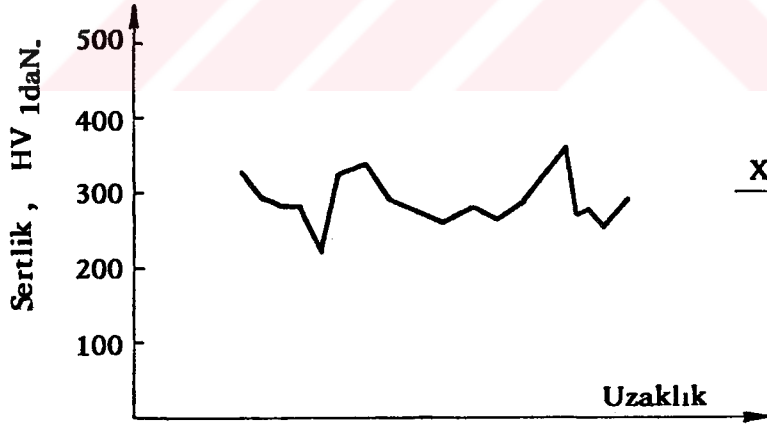
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.24b.- 15 periyod, 5,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



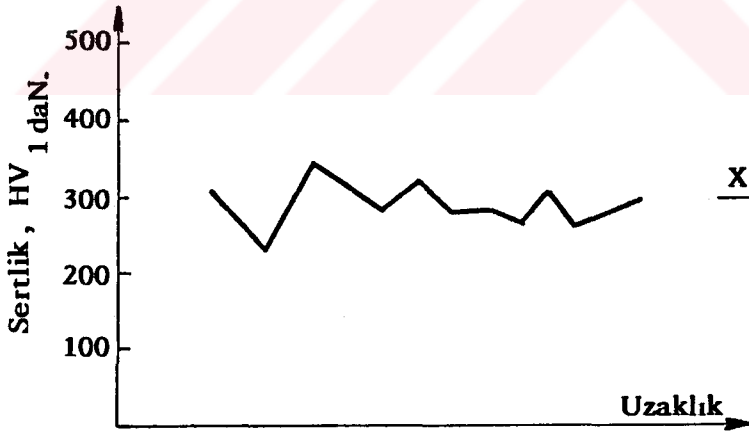
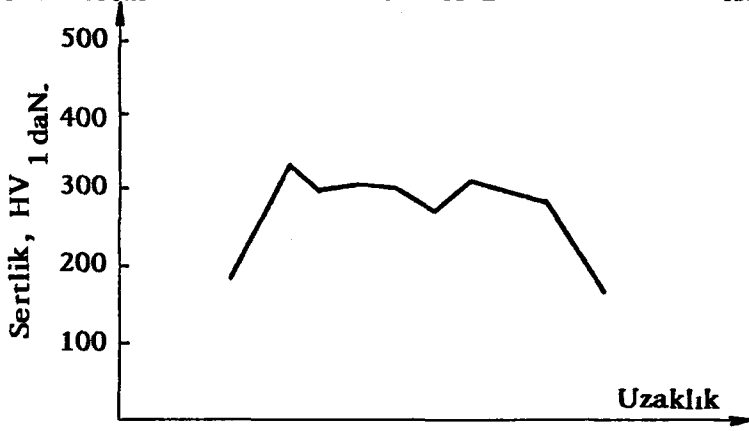
Esas Metal



I T A B



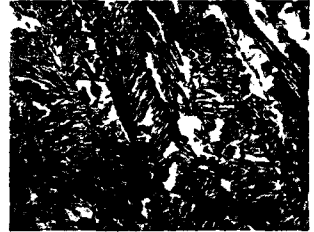
Kaynak Metali



Esas Metal

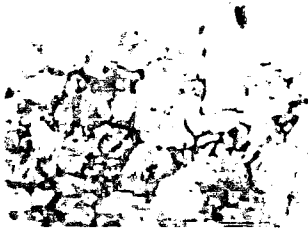


I T A B

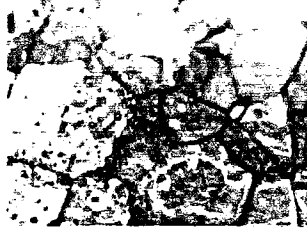


Kaynak Metali

Şekil 7.25a.- 15 periyod, 6,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



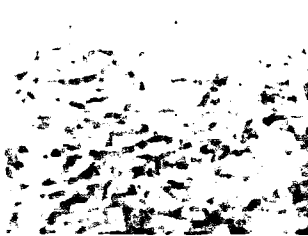
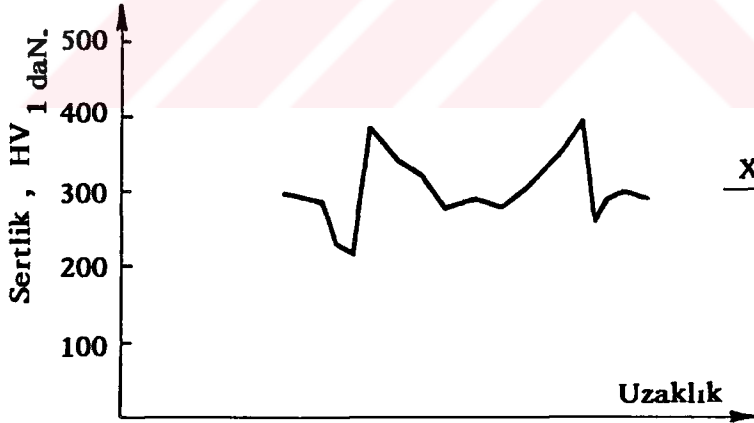
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B

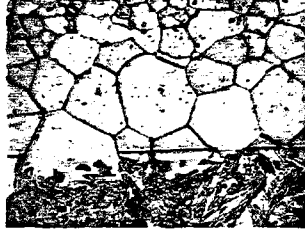


Kaynak Metali

Şekil 7.25b.- 15 periyod, 6,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



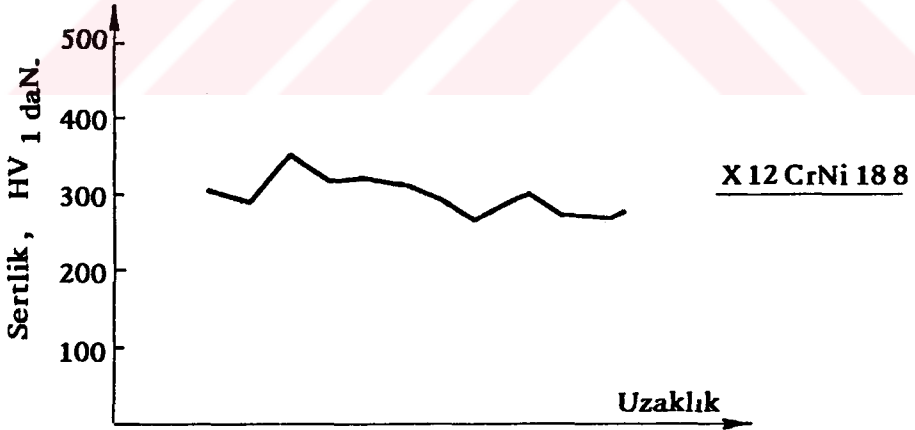
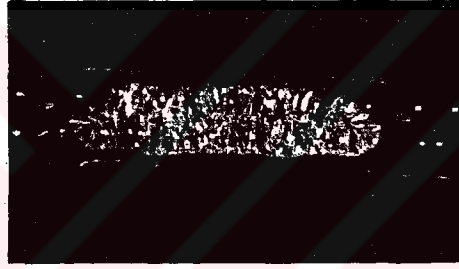
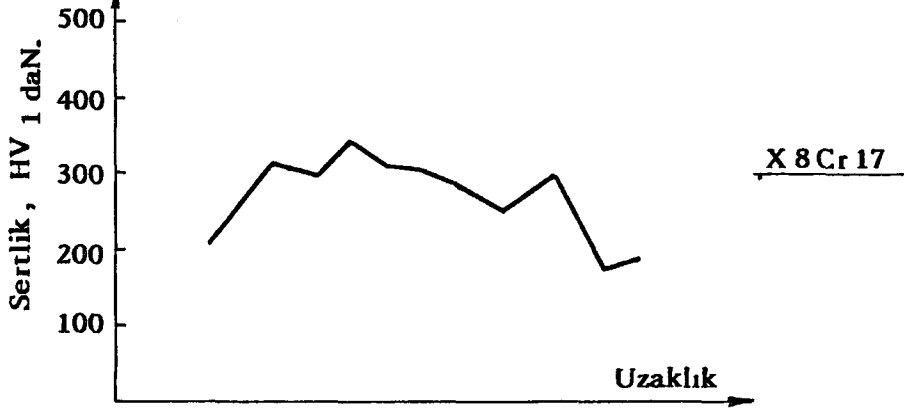
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.26a.- 15 periyod, 7,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.





Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal

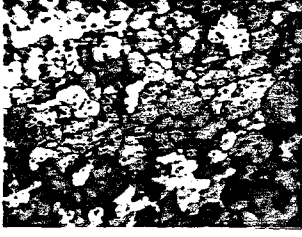


I T A B

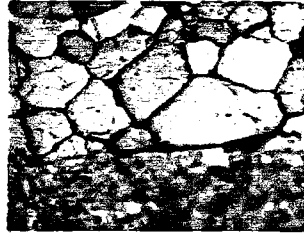


Kaynak Metali

Şekil 7.26b.- 15 periyod, 7,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



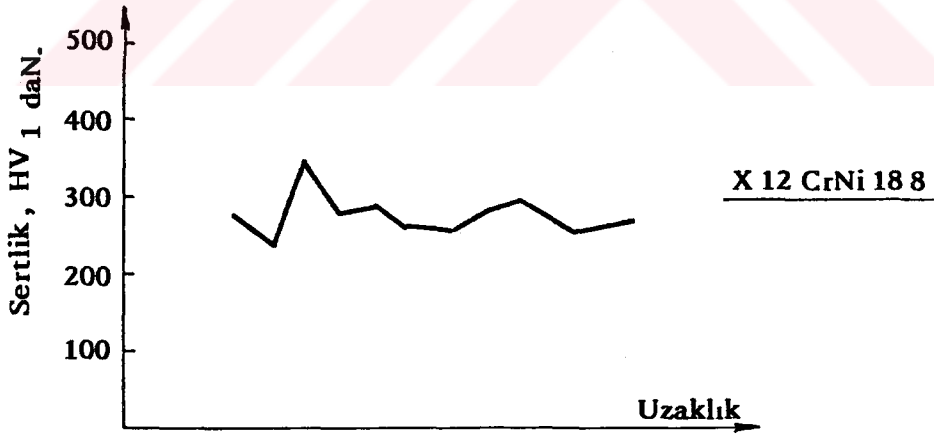
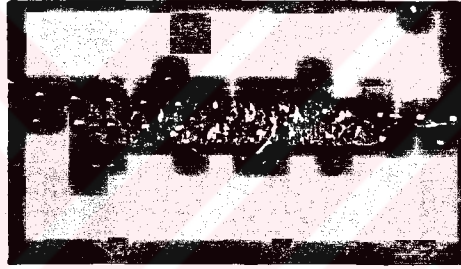
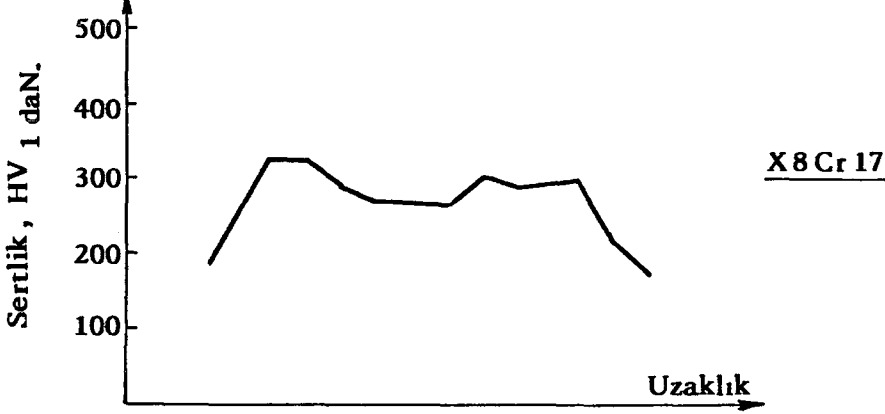
Esas Metal



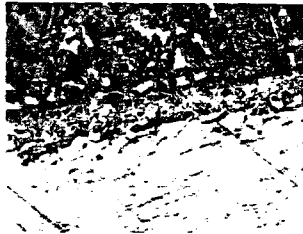
I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal

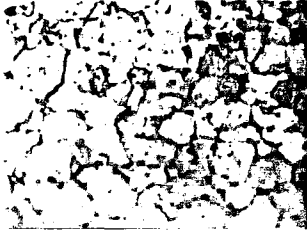


I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.27a.- 15 periyod, 8,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



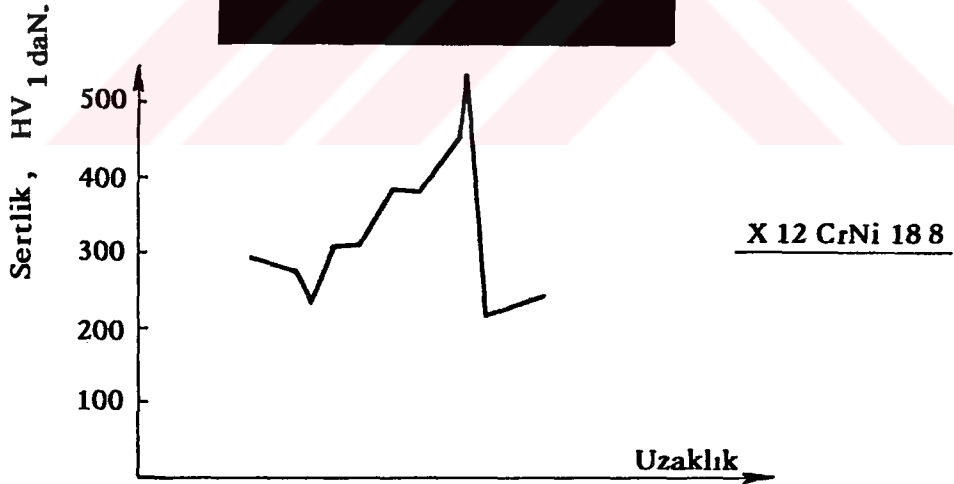
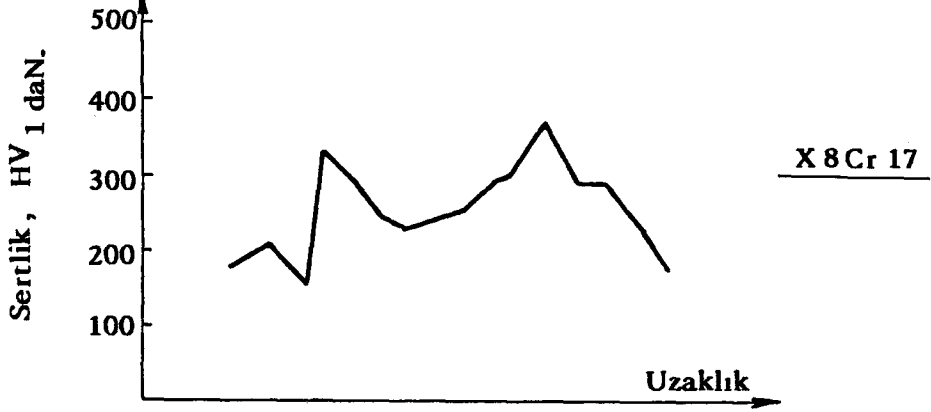
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

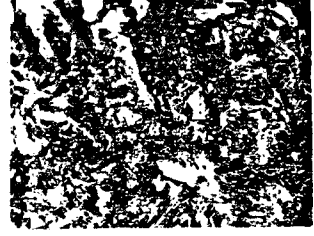
Şekil 7.27b.- 15 periyod, 8,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



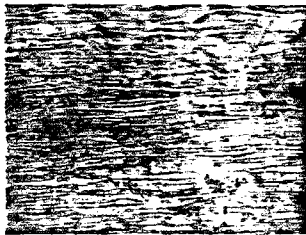
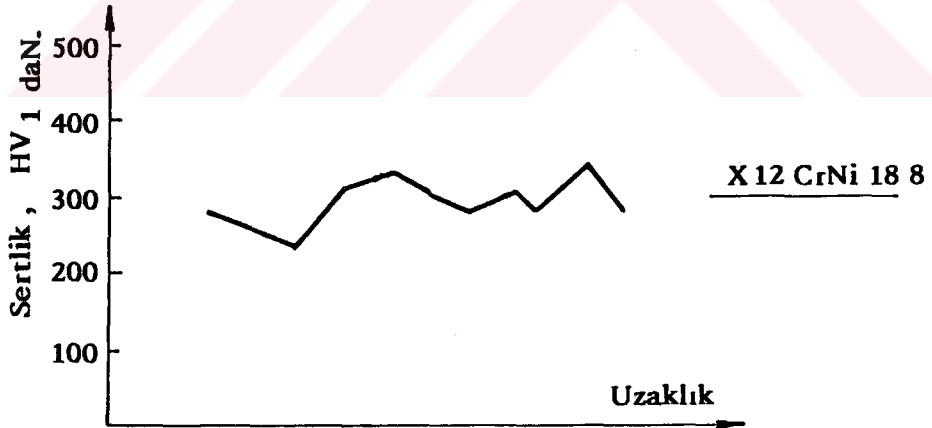
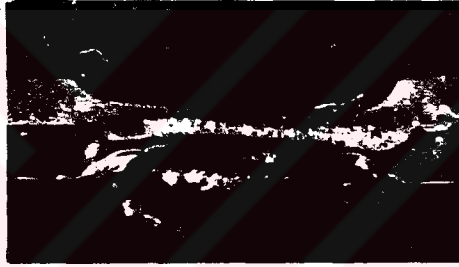
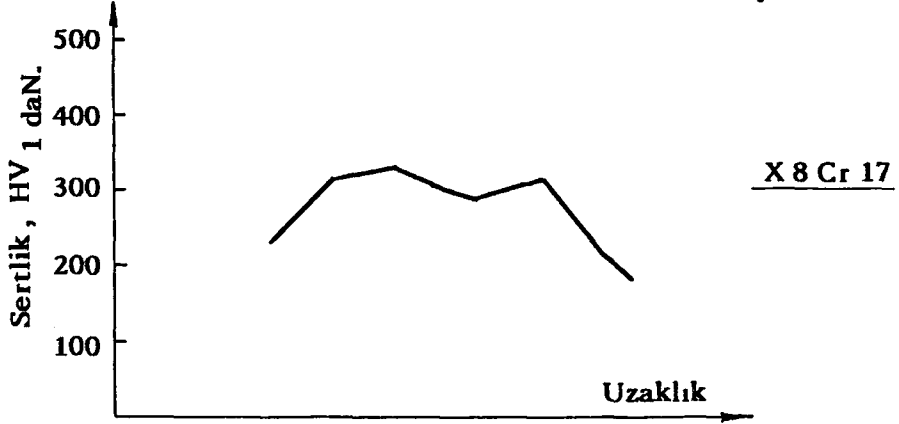
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B

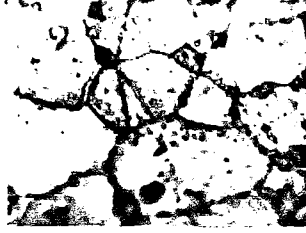


Kaynak Metali

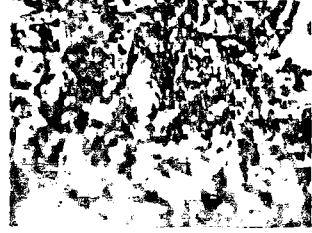
Şekil 7.28a.- 15 periyod, 9,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



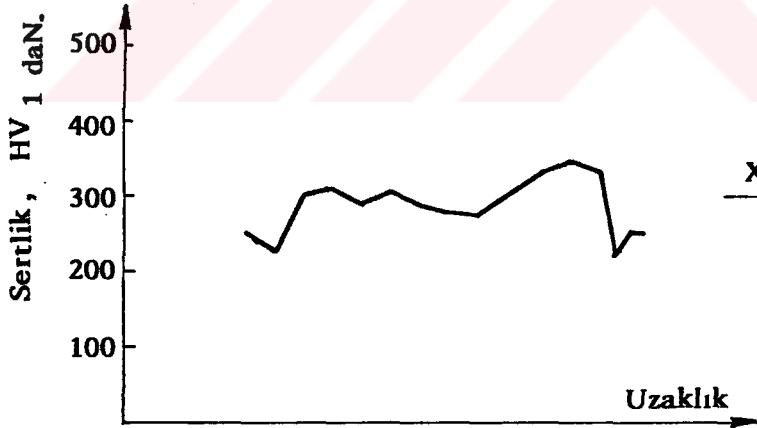
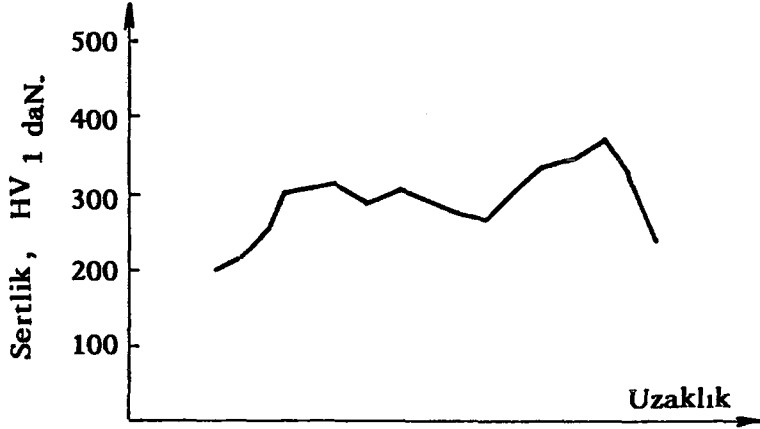
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B

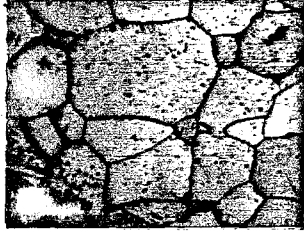


Kaynak Metali

Şekil 7.28.- 15 periyod, 9,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



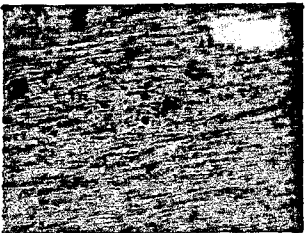
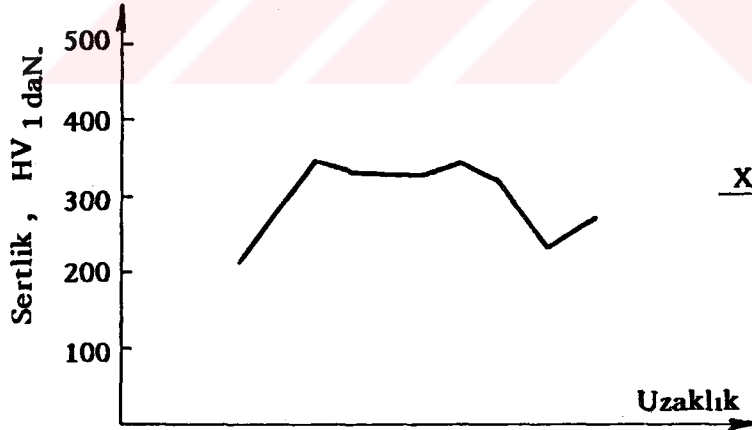
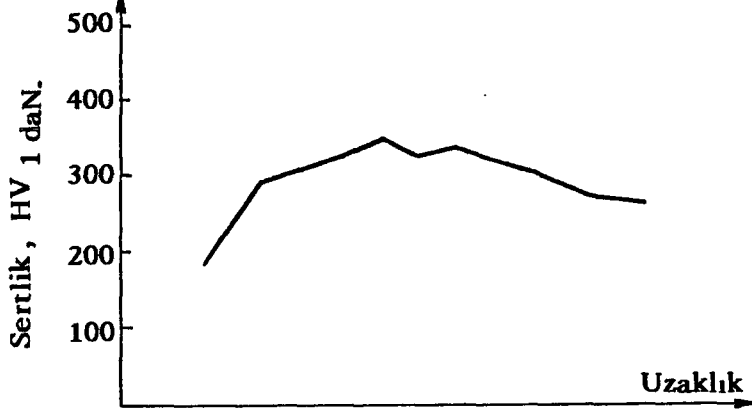
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.29a.- 15 periyod, 10,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

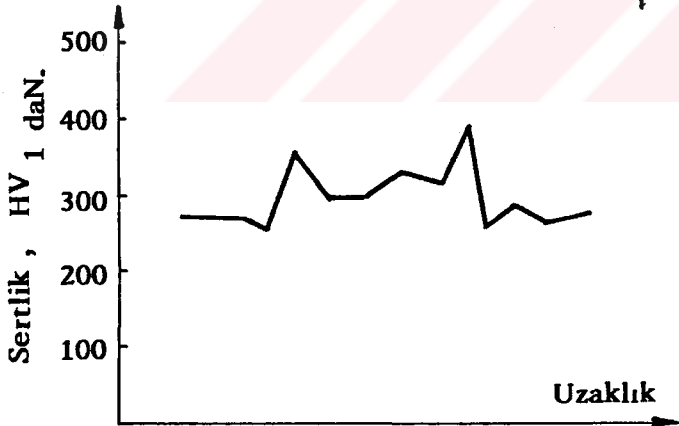
X 8Cr 17 çeliği üzerinden  
boyuna sertlik ölçümü ya-  
pılamamıştır.

Sertlik , HV 1 daN.

100 200 300 400 500



Uzaklık



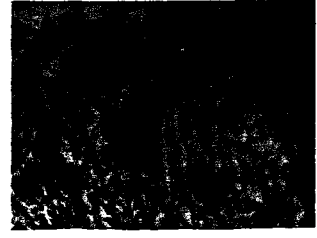
X 12 CrNi 188



Esas Metal

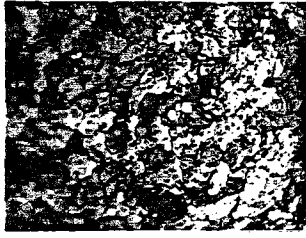


I T A B

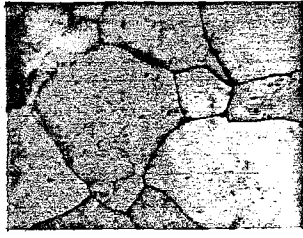


Kaynak Metali

Şekil 7.29 b.- 15 periyod, 10,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



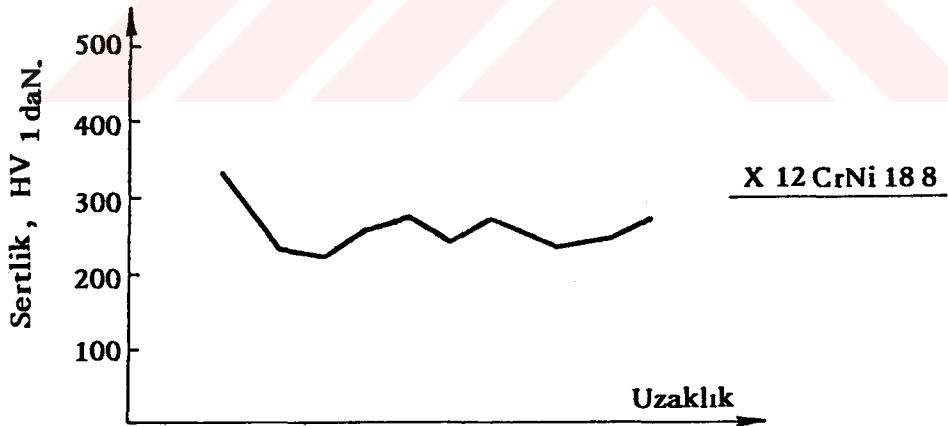
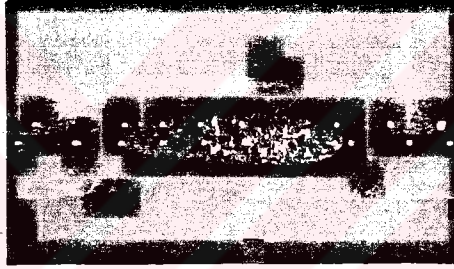
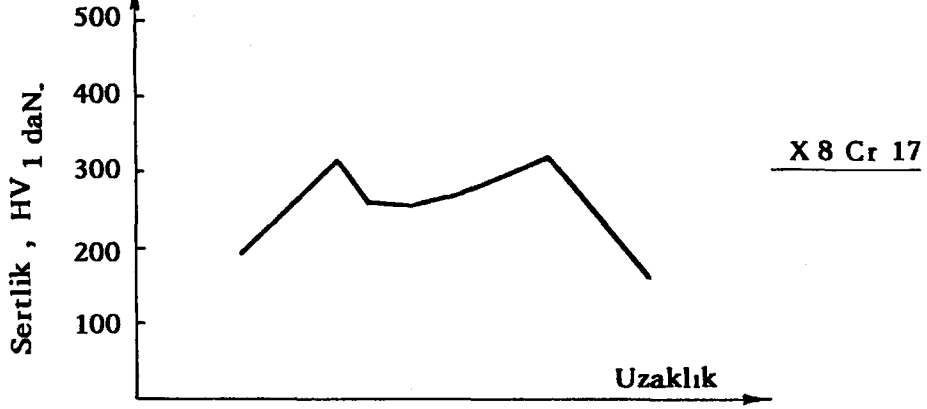
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.30a.- 25 periyod, 5,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.

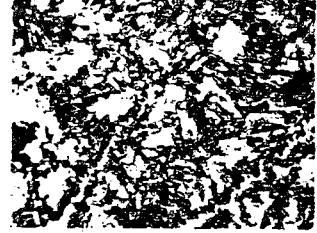




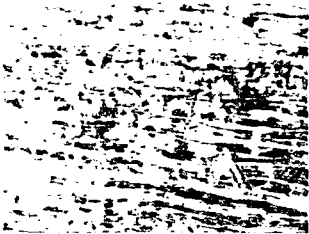
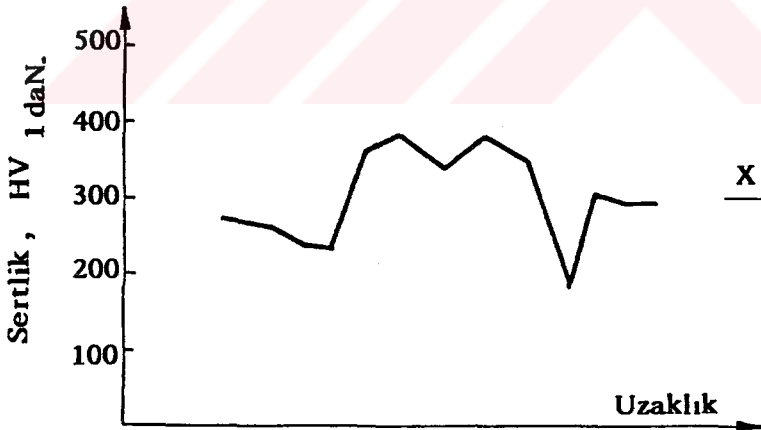
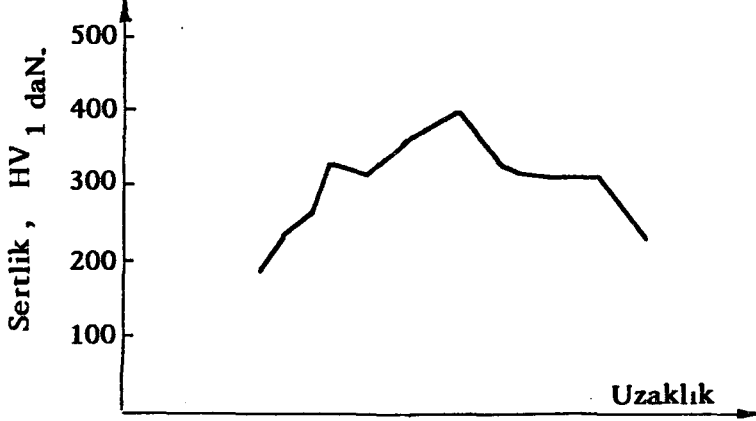
Esas Metal



I T A B



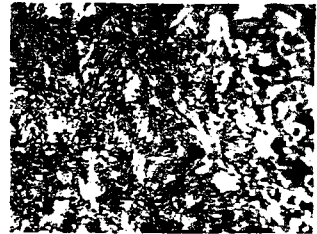
Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B

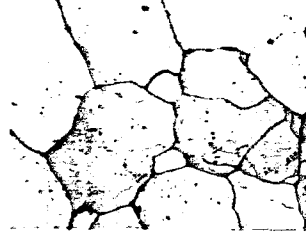


Kaynak Metali

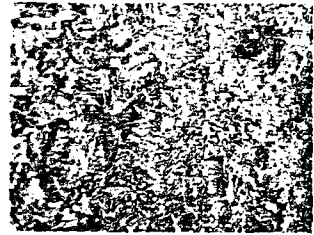
Şekil 7.30b.- 25 periyod, 5,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



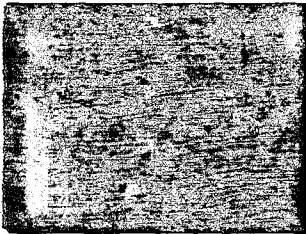
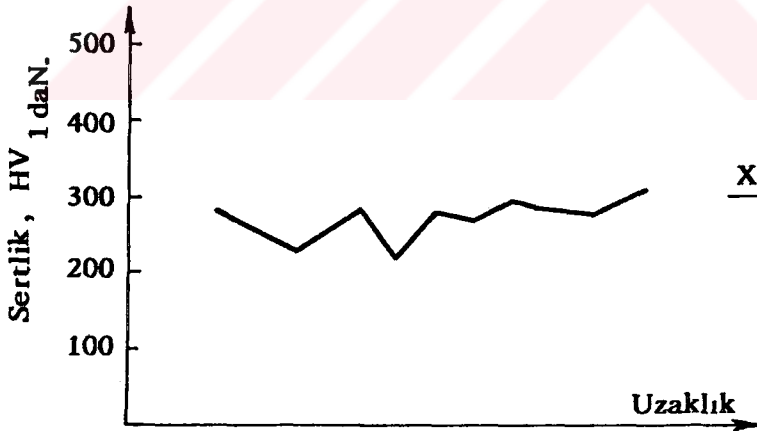
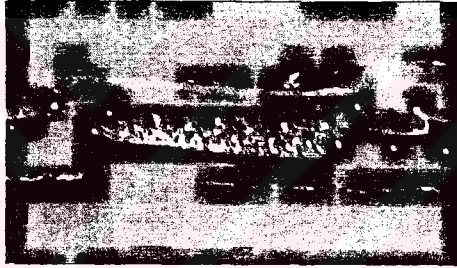
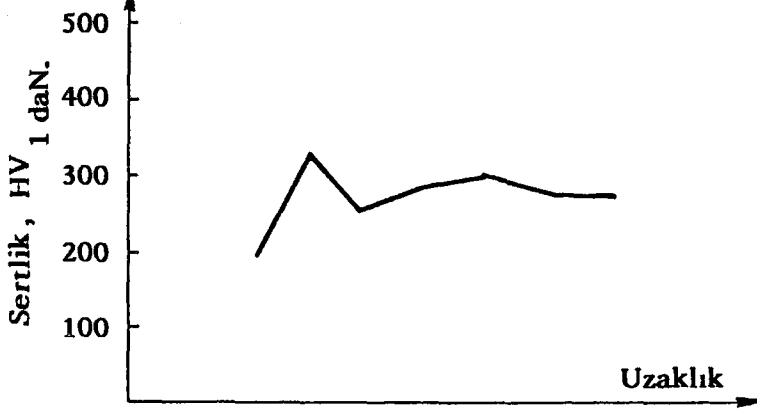
Esas Metal



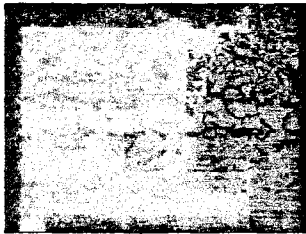
I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B

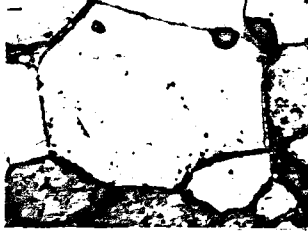


Kaynak Metali

Şekil 7.31a.- 25 periyod, 6,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



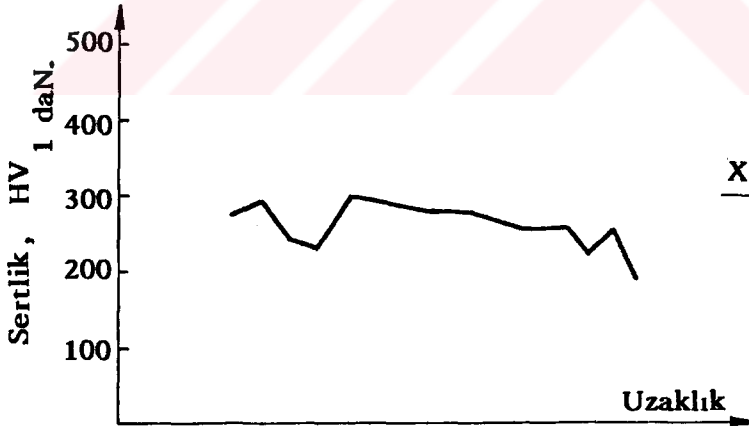
Esas Metal



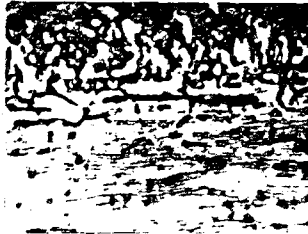
I T A B



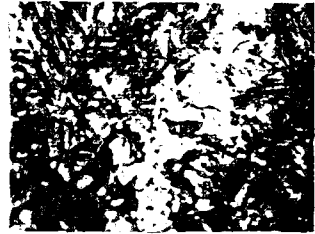
Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.31b.- 25 periyod, 6,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



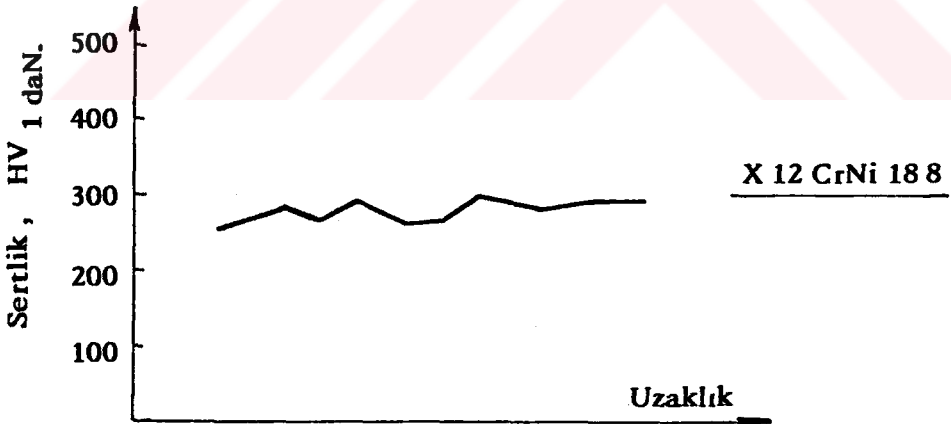
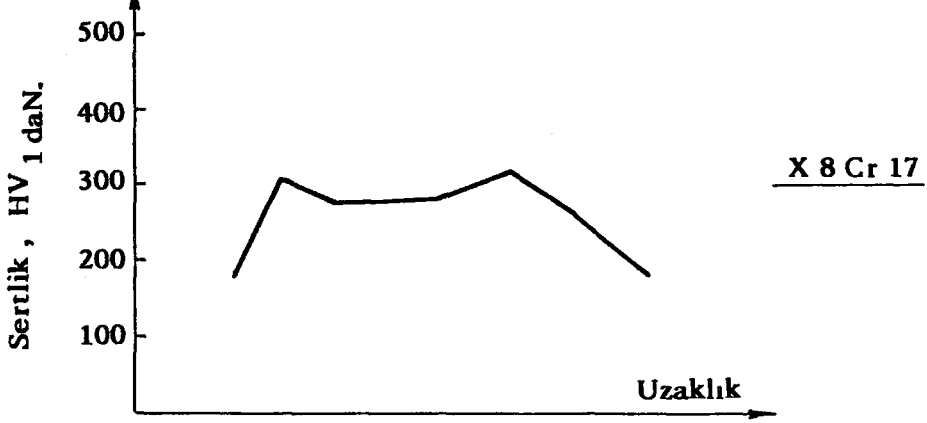
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal

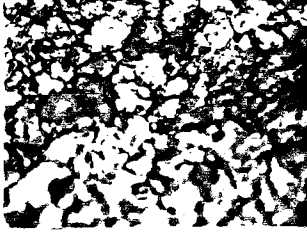


I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.32a. – 25 periyod, 7,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



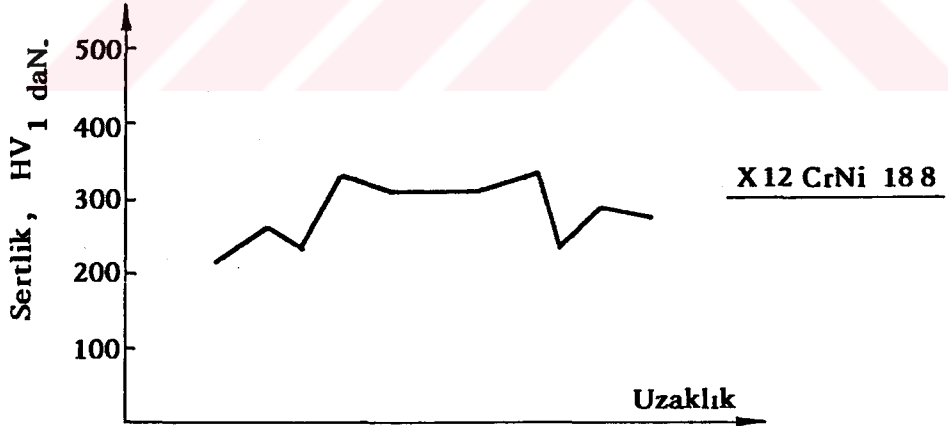
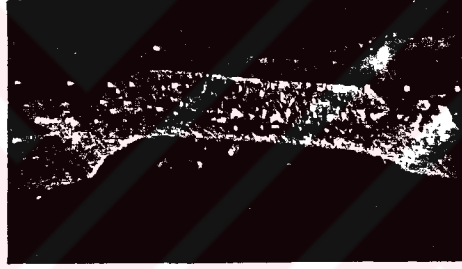
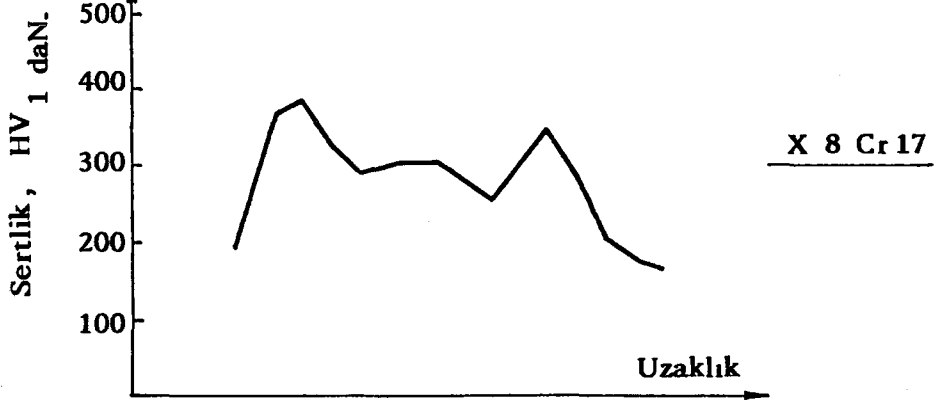
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B

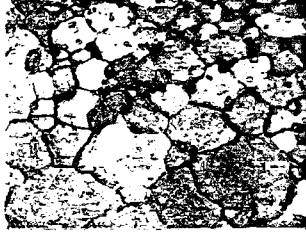


Kaynak Metali

Şekil 7.32b.- 25 periyod, 7,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



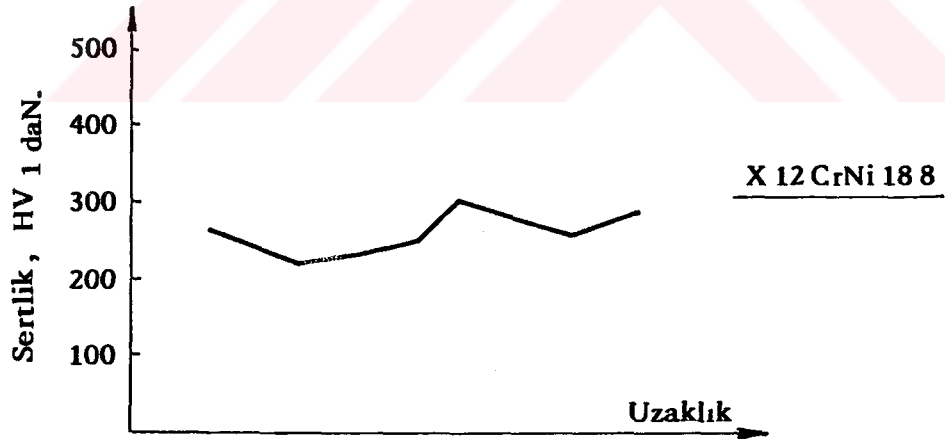
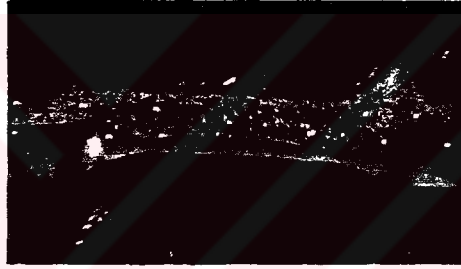
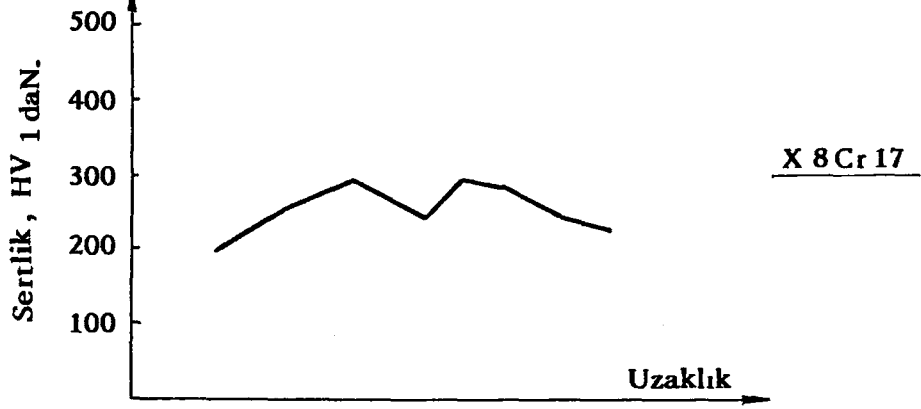
Esas Metal



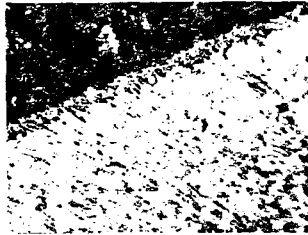
I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal

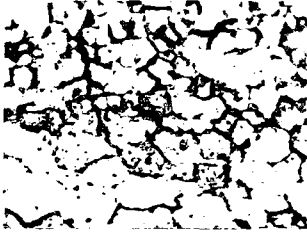


I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.33a.- 25 periyod, 8,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



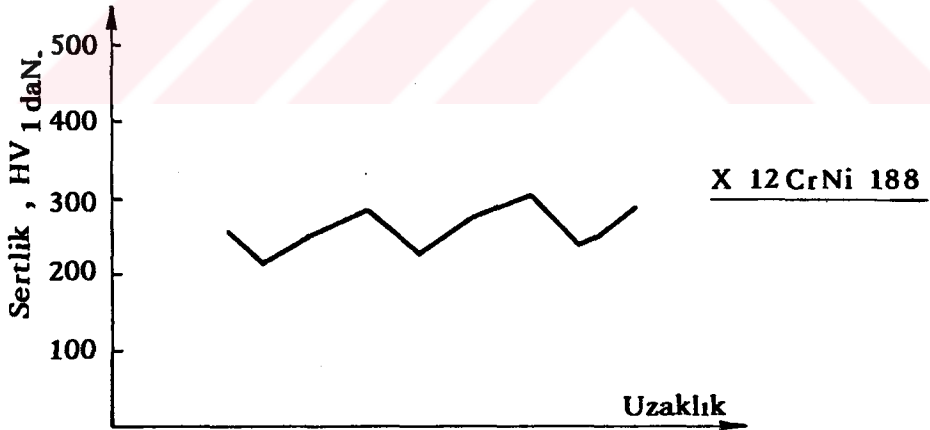
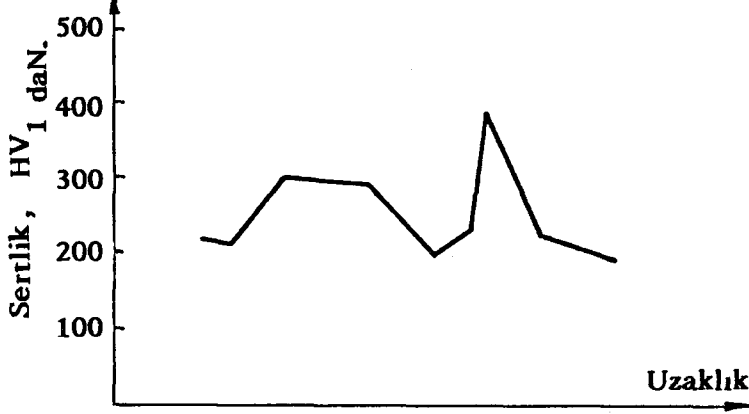
Esas Metal



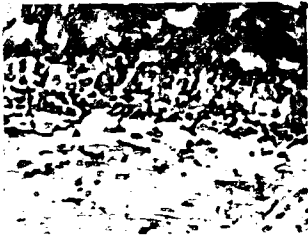
I T A B



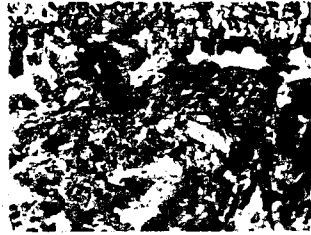
Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.33b.- 25 periyod, 8,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



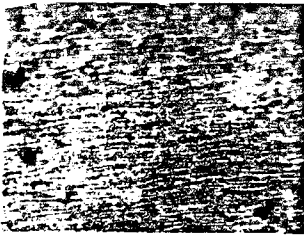
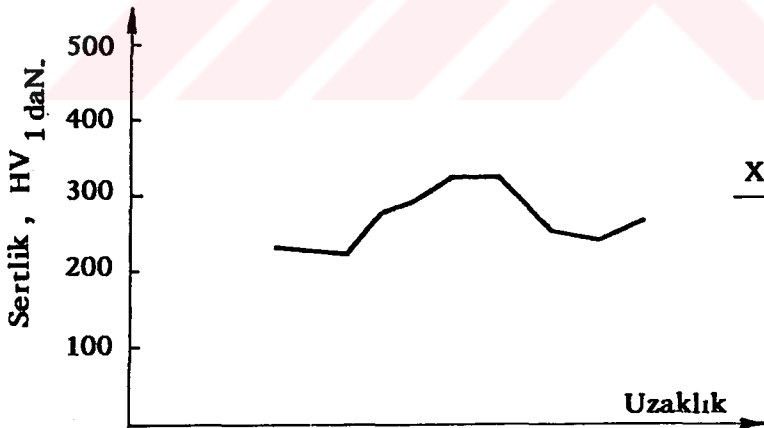
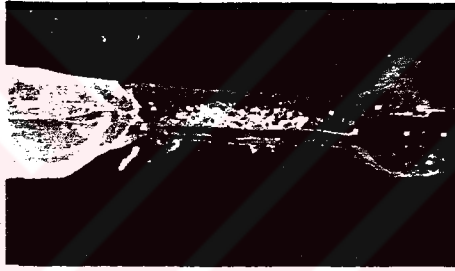
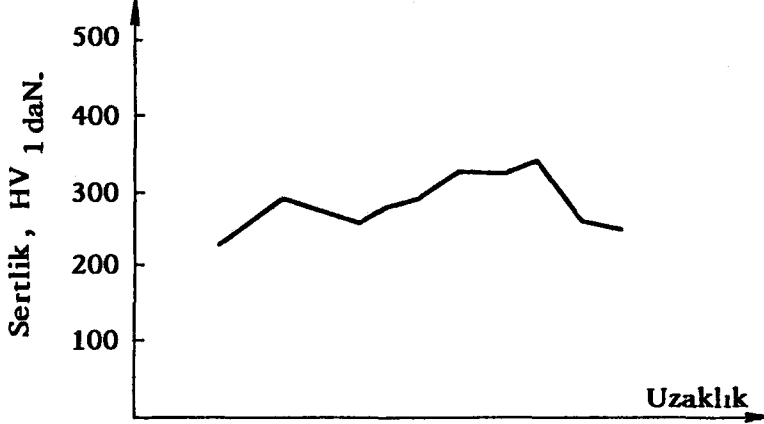
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.34a.- 25 periyod, 9,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.

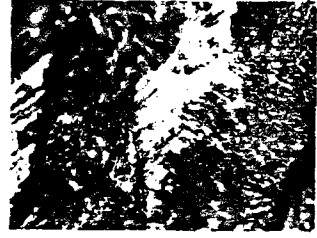




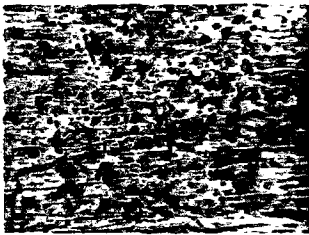
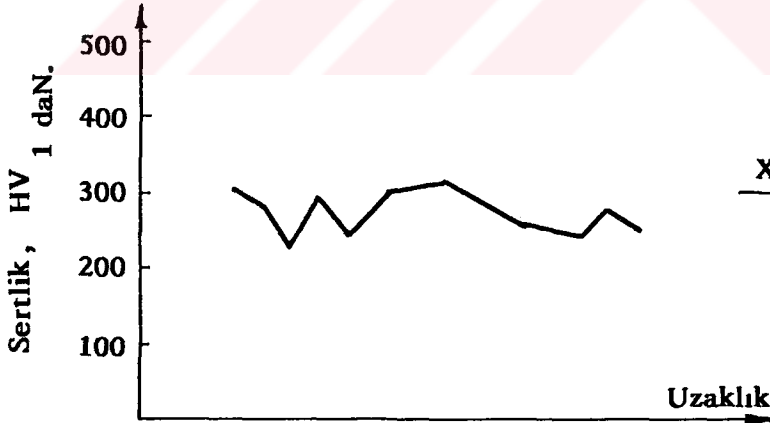
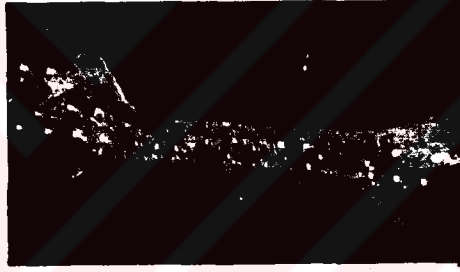
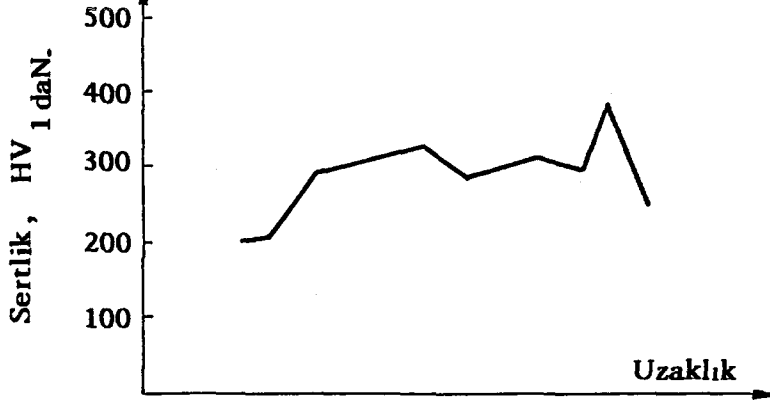
Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali



Esas Metali



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.34b.- 25 periyod, 9,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.



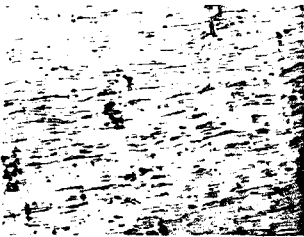
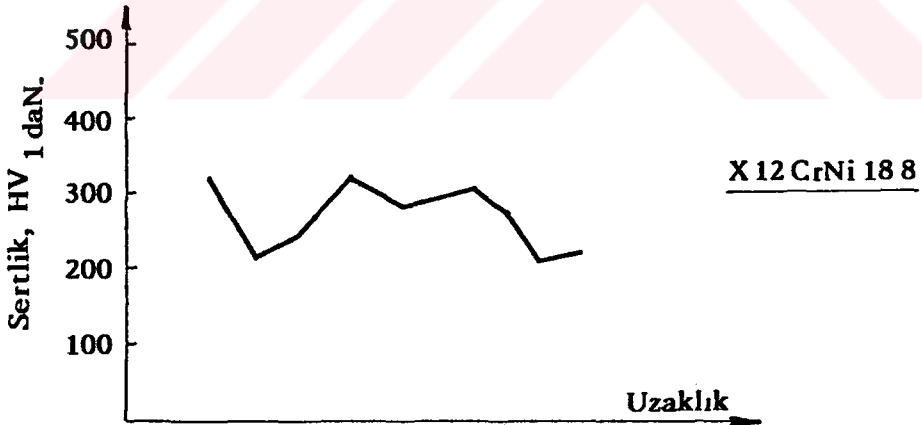
Esas Metal



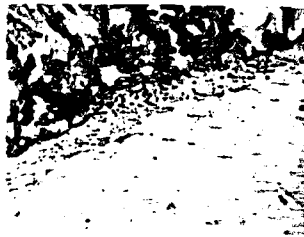
I T A B



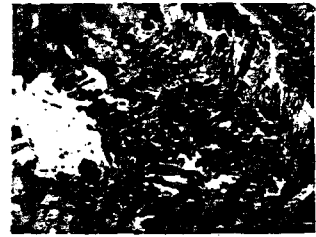
Kaynak Metali



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.35a.- 25 periyod, 10,5 kA'de korozyon deneyinden önce iç yapı ve sertlik değişimleri.



Esas Metal

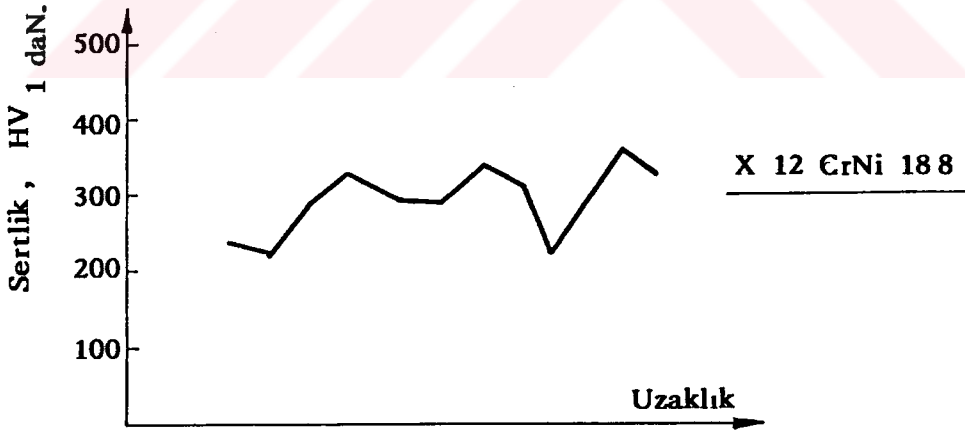
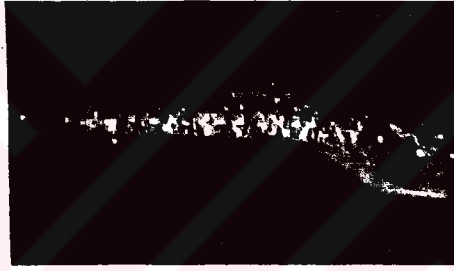


I T A B



Kaynak Metali

X 8 Cr 17 çeliği üzerinde  
boyuna sertlik ölçümü ya-  
pılamamıştır.



Esas Metal



I T A B



Kaynak Metali

Şekil 7.35b.- 25 periyod, 10,5 kA'de korozyon deneyinden sonra iç yapı ve sertlik değişimleri.

ce krom karbür tane sınırlarına çökelme olanağı bulmakta -dır. Korozyon deneyi uygulanmış 25 periyodluk bağlantılarda 8,5 kA'den sonra mukavemetin düşmesinin başlıca nedenleri fişkırmanın yanısıra krom karbür çökmesinden oluşan tanelerarası korozyondur.

İç yapıların incelenmesinden görüldüğü gibi ostenitik paslanmaz çelik tarafından büyük bir değişimle karşılaşıl-mamaktadır. Bunun nedeni ostenitik yapının kristal kafes türü krom karbür çökmesi mekanizmasını zorlaştırmaktadır ve ayrıca nokta kaynağından krom karbür çökmesi için gerekli sıcaklık aralığı ve süresi yeterli değildir.

Sertlik ölçümlerinin incelenmesinden görüldüğü gibi korozyon deneyine tabi tutulmamış ve tabi tutulmuş bağlantılarda, çekirdek kesitinden alınan sertlik değerleri arasında büyük bir farklılık görülmemektedir. Zira krom karbür çökmesi etkisini tane sınırlarında ve sınırlara yakın çok ince bir bölgede göstermektedir. Sertlik izi ise genellikle tane ortasında olmakta ancak çok büyük bir tesadüf ile sınıra düşmektedir. Bunun yanısıra esas metal, ITAB ve kaynak metalindeki sertlik değişimleri rahatlıkla izlene-bilmektedir.

## BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüz endüstrisinde yaygın uygulama alanı bulan ferritik ve ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynağı bağlantılarında kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemeti ve bağlantının korozyon özelliklerine etkisi önemlidir. Özellikle otomotiv, kimya ve gıda endüstrisinde sık kullanılan X8 Cr 17 (ferritik) ve X 12CrNi 188 (ostenitik) paslanmaz çelik sacların birbirleriyle karşı karşıya geldiği nokta kaynağı bağlantılarında kaynak parametrelerinin mukavemet ve korozyon üzerine etkisini araştırmak, uygun parametreleri saptamak amacıyla yapılan bu çalışmada şu sonuçlara varılmaktadır:

1- 1 mm. kalınlığında X8 Cr 17 ferritik paslanmaz sacların nokta kaynağı ile birleştirilmesinde, elektrod basma kuvvetinin 500 daN, ön ve son tutma sürelerinin 25 periyod olarak alınması halinde, 25 periyodluk kaynak süresi kullanılarak akım şiddetinin 8,5 ilâ 9,5 kA arasında seçilmesiyle yüksek mukavemetli bağlantılar elde edilmektedir.

2- 1 mm. kalınlığında X12 Cr Ni 18 8 ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynağında da aynı sabit kaynak koşullarında, 25 periyodluk kaynak süresinde ve 8,5 kA akım şiddetinde yüksek mukavemetli bağlantılar sağlanmaktadır.

3- Ferritik - Ostenitik paslanmaz çelik çiftine ait nokta kaynağı bağlantılarında, parçalar asidik bir ortam ile temas etmeyecek şekilde kullanılacaklarsa kaynak süresi 15 periyod, akım şiddeti 8,5 kA olarak seçilerek uygun mukavemet değerleri gösteren birleştirmeler yapılabilmektedir.

4- Ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftine ait

bağlantıların çekme-makaslama mukavemetleri, yalnız ferritik ve yalnız ostenitik paslanmaz çeliklerin nokta kaynağı bağlantılarının çekme-makaslama mukavemetlerine göre orta seviyelerde yer almaktadır.

5- Nokta kaynağı yapılan ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftinde belirli kaynak koşullarından itibaren özellikle tanelerarası korozyon oluştuğu ve burada bağlantının mukavemetini istenmeyen yönde etkilediği tespit edilmiştir.

6- 25 periyodluk kaynak süresinin kullanıldığı ferritik-ostenitik çiftin nokta kaynağı bağlantılarının mukavemet değerleri 5 ve 15 periyodluk sürelerde oluşturulan bağlantılara göre orta değerlerde kalmaktadır. Ancak asidik bir ortamda çalışacak bağlantıların yüksek mukavemetli olması için 25 periyodluk kaynak süresi ve 7,5 ilâ 8,5 kA akım şiddeti aralığı seçilmelidir.

7- Ferritik-ostenitik paslanmaz çelik çiftine ait bağlantılarda 9,5 kA kaynak akımının üzerindeki akım değerlerinde saclar arasından aşırı fışkırma ile mukavemet azalmakta hatta daha yüksek akım şiddetlerinde ise, derin elektrod izleri ve sac üst yüzeyinden fışkırma oluşarak bağlantının kalitesi düşmektedir. Yukarıda belirtilen uygun akım şiddetlerinin üzerine kesinlikle çıkılmamalıdır.

8- Ferritik-ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynağı yapılarak kullanılacağı konstrüksiyonlarda tanelerarası korozyona neden olan krom karbürün oluşmasını önlemek üzere ferritik paslanmaz sacların Nb ile stabilize edilmiş türü olan X.8 CrNb 17 çeliğini kullanmakta yarar görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] ANIK, S., "Kaynak Tekniği", Cilt 3, İ.T.Ü. Matbaası, Sayı: 1030, 1975.
- [2] OĞUZ, B., "Karbonlu ve Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı Metalurji-Uygulama" OERLİKON A.Ş. Yayını, 1985.
- [3] SEDRIKS, J., "Corrosion of Stainless Steels", John Wiley and Sons, 1979.
- [4] N.N., "Resistance Welding Manual", Resistance Welder Manufacturers' Association, USA, 1947.
- [5] OPENHEİM, R., BRAND, W.D., "Bedingungen für das Widerstands-Punktschweißen von nithrostenden 18/8-Chrom-Nickel-Stählen", Schweißen and Schneiden 13 (1961), H.2, s.61-70.
- [6] SCHAEFFER, R., GRAHLE, M., "Forschungsprojekt Lanzeitauto-Zielsetzungen und Anforderungen an die Schweisstechnik", Schweißen und Schneiden 27 (1975), H 8, s.292-297
- [7] N.N. "Fabrication and the Long-Life Car", Welding and Metal Fabrication, April, 1976, s.190-192.
- [8] STRASSBURG, F.W., "Schweißen Nichtrostender Stähle", DVS, Band 67, Düsseldorf 1982.
- [9] BRICK, R.M., PENSE, A.W., GORDON, R.B., "Structure and Properties of Engineering Materials", Fourth Edition, McGraw Hill, 1977.
- [10] AVNER, S.H., "Introduction to Physical Metallurgy", Second Edition, McGraw-Hill, 1934.
- [11] DORUK, M., "Korozyon ve Önlenmesi", O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, Yayın No: 70, Ankara, 1982.
- [12] TULBENTÇİ, K., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Böhler Kaynak Dünyası, Sayı: 11, 1985, s.6-10.
- [13] TEKİN, E., "Çelikler ve Çelik Standardları", Mühendis ve Makina, Cilt 25, Sayı: 292, Mart-Nisan 1984, s.3-11.
- [14] KALUÇ, E., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Kaynak Tekniği Yaz Okulu, Yıldız Üniversitesi Matbaası, 1986, s. 65-83.

- [15] N.N., "Metals Handbook, Volume 6, Welding and Brazing" American Society for Metals, Ohio, 1972.
- [16] N.N., "Welding Handbook, Volume 4, Metals and Their Weldability", Seventh Edition, American Welding Society, Miami 1982.
- [17] HENRY, O.H., CLAUSSEN, G.E., "Welding Metallurgy-Iron and Steel", Second Edition, American Welding Society, USA 1949.
- [18] ANIK, S., DORN, L., "Metallphysikalische Vorgänge beim Schweißen hochlegierter, insbesondere rostbeständiger Stähle-Schweißen", Schweißen und Schneiden 34, (1982), H.11, s.530-534.
- [19] BAUMEL, A., "Das Korrosionsverhalten der Schweißnähte an ferritischen Chromstählen", Fachbuchreihe-Schweisstechnik, Band 36, DVS, 1963, s.95-105.
- [20] ANIK, S., DORN, L., "Metallphysikalische Betrachtungen der Werkstoffe beim Metallschweißen-Korrosionserscheinungen an Schweißverbindungen", Schweißen und Schneiden 37, (1985), H.4, s.157-162.
- [21] ANIK, S., DORN, L., "Metallphysikalische Betrachtungen der Werkstoffe beim Metallschweißen-Korrosionsschäden und Korrosionsschutz", Schweißen und Schneiden 37, (1985), H. 10, s.524-527.
- [22] ANIK, S., DORN, L., "Metallphysikalische Vorgänge beim Schweißen Hochlegierter, insbesondere Rostbeständiger Stähle-Gefügebau", Schweißen und Schneiden 34, (1982), H.10, s.485-490.
- [23] GÜLBAHAR, B., "Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Tanelerarası Korozyon Problemi", I.Ulusal Kaynak Sempozyumu, İ.T.Ü. Kasım 1984. s.17-22.
- [24] BOESE, U., WERNER, D., WIRTZ, H., "Das Verhalten der Stähle beim Schweißen", Teil II: Anwendung, DVS, Band 44, 1984.
- [25] ANIK, S., DORN, L., OĞUR, A., "Yapıştırılmış ve Nokta Kaynağı Yapılmış Kombine Birleştirmelerde Mukavemet Özellikleri", IV. Ulusal Metalurji Kongre ve Sergisi, 22-25 Ekim 1986, Ankara, Cilt II, s. 813-829.
- [26] ERYÜREK, B., "Elektrik Direnç Kaynağı", Mühendis ve Makina, Cilt 24, Sayı: 279, s.22-31.
- [27] DÜCHTING, W., KÜPPERS, W., ORTMANN, R., "Arbeitsbedingungen für das Punktschweißen Nichtrostender Ferritischer Feinbleche", DEW - Technische Berichte, 11. Band (1971), H.4, s.251-258.



- [28] ERYÜREK, B., "Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Temas Direncinin Etüdü", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi, 1976.
- [29] LHEUREUX, G.E., BELOTTE, E.J., "Le Soudage par Resistance", Dunod, Paris, 1965.
- [30] ANIK, S., "Kaynak Teknolojisi El Kitabı", Ergör Matbaası, İstanbul, 1983.
- [31] SAVAGE, W.F., ARONSON, A.H., KRANTZ, B.M., "A Literature Review of the Physical Metallurgy of Electric Resistance Welding", Welding Journal March 1964. s.140s- 144s.
- [32] GRIGOLEIT, G., "Praktische Erfahrungen mit dem Widerstands-Punktschweissen von dunnen Austenitischen Chrom-Nickel-Stahl-Blechen im Flugzeug- und Raumfahrtbau", Schweissen und Schneiden 17, (1985). h. 3, s.113-118.
- [33] NIPPES, E.F., SAVAGE, W.F., IANNIELLO, L.C., OWCZARSKI, W.A., "Spot Welding of a 12 % Cr Martensitic Stainless Steel", Welding Journal, September 1959. s.360s-366s.
- [34] KÜPPERS, W., DÜCHTING, W., "Untersuchungen zum Widerstandspunktschweissverhalten von Feinblechen aus Nichtrostenden austenitischen Stähle". Schweissen und Schneiden 24, (1972), H. 10, s. 404-406.
- [35] MAKAROV, V.P., BLINOV, V.E., ZHURAVLEVA, L.V., PAVLENKO, A.F., "The Corrosion Resistance of Welded Joints between Low Alloy Steel 10 KhNDP and Corrosion-resistant steel 10 Kh14Gl4N4T", Svar. Proiz., 1977, No: 4, s.34-35.
- [36] MAKAROV, V.P., FUKALOV, G.V., "The Fatigue of Welded Joints in the 12 Kh13Gl8D Steel", Svar. Proiz, 1980, No: 1, s.28-29.
- [37] ANIK, S., DORN, L., KASSNER, W., "Beitrag zum Spannungrisskorrosionsverhalten von Widerstandspunktschweissverbindungen aus nichtrostenden austenitischen Chrom -Nickel-Stählen", Schweissen und Schneiden 31 (1979), H. 1, s.4-7.
- [38] ANIK, S., DORN, L., GÜNALTAN, A., "Untersuchungen zur Beständigkeit Widerstandspunktgeschweisster verbindungen aus X12 CrNi 18 8 gegenüber interkristalliner Korrosion", Schweissen und Schneiden 32 (1980), H.1, s.5-9.

- [39] CABRERA,G., BLANCO, L., CHOY, R., "Determinación de la sensibilidad a la corrosion intercrystalina de las soldaduras de punto en el acero inoxidable tipo 316", Revista Cenic, 7, 2, 1976, s.291-299.
- [40] N.N., "Ostenitik Paslanmaz Çelikler Tanelerarası Koroz-yona Dayanım Tayini", TS 3157/Nisan 1978,TSE,s.1-3.



## ÖZGEÇMİŞ

Erdiñç Kaluç, 1958 yılında Halkalı'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adapazarı'nda, Lise öğrenimini Haydarpaşa Lisesi'nde tamamladıktan sonra girdiği Kocaeli Mühendislik ve Mimarlık Akademisi'nin Makina Bölümünden 1980 yılında mezun oldu. İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi'nin Makina Fakültesi'nde 1982 yılında İmal Usulleri Dalında Yüksek Lisans öğrenimini tamamladıktan hemen sonra İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Doktora öğrenimine başladı. 1981 yılında asistan olarak işe başladığı Kocaeli Mühendislik Fakültesinde 1986 yılında öğretim görevliliğine atandı, halen bu göreve devam etmektedir.

### Yayınları:

1. TULBENTÇİ, K., KALUÇ, E., "İş Makinalarının Tamir ve Bakımında Kaynağın Önemi", 1. Ulusal İş Makinaları Sempozyumu, İ.T.Ü. Taşkışla, 30 Nisan - 2 Mayıs 1986.
2. KALUÇ, E., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Kaynak Tekniği Yaz Okulu, Yıldız Üniversitesi Matbaası, Haziran 1986, s.65-83.
3. KALUÇ, E., "Plazma Arkı ile Kesme ve Kaynak İşleri", Endüstride Bizim Dünyamız Dergisi, Gedik Holding A.Ş. Yayını, Sayı: 12, Haziran 1986, s.5-9.
4. ANIK, S., TULBENTÇİ, K., KALUÇ, E., "Ark Kaynakçısının El Kitabı" Böhler A.Ş. Yayını, İstanbul, 1987.
5. KALUÇ, E., "Elektron Işın Kaynağı", Gedik Holding Kaynak Dünyası, Ocak 1988, s.26-29.
6. KALUÇ, E., "Paslanmaz Çelik İnce Saçların Elektrik Direnç Nokta Kaynağı", 1. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, 26-27 Nisan 1988, Balıkesir, s.536-545.
7. TULBENTÇİ, K., KALUÇ, E., "Kazı Makinalarında Aşınmanın İncelenmesi ve Aşınan Parçaların Kaynakla Tamirinin Teknolojik ve Ekonomik Önemi", 1. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, 26-27 Nisan 1988, Balıkesir, s.779-788.
8. ANIK, S., KALUÇ, E., "Ferritik-Ostenitik Paslanmaz Çelik Çiftinin Nokta Kaynağı Bağlantılarında Kaynak Parametrelerinin Mukavemete Etkisi", Ülkemiz Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü Sempozyumu, Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 20-24 Haziran 1988, İstanbul.