

T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM ESASLI MALZEMENİN
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA
TEMAS DİRENCİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. NERMİN KURŞUNGÖZ

Yönetici, Prof. Dr. Selâhaddin ANIK

Eskişehir, 1986

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamı yöneten, araştırma ve incelemelerimde bana her türlü kolaylığı sağlayarak engin bilgi ve mesleki tecrübesi ile yol gösteren değerli hocam Sayın Prof.Dr. SELÂHADDİN ANIK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmalarımda, makina, ekipman ve malzeme yönünden yardımcı olan;

- . Eskişehir Jant Sanayi ve Ticaret A.Ş./ESKİŞEHİR
- . Mistaş A.Ş./BURSA
- . Demirer Kablo A.Ş./Bozüyük-BİLECİK
- . Arçelik A.Ş./ESKİŞEHİR
- . TULOMSAŞ/ESKİŞEHİR

ile tüm işletme yetkililerine ve bu çalışmamda emeği geçenlere teşekkür etmeyi borç bilirim.

İ Ç İ N D E K İ L E R

ÖZET

ZUSAMMENFASSUNG

BÖLÜM I : GİRİŞ	1
BÖLÜM II : KONUNUN TANITILMASI	4
1.- Elektrik Direnç Kaynağının Prensibi	4
2.- Elektrik Direnç Kaynağı Usulleri	4
3.- Elektrik Direnç Nokta Kaynağı	6
3.1.- Nokta Kaynağı Usulleri	9
3.2.- Nokta Kaynağı İşleminin Esasları	11
3.2.1.- Mekanik Özellikler	11
3.2.2.- Isı Üretimi	12
3.2.3.- Kaynak Akımının Etkisi	14
3.2.4.- Kaynak Zamanının Etkisi	15
3.2.5.- Elektrot Kuvvetinin Etkisi	19
3.2.6.- Kaynak Yapılan Malzemenin Etkisi	19
3.2.7.- Kaynak yapılan Malzemenin Yüzey Durumu	21
3.2.8.- Isıl Denge	22
3.3.- Direnç Nokta Kaynağında Temas Dirençleri	22
3.3.1.- Malzemenin Direnci	23
3.3.2.- Temas Direnci	26
3.3.3.- Daralma Direnci	29
3.3.4.- Temas Direncinin Elektrot Yüğü ile Değişimi	31
3.3.5.- Kaynak İşlemi Sırasında Temas Direncinin Değişimi ve Isı Üretimine Katkısı	33
BÖLÜM III: ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ TANITILMASI VE ÖZELLİKLERİ	36
1.- Genel Bilgi	36
2.- Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti	38

BÖLÜM IV : ALÜMİNYUM MALZEMELERİNİN DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI	40
1.- Genel Bilgi	40
2.- Nokta Kaynağı Kabiliyetine Etkiyen Faktörler	42
2.1.- Fiziksel Özelliklerin Etkisi	42
2.2.- Oksit Tabakasının Etkisi	43
2.3.- Metalurjik Özelliklerin Etkisi	44
3.- Yüzey Ön İşlemleri	45
3.1.- Yağdan Arındırma	45
4.- Nokta Kaynağı sıvısı	51
5.- Yüzey Direncinin Kontrolü	52
6.- Kaynak Teknolojisi	52
6.1.- Akım Şeklinin Etkisi	54
6.2.- Elektrot Kuvveti Programları	55
6.3.- Kaynak Sonrası Davranışlar	56
6.4.- Elektrotlar	56
6.4.1.- Elektrot Malzemesi	56
6.4.2.- Elektrot Formu	58
6.4.3.- Elektrodun Soğutulması	60
6.5.- Kaynak Şartlarının Seçimi	60
6.6.- Elektrodun Hareketi ve Elektrot Kuvveti	62
6.7.- Kaynak Akımı ve Kaynak Süresi	63
6.8.- İşlemin Kontrolü	64
7.- Alüminyum Nokta Kaynağı Bağlantılarının Dizaynı ve Mukavemet Özellikleri	65
7.1.- Dizayn	65
7.2.- Statik Mukavemet	66
7.3.- Dinamik Mukavemet	67
7.4.- Korozyon	67

BÖLÜM V : DENEYSEL ÇALIŞMALAR	69
1.- Çalışmanın Planlaması	69
2.- Deney Parçasının Özellikleri	69
2.1.- Deney Parçasının Boyutları	70
2.2.- Deney Parçası Yüzeylerinin Hazırlanması	70
2.2.1.- Piyasa Durumunda (Hiçbir İşlem Görmemiş) Deney Parçaları	71
2.2.2.- Gres Giderilmiş (Yağı alınmış) Deney Parçaları	71
2.2.3.- I-Nolu Kimyasal İşlemlle Hazırlanmış Deney parçaları	71
2.2.4.- II-Nolu Kimyasal İşlemlle Hazırlanmış Deney parçaları	71
2.3.- Yüzey Pürüzlülüğünün Tesbit Edilmesi	71
3.- Temas Direnci Değerlerinin Ölçülmesi	72
4.- Kaynak Makinası	72
4.1.- Elektrotlar	72
5.- Kaynak Programı	73
6.- Deneylerin Yapılışı	73
6.1.- Kaynak İşlemi	73
6.2.- Çekme Deneyleri	73
7.- Deney Sonuçları	74
7.1.- Temas Direnci Değerleri	74
7.2.- Çekme Deneyleri	74
8.- Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	101
8.1.- Temas Dirençleri	101
8.1.1.- Temas Direnci İle Yüzey Pürüzlülüğü Arasındaki Bağntı	101
8.2.- Kaynak Mukavemeti	101
8.2.1.- Temas Direnci İle Kaynak Mukavemeti Arasındaki Bağntı	101
8.2.2.- Elektrot Yükünün Etkisi	102

9.- SONUÇLAR

103

KAYNAKÇA

I-V

ÖZET:

Bu araştırmada, ticari safiyette (Etial-5) ve 1,2 mm kalınlığın da alüminyum levhaların elektrik direnç nokta kaynağında temas direnci incelenmiş, temas direncinin mukavemete etkisinin olup olmadığı, varsa ne şekilde etkili olduğu araştırılmıştır.

Öncelikle genel elektrik direnç-kaynak yöntemlerinin tanımı, etkili parametreleri anlatılmış, daha sonra alüminyum esaslı malzemele rin özellikleri, genel kaynak kabiliyetleri, kaynak edilmeleri sırasında karşılaşılan güçlükler üzerinde durulmuştur.

Alüminyum malzemelerin elektrik direnç nokta kaynağı genel olarak incelendikten sonra deneysel işlemlere geçilmiştir.

Deneylerde, ele aldığımız 1,2 mm kalınlığında ve ticari safiyette alüminyum (Etila-5) levhalar üzerinde yapılan yüzey hazırlama işlemleri, bunların temas dirençleri ve mukavemet üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney sırasında temas yüzeyinin ve temas direncinin etkisini görebilmek amacı ile, kriter olarak çeşitli elektrot yüklerinde ve kaynak zamanlarında elde edilen mukavemet esas alınmıştır.

Sonuç olarak temas direnci ile kaynak mukavemeti arasında kesin bir ilgi bulunamamış, ancak temas yüzeylerindeki pürüzlülüğün kaynak özelliklerini önemli ölçüde etkilediği tesbit edilmiştir.

ZUSAMMENFASSUNG:

Der Einfluss und die Einflussart der kontaktwiderstandt der punktgeschweissten Alüminiumscheiben über die Festigkeit untersucht. Die geschweissten Scheiben sind handelsrein und 1,2 mm dick (Etial-5)

Ein kurzer Überblick der Schweissverfahren und der Eigenschaften der Aluminiummaterialien ist gegeben. Dabei sind wirkungsvolle Parameter in Betracht gezogen. Ausserdem sind die Schweissfähigkeit der scheiben und auftauchende Schweissprobleme diskutiert.

In den Versuchen, um den Einfluss der kontaktflächen und kontaktwiderstandt zu untersuchen, sind die Festigkeiten, die durch verschiedenen Elektrodenstromen und Schweisszeiten erhalten sind, als Hauptkriterium genommen.

Zwischen der kontaktwiderstand und der Schweissfestigkeit ist keinen Zusammenhang gefunden. Aber, es ist festgestellt worden, dass die unebenheiten der kontaktflächen die Schweisseigenschaften im wichtigen Masse beeinflussen.

BÖLÜM I: GİRİŞ

Elektrik direnç nokta kaynağı, ısı ve basıncın aynı anda uygulanması ile gerçekleştirilen bir birleştirme usulüdür.

Kaynak yapılacak saclar birbirleri üzerine yeteri kadar bindirilmekte ve elektrik akımını da ileten elektrotlar aracılığı ile sağlanan basınçla birleştirme sağlanmaktadır. Isının elde edilmesinde Joule Kanunu geçerlidir.

$$Q = \int_0^t I^2(t) R(t) dt$$

Uygulanan akıma karşı sistemde ortaya çıkan dirençler, esas olarak iki ana gruba ayrılır.

- a) Kullanılan esas malzemenin direnci
- b) Temas (kontakt) dirençleri

Esas malzemenin direnci bilinen bir değerdir ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Pekçok malzemenin direncini verilen tablolardan almak mümkündür. Direncin kaynak dikişine etkisi kolaylıkla tesbit edilebilir.

Temas direnci ise, esas malzemenin direncinden çok farklıdır. Yalnızca sıcaklığa ve malzemeye değil, aynı zamanda yüzey şartlarına, elektrot basıncına ve kaynak şartlarına bağlıdır.

Metallik bir yüzey hiçbir zaman mükemmel bir pürüzlülükte değildir. Mikroskop altında incelendiğinde yüzeyin girintili çıkıntılı olduğu görülür. Bu pürüzler, dirence ve kaynak bağlantısının mukavemetine etkir.

Elektrik direnç nokta kaynağında, ısı üretimi ve kaynak dikişinin oluşumunda temas dirençlerinin rolü ve bu dirençleri etkileyen faktörlerin incelenmesi, kaynak mukavemeti ve kaynağın güvenilirliği bakımından çok önemlidir.

Bu kaynak usulünün amacı, diğer boyutlarına oranla, kalınlıkla-

rı küçük olan elemanları, kaynak noktaları sayesinde binderme usulü ile birleştirmektir. Kaynak noktası, eriyik haldeki bir metal damlacığı nın, iki levha arasındaki temas yerinde katılaşarak kalıcı bir birleşme gerçekleştirmesiyle elde edilir. Bu birleşme mükemmel olarak devamlıdır ve kaynak yapılan parçalarla aynı fiziksel ve metalurjik özelliklere sahiptir. Seri imalattaki çok sayıda imalat istekleri için uygun ve yaygın bir kaynak usulüdür.

Burada otomobil yapımını örnek alırsak, otomobil üretiminde binnek arabalarının imali için yaklaşık 700 adet preslenmiş ve kesilmiş parça ile takriben 400 adet talaş kaldırılarak işlenmiş parça civata, perçin kıvrırma, lehimleme, yapıştırma ve en çok kaynak yoluyla birleştirilmektedir. Toplam kaynaklar tek tek yaklaşık 5000 nokta kaynağın dan, 30 m kadar ark kaynağından, 1 m elektron bombardıman kaynağından ve 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır. [1] Diğer kaynak usulleri (Ark kaynağı, gaz kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi termik birleştirme usulleri) ile karşılaştırıldığında, kaynak başına düşen işçilik masrafı oldukça düşüktür. Nedeni ise, kaynak işleminin, bir düğmeye veya bir ayak pedalına basarak makinayı devreye sokma veya devreden çıkarma yeteneğine sahip operatörler tarafından büyük bir hızla gerçekleştirilmesidir.

Ancak direnç nokta kaynağı usulünde ilk yatırım diğer kaynak usullerine göre oldukça yüksektir. Düşük işçilik masrafı ile beraber, birim makina maliyetini de düşürmek için çok sayıda kaynak işlemi gerekmektedir.

Kimyasal, iç yapı ve fiziksel karakteristikleri yönünden diğer usullerle karşılaştırıldığında bu kaynak türünde ısıtma çok küçük bir alanda olduğu için, iş parçalarında distorsiyon ve renk bozulması gibi olayların etkisinin çok az olduğu görülür. İşlem hızının yüksek oluşu da diğer bir avantajdır.

Direnç nokta kaynağı usulü ile bindirme tipi kaynaklar yapılabilmektedir. Bu ise, bazı durumlarda dezavantaj teşkil eder. Örneğin,

korozyon ihtimalinin ve yorulma problemlerinin ortaya çıktığı durumlarda, her iki etkiyi de arttırıcı rol oynar.

Bu usulde ilâve malzeme kullanılmaması, hafif oluşu, yüksek kaynak mukavemeti, estetik ve uygulanması için kalifiye eleman gerektirmesi, kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenler, direnç nokta kaynağının günümüzde çeşitli sanayi kollarında kullanma alanı bulmasına yardımcı olmaktadır. Uçak ve otomotiv endüstrisi örnek olarak gösterilebilir. Kaynak özelliklerini etkileyen akım, kaynak zamanı, basınç gibi esas değişkenler ile malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin etkisine yönelik olan araştırmalar ile, kaynak işleminin, kaynak mukavemeti, kaynak değişkenlerinin kontrol ve ayarı açısından güvenilir bir biçimde gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Milletler arası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW/IIS) (1) III numaralı Elektrik Direnç Kaynağı Komisyonu, III-444-72 numaralı dökümanı ile nokta kaynağı temas dirençlerinin tam olarak etüd edilmediği bildirilmiş olup, "Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Temas Direncinin Etüdü" düşük karbonlu çelik için incelenmiştir.

Bu çalışmada, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri karbonlu çeliklerden çok farklı olan alüminyum malzeme seçilerek, elektrik direnç nokta kaynağında temas direncinin etkisi incelenmiştir.

(1) International Institute of Welding/
Institut International de la Soudure

BÖLÜM II: KONUNUN TANITILMASI

1- Elektrik Direnç Kaynağının Prensibi [2,3,4]

Elektrik direnç kaynağı ısı ve basıncın birlikte uygulanması ile yapılan bir kaynaktır. Isı, kaynak yapılacak malzemelerin elektrik akımı devresinde bir direnç gibi kullanılması ile elde edilir ve elektrik akımını da ileten elektrotlar vasıtası ile bir basınç tatbik edilerek kaynak gerçekleştirilir. Bir dış ısı kaynağına gerek yoktur. Kaynak işleminde ilâve hiçbir madde kullanılmaz.

Gerekli kaynak akımı yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, alçak gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak akım membaından sağlanır. Gerekli basınç veya elektrot kuvveti ise, hidrolik pnömatik veya mekanik tertibatlar ile gerçekleştirilir.

2- Elektrik Direnç Kaynağı Usulleri

Elektrik direnç kaynağı usullerini esas olarak aşağıdaki şekilde gruplayabiliriz.

A- Nokta Kaynağı

a₁ - Normal nokta kaynağı

a₂ - Kabartıllı nokta kaynağı

B- Dikiş Kaynağı

b₁ - Sürekli dikiş kaynağı

b₂ - Aralıklı dikiş kaynağı

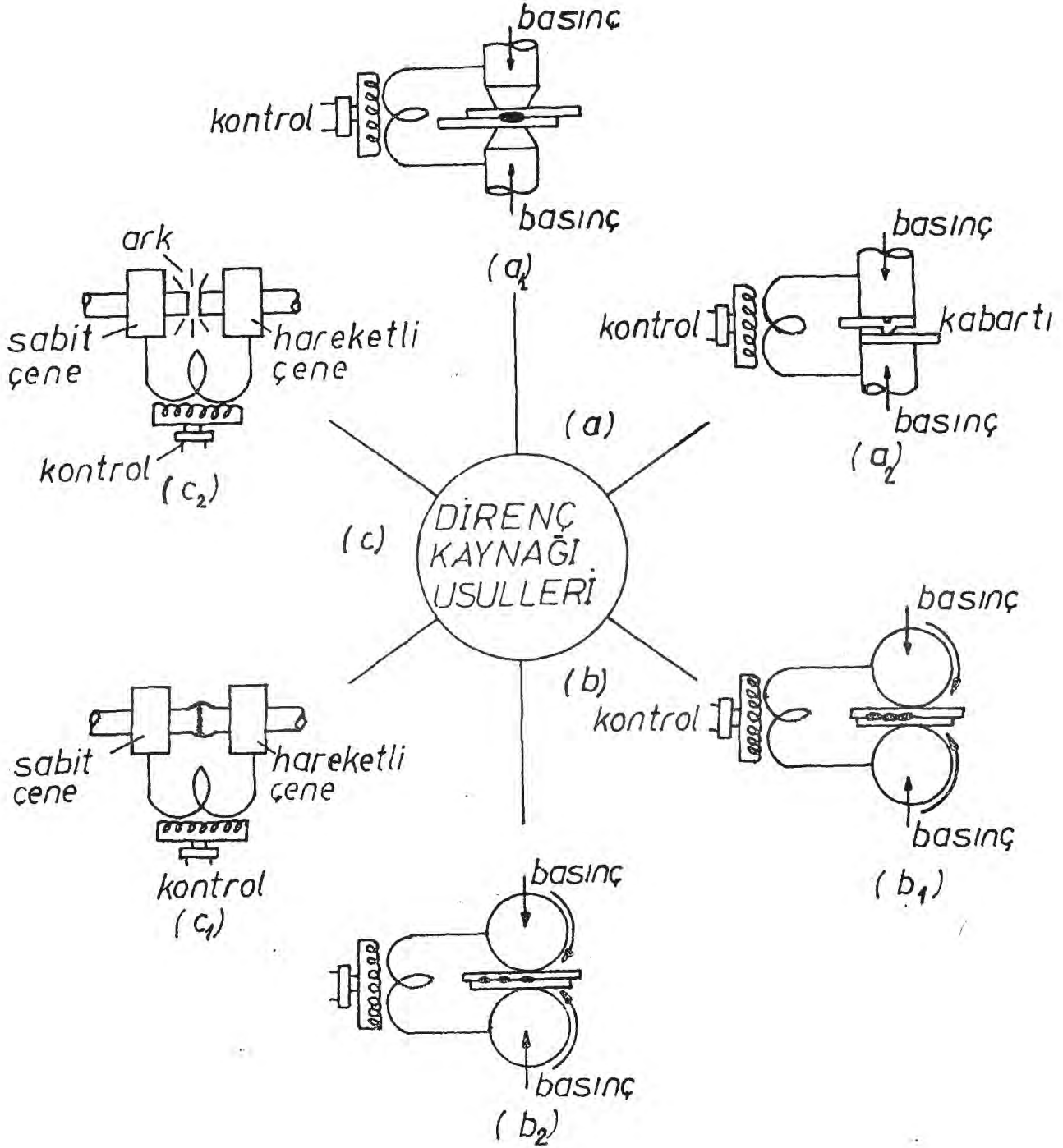
C- Alın Kaynağı

c₁ - Basıncılı alın kaynağı

c₂ - Yakma alın kaynağı

Uygun akım şiddeti seçimi ve kaynak zamanı ayarlaması tüm direnç kaynağı usullerinde geçerlidir. Direnç kaynağı prosesinde işlem sırası özet olarak şöyle sıralanabilir.

- Sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek,



Şekil II, 1 : Direnç Kaynağı usullerinin şematik olarak gösterilişleri [4]

- Daha sonra bu metalin basınç altında yeniden katılaşması ile soğumasına imkân vermektir.

Isınma ve soğuma hızlarının yüksek oluşu zaman bakımından ekonomiyi sağlar. Ancak demir esaslı alaşımlarda hızlı soğuma gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksek ise, temperleme işlemine gerek duyulacaktır.

Esas olarak, benzer mekanik karakterlere sahip olan direnç kaynağı usulleri; bazı kaynaklarda da büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir.

3- Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

Elektrik direnç nokta kaynağı, daha önce söz konusu olduğu gibi, elektrotlar tarafından iletilen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği dirençten elde edilen ısı ve yine çubuk tipi elektrotlar tarafından sağlanan basıncın bir arada kullanılması ile meydana gelir. Elde edilen kaynak dikişinin boyut ve şekli, elektrotların boyut ve şekli ile sınırlıdır. [2]

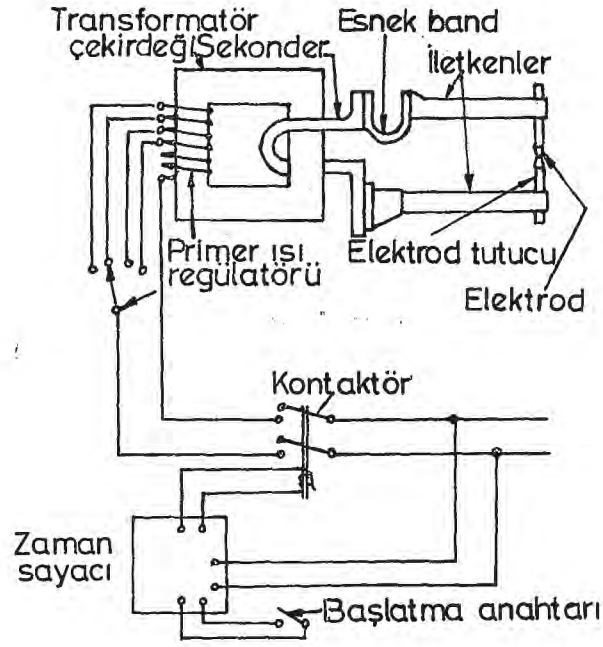
Kaynak işlemi esas olarak dört periyotta gerçekleşir. Bunlar şöyle sıralanabilir.

a) Basma zamanı: Elektrot kuvvetinin tatbik edildiği an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen zamandır.

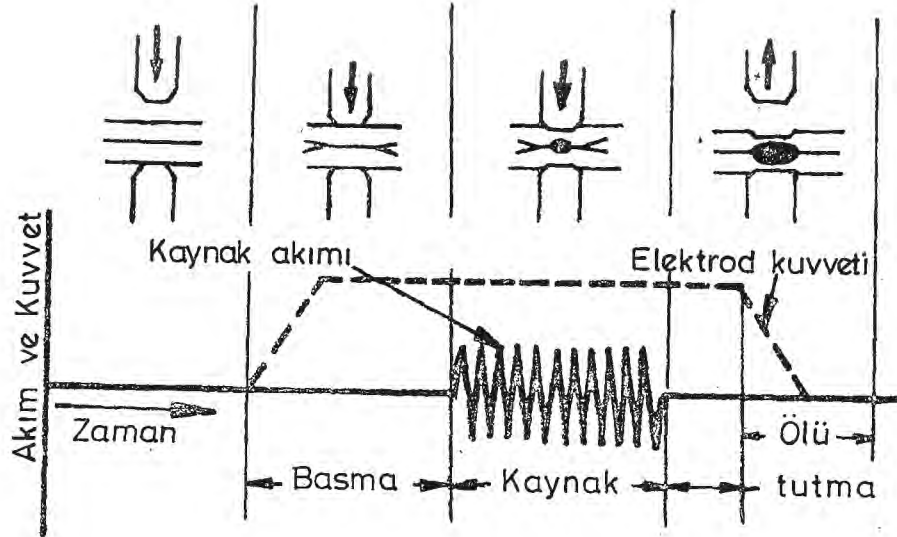
b) Kaynak zamanı: Kaynak akımının geçtiği zaman aralığıdır.

c) Tutma zamanı: Kaynak akımının kesilmesinden sonra, elektrot kuvvetinin etkisinin devam ettiği zamandır.

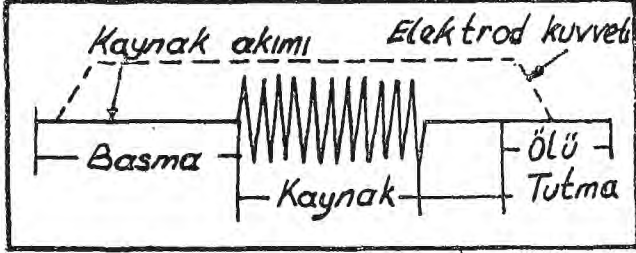
d) Ölü zaman: Elektrotların iş parçaları ile temasta olmadığı zaman aralığıdır.



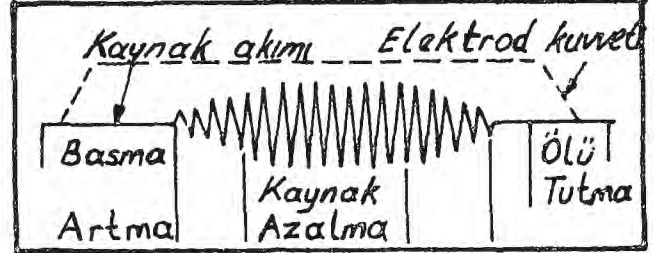
Şekil II - 2 : Şematik olarak bir nokta kaynak makinası [3,4]



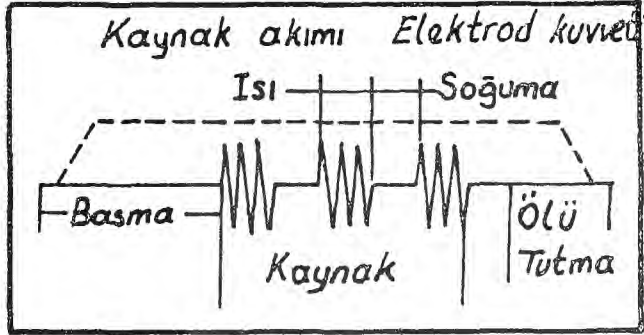
Şekil II - 3 : Nokta Kaynağı İşleminin çeşitli safhalarının sırasıyla şematik olarak gösterilişi [2,4]



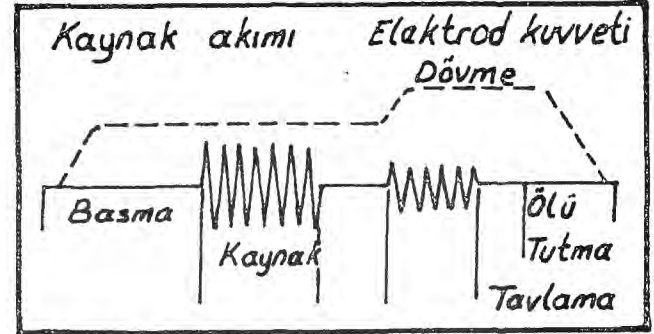
(a) Tek impulsu kaynak periyodu



(b) Artan ve azalan akımla ısı kontrollu tek impulsu kaynak periyodu



(c) Çok impulsu kaynak periyodu.



(d) Dövme kuvveti ile tavlama, tek impulsu kaynak periyodu.

Şekil II - 4: Nokta Kaynağı işleminde, kaynak periyodundaki çeşitli zamanların şematik olarak gösterilişi [4]

3.1- Nokta Kaynağı Usulleri

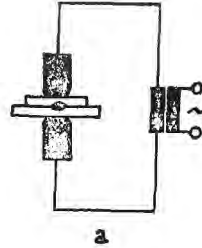
Genel olarak, nokta kaynağı usulleri iki grupta sınıflandırılır.

- a- Tek noktalı kaynak
- b- Çok noktalı kaynak

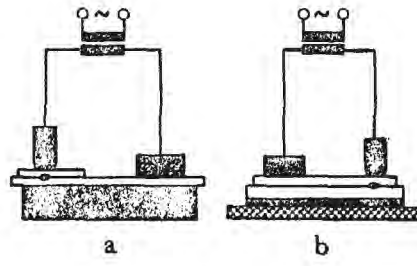
Akımın tatbik edildiği periyod boyunca bir kaynak noktası elde ediliyorsa tek noktalı kaynak, aynı anda iki veya daha fazla kaynak noktası meydana geliyorsa çok noktalı kaynaktır.

Çok noktalı kaynak, düzenleme tarzına bağlı olarak paralel veya seri noktalar halinde elde edilebilir.

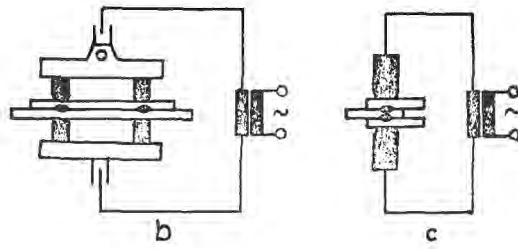
Bunun dışında akım yoluna bağlı olarak her iki kaynak usulü de direkt veya indirekt kaynak şeklinde düzenlenebilir.



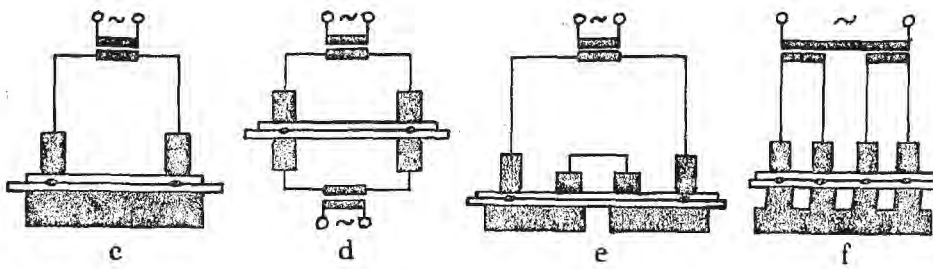
Şekil II - 5: Tek noktalı direkt kaynak [4]



Şek. II - 6: Tek noktalı indirekt kaynak [4]



Şek. II - 7: Çok noktalı direkt kaynak [4]



Şek. II - 8 : Çok noktalı indirekt kaynak [4]

3.2- Nokta Kaynağı İşleminin Esasları

Diğer elektrikli ısı aletlerinde olduğu gibi, gerekli ısı, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı meydana gelen direnç vasıtasıyla elde edilir.

Elektrik direnç kaynağında, direncin değeri düşük olduğundan, gerekli kaynak ısını üretebilmek için yüksek kaynak akımlarına ihtiyaç vardır.

Isı üretim hızı, malzemenin gösterdiği direnç içersinden akan akıma bağlıdır. Gerçekte akım ve direnç kaynak periyodu boyunca değişmekle beraber, üretilen ısının bağlı olduğu büyüklükleri belirtebilmek için, bu değişkenlikler sabit kabul edilerek, kaynak yapılan iş parçasında üretilen toplam ısı, watt - saniye cinsinden aşağıdaki formülle gösterilebilir.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Burada, (t) saniye cinsinden kaynak zamanı, (R) ohm cinsinden iş parçasındaki toplam direnç, (I) amper cinsinden kaynak akımıdır.

3.2.1- Mekanik Özellikler

Elektrotlar iş parçalarına önceden ayarlanmış zamanlarda ve hızlarda yaklaşır ve uzaklaşır. Bu arada, elektrotların basma kuvveti pnömatik, hidrolik veya mekanik cihazlar vasıtasıyla tatbik edilir. Elektrotların yaklaşma hızı yüksek olmalı ancak elektrotların deformasyonu na izin verilmemelidir. Merkezi olarak ısıtılan iş parçaları, kaynak işlemi sırasında hem genişler ve hem de büzülür. Elektrotlar basınç altında dinamik harekettedir. Hareket hızının değişimi, hareketli parçaların ağırlığından veya ataletinden, sabit ve hareketli parçalar arasındaki sürtünmeden etkilenir. Bu şartlar altında yeterli basınçları sağlamak gerekir.

Zıt yönde akım taşıyan paralel iletkenler karşılıklı olarak geriye doğru itilir. Bu geri itme kuvveti elektrotları birbirinden ayırmaya çalışır. Elektrotların iş parçalarından ayrılmasını önlemek için tatbik edilen toplam kuvvetin itme kuvvetinden büyük olması gerekir.

İlave olarak, bu kuvvetin iş parçalarının, erime veya yumuşama meydana geldiğinde basınç altında tutmaya yeterli olması gerekir.

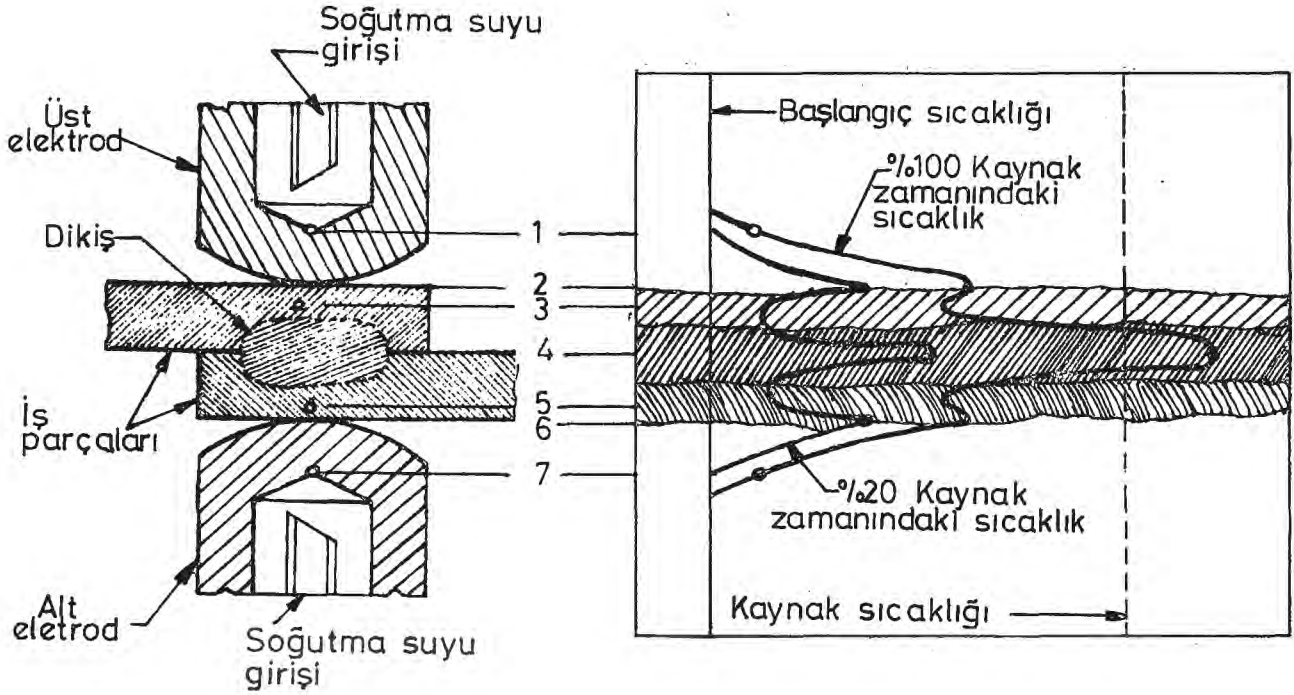
Elektrotlar, iş parçalarını malzemenin yumuşama hızına eşit bir hızda izleyemiyor ise, aşırı yüzey aşınması meydana gelir ve elektrotlar ile iş parçaları arasında bir ark oluşabilir. Bu ark, elektrot yüzeylerinin yanmasına ve dolayısı ile de iş parçalarına yapışmasına ne den olur.

3.2.2- Isı Üretimi:

Kaynak makinasının sekonder devresi, kaynak edilecek iş parçaları da dahil olmak üzere, akımın akışını etkileyen bir seri dirençtir. Amper cinsinden akım şiddeti devrenin bütün noktalarında, o noktadaki direnç ne olursa olsun, aynı olmalıdır. Bununla birlikte, herhangi bir noktada üretilen ısı, o noktadaki dirençle doğru orantılıdır. Böylece, sekonder devredeki elektriksel sistemler, ısıyı istenilen yer de üretecek ve diğer bölgeleri izafi olarak soğuk tutacak biçimde di zayn edilebilir.

Direnç kaynağının en önemli özelliği hızlılığıdır. Yani bu ısıyı hızlı bir şekilde üretebilmesidir diyebiliriz. Üretilen ısıнын ve ısı kayıplarının, elektrotları ve iş parçalarını kapsıyan kısma yaptıkları bileşke etki, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. İki levhanın tek nokta ile kaynağında seri olarak yer almış yedi adet direnç mevcuttur. Bu dirençler sırasıyla şunlardır.

- 1- Üst elektrodun direnci
- 2- Üst elektrot ile üst levha arasındaki temas direnci
- 3- Üst levhanın direnci
- 4- Üst levha ile alt levha arasındaki temas direnci
- 5- Alt levhanın direnci
- 6- Alt levha ile alt elektrot arasındaki temas direnci
- 7- Alt elektrodun direnci



Şek. II - 9: Nokta kaynağının prensip şeması, dirençler sıcaklık gradyanı [4]

Isının tamamı birleşme yeri olan özel bir noktada meydana gelmez. Isı, yedi bölgenin her birinde, bu bölgelerin dirençleri ile orantılı olarak üretilmektedir. Bununla beraber, kaynak ısının yalnız 4 düzleminde hasıl olması arzu edilir.

Diğer bütün noktalardaki ısıyı mümkün olduğu kadar azaltmak için çalışılır.

Kaynağın başlangıcında bütün noktalardaki sıcaklık başlangıç sıcaklığı adı verilen düşey çizgi ile belirtilmiştir. En büyük direnç 4 düzleminde ve bu yüzden ısı, bu bölgede çok daha hızlı oluşur. Bundan sonra gelen büyük dirençler, 2. ve 6. bölgelerdeki dirençlerdir. Sıcaklık bu noktalarda da hızla artar, ancak artma hızı 4 düzlemindeki kadar yüksek değildir. Kaynak için gerekli toplam zamanın küçük bir kesrinden sonra, sıcaklık gradyanı soldaki eğri ile temsil edilebilir.

(% 20 kaynak zamanına tekabül eden eğri) 2 ve 6 düzlemlerinde üretilen ısı, bu düzlemler ile temas halinde olan 1 ve 7 su soğutmalı elektrotlara doğru hızla iletilir. 4 düzleminde üretilen ısı, bu bölge kısmen mahfuz olduğundan daha yavaş kaybedilir. Sonuçta, kaynak zamanı ilerledikçe, 4 düzlemindeki sıcaklığın artma hızı 2 ve 6 düzlemlerine nazaran çok daha yüksek olur. Kaynak sıcaklığı şekilde düşey kesikli çizgi ile gösterilmiştir. İyi bir şekilde kontrol edilen kaynak işleminde, kaynak sıcaklığına önce 4 düzlemindeki küçük noktalarda erişilecek ve zaman ilerledikçe bu bölge bir kaynak dikişi teşkil edecek şekilde büyüyecektir.

Verilen bir akım değeri için, birim zamanda kaynakta ısı miktarını etkileyen faktörleri şöyle sıralayabiliriz.

- a) Kaynak edilen malzemenin direnci
- b) Elektrot malzemesinin direnci
- c) İş parçaları arasındaki temas direnci
- d) İş parçaları ile elektrotlar arasındaki temas dirençleri

3.2.3- Kaynak Akımının Etkisi

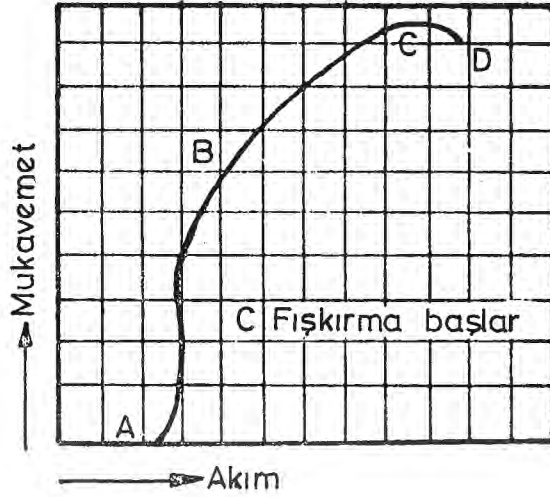
Akım, kare mertebesinde olduğundan, ısıyın elde edilmesinde önemli bir değer taşır. Dikkatli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Sekonder akımında değişikliğe sebep olan etkenler ise şöyle sıralanabilir:

- a) Şebeke gerilimindeki değişimler
- b) Alternatif akım makinası kullanıldığında, boğaz geometrisindeki değişiklikler ile ortaya çıkan sekonder empedans değişimleri
- c) Makinanın sekonder devresi içerisine değişken miktarda manyetik malzemenin sokulması

Akım şiddetindeki değişmelere ilaveten, kaynak ara yüzeyinde de, akım yoğunluğunda değişimler ortaya çıkar. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından ve elektrotların etki alanı dışındaki bir takım metalik temas noktalarından kısa devre olması ile meydana gelir.

Boyutları büyümüş elektrotlar akım yoğunluğundaki azalma sebebiyle, kaynak ısısında ve kaynak özelliklerinde azalmaya sebep olur.

Her türlü şart altında, iş parçalarında herhangi bir kaynama teşekkül etmeden evvel sonlu bir akım gerekir.



Şek. II - 10: Nokta kaynağının mukavemetine kaynak akımının etkisi [4]

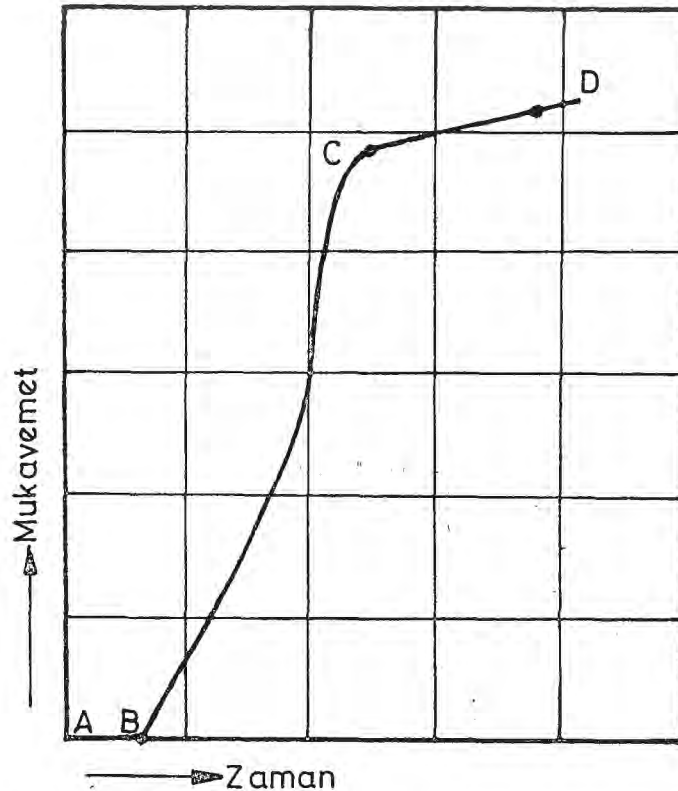
Bununla beraber, yumuşama sıcaklığına erişildiğinde, kaynak di-
kişinin boyutları ve mukavemeti akımda küçük artmalar ile hızlı bir ar-
tış gösterir. Aşırı miktardaki akım kaynakta fışkırmaya sebep olur ve
kaynağın mukavemetini düşürür. Kaynağın çekme-makaslama mukavemeti -
nin akım şiddetine bağlı olarak değişimi yukarıdaki şekilde gösteril-
miştir.

3.2.4- Kaynak Zamanının Etkisi

Isı üretim hızı o şekilde olmalı ki, kaynak, arzu edilen zaman
aralığı içerisinde, ısı kayıplarını da karşılayarak gerçekleşebilsin.
Isı formülünde de görüldüğü gibi, üretilen toplam ısı zamanın lineer
bir fonksiyonudur. Isı kayıpları, iş parçalarına ve elektrotlara kon-
düksiyon ile olduğu gibi, iş parçalarından çevreye radyasyon yolu ile
de meydana gelir. Bu kayıpların genel olarak kontrol edilmesine imkân
yoktur, ancak kayıplar toplam zamanın artması ile birlikte artar.

Sıcaklık gradyanında, zaman, başlama noktasından itibaren sağa doğru artmaktadır. (Şekil II-9) Eğer zaman şekilde gösterilen noktanın ötesinde devam edecek olursa, 4 düzleminin sıcaklığı erime sıcaklığını geçecek ve bazı noktalarda iş parçasının buharlaşma sıcaklığına erişecektir. Sonuçta dikişte, küçük parçacıkların fışkırması ile ortaya çıkan gaz kabarcıklarına sebebiyet verilecektir. Akımın sürekli bir şekilde tatbiki, yüzey üzerindeki pürüzlerin düzelmesine sebep olacak, kaynak dikişi elektrot yüzeylerine doğru büyüyecek ve 3 ile 5 hacımları plastik hale gelecektir.

Bu olay ise, özellikle büyük yüzey açılarındaki elektrotların iş parçalarına aşırı gömülmesine sebep olacaktır. İlave olarak, ısıнын te siri altındaki bölge, iş parçaları içinde, elektrotlardan çok uzak bölgelere kadar uzanacaktır. Herhangi bir kaynak dikişi teşekkül etmeden evvel sonlu bir zaman değeri gereklidir. Kesin minumum zaman değeri, akım şiddetine, malzeme kalınlığına ve bileşimine bağlıdır. Kaynak zamanı ile nokta kaynağının çekme-makaslama mukavemeti arasındaki ilgi aşağıdaki gibidir.



Şekil II-11: Nokta kaynağının mukavemetine kaynak zamanının etkisi [4]

Üretilen ısı, akımın karesi ile doğru orantılı olduğundan, kayıplar ihmal edilirse, herhangi bir zaman aralığında teşekkül eden ısıyı dört katına çıkarır. Toplam ısıda arzu edilen bir değişme ya akımı, ya da zamanı değiştirerek sağlanabilir. Bununla beraber, ısı iletimi zamanın bir fonksiyonudur ve belirli bir dikiş boyutunun meydana gelişinde zaman elemanı, akımdaki artmayı dikkate almaksızın çok fazla kısaltılamaz. Uygun olmayan zaman kontrolünün ilk etkileri, ısıнын temas yüzeylerinde hızla gelişip fışkırmaya sebep olması ile görülür.

Kalın levhaların kaynağında akım, genellikle elektrot basıncını kaldırmaksızın, kısa impulslar halinde uygulanır. Sıcaklık gradyanında, birleşme yerine ait sıcaklık maksimumunun meydana gelmesi ve buna karşılık elektrot yüzeyindekilerin ise gecikmesi arzu edilir. Bu impulslar birleşme yerindeki maksimumun elektrot yüzeyindeki maksimuma nazaran daha hızlı teşekkül etmesine sebep olur ve uygun ısı dengeye erişilmesini sağlar. Bu olay aynı zamanda, yüksek iletkenliğe sahip elektrot malzemesinin kaynak işlemi sırasında soğutulması ile de gerçekleşir.

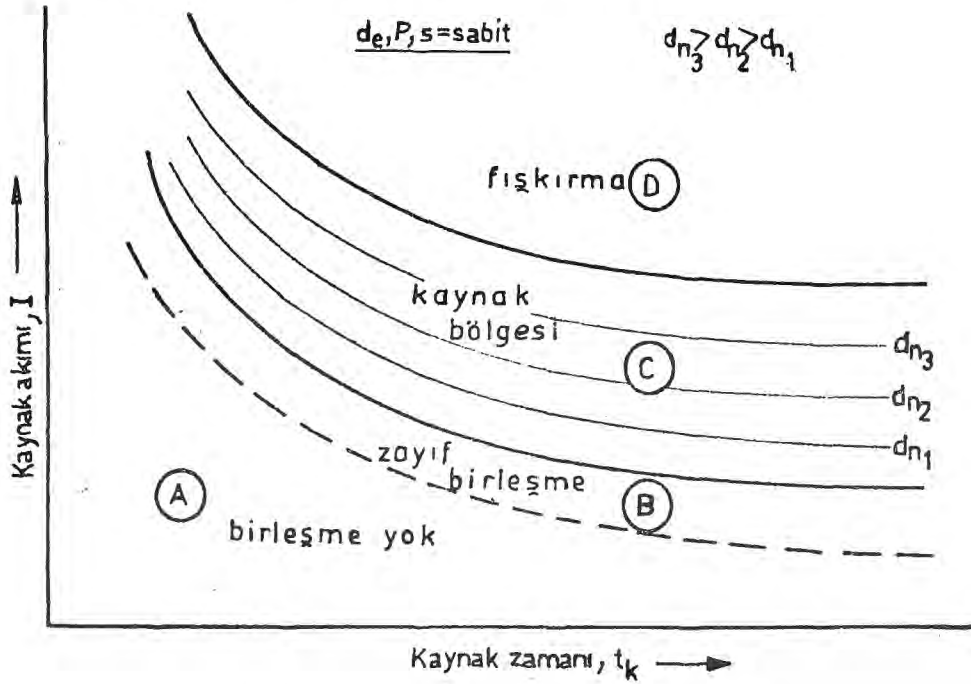
Belirli bir ısı enerjisi elde etmek için çeşitli (I, t) değerleri mevcut olmakla beraber, ısı kaybının da, zamana bağlı olması nedeniyle akım şiddetini keyfi olarak azaltarak kaynak zamanını arttırmak mümkün değildir. Akımın bir minimum şiddetinden küçük değerlerinde kaynak bölgesinde herhangi bir erime meydana gelmez. Bu minimum şiddet, malzemenin cinsine, kalınlığına, elektrot uçlarının boyutlarına ve elektrot kuvvetine bağlıdır. Bir başka deyimle, erimenin meydana gelmesi için bir minimum akım yoğunluğu mevcut olup, bu değer malzemenin cinsine, kalınlığına ve kaynak bölgesine etki yapan elektrot basıncına bağlıdır. [2]

Verilmiş bir elektrot basıncı için, akım yoğunluğunun bir üst sınırı da mevcuttur. Bunun üzerindeki değerlerde kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fışkırır. Bu olay kaynak dikişinde dayanıklılık azalmasına neden olur. Elektrotlarla levhalar arasındaki temas yüzeylerinde erime meydana gelir, elektrotlar

levhalara yapışarak tahrip olur.

Belirli bir levha malzemesi ve kalınlığı, elektrot uç çapı ve -rilmiş bir elektrot kuvveti için bir kaynak kabiliyeti diyagramı (akım-zaman diyagramı) elde etmek mümkündür. II-12 nolu şekilde böyle bir di-yagram şematik olarak verilmiştir.

Diyagram dört bölgeye ayrılmaktadır.



Şekil II-12: Kaynak Kabiliyeti Diyagramı [2]

- A Bölgesi: Burada herhangi bir erime ve birleşme yok,
B Bölgesi: Basınç kaynağı ile oluşan ve erime olmadan meydana gelen zayıf bir birleşme bölgesi,
C Bölgesi: Erime ve kaynak bölgesi,
D Bölgesi: Fıskırma bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren fıskırmaya başlar.

Kısa kaynak zamanı ve yüksek akım şiddeti kullanarak veya uzun kaynak zamanı, düşük akım şiddeti kullanarak, aynı nokta çapı (d_n) elde etmek mümkündür. Bunlardan ilkinde kısa süreli kaynak, ikincisine uzun süreli kaynak adı verilir. sağladığı büyük faydalar nedeni ile kısa süreli kaynak tercih edilmektedir, ancak uzun süreli kaynağın kulla-

nıldığı alanlar da vardır.

3.2.5- Elektrot Kuvvetinin Etkisi

Elektrot kuvveti kaynak işleminin üç safhasında da önemli rol oynar.

Basma safhasında, elektrot kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrot-levha temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Levhaların elektrotlar altında, belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak safhasında elektrot kuvvetinin görevi, levhalar arasından fışkırmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak bu fışkırmayı engellemektir. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeni ile ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir.

Elektrot kuvvetinin artması, levhalar arası temas direncini azaltacağından, kaynak akımının arttırılmasını gerektirir. Diğer yünden çok yüksek elektrot kuvveti, levhalarda istenmeyen distorsiyonlar ortaya çıkarır.

3.2.6- Kaynak Yapılan Malzemenin Etkisi

Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını, gizli erime ısılarını ısı ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Elektrik iletkenliği ifadesindeki R değeri yolu ile 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 dolaşımı 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 veya zor hale getirir.

$$Q = V \cdot S \cdot C_1 \cdot T + V \cdot S \cdot C_2 \quad (1)$$

$$Q = I s_1$$

V = Kaynak edilmiş noktanın hacmi

S = Kaynak edilen malzemenin özgül ağırlığı

C₁ = Özgül ısı

T = Erime derecesi ve verilen sıcaklığı arasındaki fark (Erime derecesi)

C₂ = Gizli erime ısısı

$$Q = V \cdot s (C_1 T + C_2) \quad (2)$$

$$Q = k \cdot R \cdot I^2 \cdot t \cdot \eta \quad (3)$$

$$k \cdot R \cdot I^2 \cdot t = \frac{Q}{\eta} \quad (4)$$

$$Q = R \cdot I \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t$$

$$Q = R \cdot \frac{I}{2} \cdot \frac{I}{2} \cdot (4t) = R \cdot I^2 \cdot t$$

$$Q = R \cdot \frac{I}{3} \cdot \frac{I}{3} \cdot (9t) = R \cdot I^2 \cdot t$$

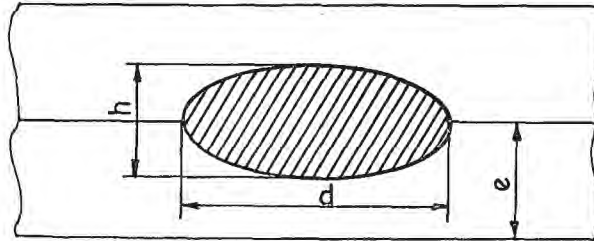
$$Q = R \cdot \frac{I}{n} \cdot \frac{I}{n} \cdot (n^2 t) = R \cdot I^2 \cdot t$$

$$\frac{Q}{\eta} = k \cdot R I^2 \cdot t = V (S C_1 \cdot T + S \cdot C_2) = k_1 V$$

$$k R I^2 \cdot t = k_2 \cdot s \cdot e$$

e: Saç kalınlığı

S: $\frac{\pi d^2}{4}$ yüzey



Şekil II-12 a Bir Kaynak Noktası Kesidi

$$k \cdot \int \frac{2e}{S} \cdot I^2 \cdot t = k_2 \cdot S \cdot e, \quad \int \frac{2e}{S} = R$$
$$I^2 \cdot t = k_3 \cdot S^2$$

$$I \cdot \sqrt{t} = k \cdot S \quad t = 1 \text{ peryot ise}$$
$$I = K \cdot S$$

Yumuşak çelikte	$K = 1250 \text{ A/mm}^2 \text{ 1 peryot}$
Paslanmaz çelikte 18/8	$K = 800-1000 \text{ A/mm}^2 \text{ 1 peryot}$
Alüminyumda	$K = 4000-4500 \text{ A/mm}^2 \text{ "}$
Al-Alaşımda	$K = 3000-4000 \text{ A/mm}^2 \text{ "}$

Örnek: Yumuşak çelik $e = 1,5 \text{ mm}$
 $d = \text{Çap} = 6 \text{ mm}$
 $t = 10 \text{ peryot ise}$

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\pi \times 36}{4}$$

$$I = 1250 \cdot \frac{\pi \cdot 36}{4} \cdot \frac{1}{10} \approx 11.200 \text{ A}$$

Sonuçta bileşim, belirli bir metal hacmini erime noktasına getirmek için verilmesi gerekli toplam ısı miktarını etkiler.

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 defa daha büyüktür. Bu nedenle, alüminyum için gerekli kaynak akımı, paslanmaz çelik için olandan oldukça fazladır. [13]

3.2.7- Kaynak Yapılan Malzemenin Yüzey Durumu

Kaynak yapılacak iş parçalarının yüzey durumu temas dirençleri yoluyla ısı üretimini etkiler. Eğer yüzeyler temiz ise, belirli bir uygulamada, daima aynı kalitede kaynak noktası elde edilir. Yüzeyi ü -

zerinde oksit, pas, kav gibi şeyler olan iş parçası değişik kalitede kaynak noktalarının oluşumuna yol açar.

Parça üzerinde mevcut yağ, kir, pas gibi maddeler akım iletimini zorlaştıracığı gibi, elektrodların yüzeyine yerleşerek, elektrot öm rünü azaltır. Bu gibi hallerde, çeşitli malzemeler için tavsiye edilen, yağ giderme ve yüzey temizleme işlemlerine başvurulmalıdır.

3.2.8-Isıl Denge

Eğer değişik bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve şekle sahip elektrotlarla kaynak edilirse, ısı her iki parçada da üniform olarak olarak üretilecek ve kaynak kesiti tipik oval biçimde olacaktır. Bu şart mevcut ise, ısıl denge mevcuttur. bununla beraber, lev halardan biri diğerinden daha yüksek elektriksel dirence sahipse, ısı bu levhada diğerine nazaran çok daha hızlı üretilecektir. Bu durumda ısıl denge mevcut değildir. Farklı iki metalin kaynak edilmesi halinde, ısıl denge ya yüksek dirençli malzeme tarafındaki elektrot temas alanı nı arttırarak; yahut düşük dirençli malzeme tarafında, daha yüksek dirençli elektrot kullanarak sağlanır.

Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, soğutulmuş elektro - dun ince parça tarafında kaynak ara yüzeyine daha yakın olması nedeni ile, ara yüzeyde yetersiz ısı üretimi yönünde bir eğilim vardır.

Uygun ısıl denge, ince levha tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrot kullanarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamanı kullanmak suretiyle gerçekleştirilir.

3.3- Direnç Nokta Kaynağında Temas Dirençleri

Elektrik-direnç kaynak makinaları rastlantı olarak 1877 yılında bulunmuş, ancak 1916 yılına kadar önemli bir ilerleme kaydedilmemiştir.

[3,5] Bu yıllardan sonra, direnç kaynak makinaları seri olarak yapılmaya başlamış ve endüstride geniş ölçüde kullanılmıştır.

Bu konudaki bilimsel araştırmalar 1935'lerden itibaren başlamış ve II.Dünya harbi sırasında bir duraklamadan sonra devam etmiştir.

[6,7,8]

Bununla beraber, temas alanlarının ve elektriksel temas direnci nin etüdü, direnç kaynağından bağımsız olarak 1880 yıllarından itibaren yapılagelmıştır. [9]

Bu araştırmaların daha sonra, direnç kaynağı teorisinin gelişme sine büyük ölçüde katkısı olmuştur.

3.3.1- Malzemenin Direnci (R_m)

Sistemde ortaya çıkan dirençler esas olarak iki türdür. [2]

Kullanılan malzeme dirençleri ve temas dirençleri

Malzeme direnci, kaynak yapılacak malzemenin özelliklerine, akım yolunun büyüklüğüne, akım yolundaki sıcaklığa bağlıdır. Silindirik bir akım yolu için malzeme direnci aşağıdaki formül yardımıyla bulunur.

$$R_m' = s \cdot \rho / \pi \cdot d^2 \cdot 250$$

Burada:

R_m' : Malzeme direnci (ohm)

S : Akım yolu uzunluğu (mm)

d : Akım yolu çapı (mm)

ρ : Özgül direnç (mm².ohm/m)

Çeşitli malzemeler için 20°C sıcaklıktaki özgül direnç değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. [3,33]

Tablo II-1: Çeşitli malzemeler için 20°C sıcaklıkta özgül direnç ve sıcaklık katsayıları.

Malzeme	ρ (Ω mm ² /m)	α (10^{-3})
Alüminyum (%99,5 Al)	0,0278	4
Al-Mg 5	0,059	2,1
Saf demir	0,1	5,6
Şebeke bakırı	0,0178	3,92
Saf nikel	0,069	6,9
Saf gümüş	0,0149	4,1
Çelik (%0,1 C; %0,5 Mn)	0,13-0,15	4-5
Çelik (%0,25 C; %0,3 Si)	0,18	4-5
Tungsten	0,0491	4,82
Saf çinko	0,048	4,1

Alaşım elemanları metalin 6zg6l direncini saf haline oranla oldukça arttırır. Fakat bu etki y6ksek sıcaklıklarda g6r6n6r şekilde azalır. Çok y6ksek sıcaklıklarda alaşım ile saf metilin 6zg6l dirençleri arasındaki fark pratik olarak kaybolur. Soğuk şekil verme ve suverme ile 6zg6l direnç y6kselir, buna karşılık tavlama ve temperleme ile ilk değerine kadar d6şebilir. Çeliğin 6zg6l direnci karbon miktarı ile de değişir.

Yumuşak eliklerde 6zg6l direncin sıcaklıkla değişimi aşağıdaki gibidir.

$$\rho = 8,56 \cdot 10^{-5} \cdot \theta^2 + 4,9 \cdot 10^{-2} \cdot \theta + 15,4 \quad (20 \leq \theta \leq 800^\circ\text{C})$$

$$\rho = 2,875 \cdot 10^{-2} \cdot (\theta - 800) + 109,4 \quad (\theta > 800^\circ\text{C})$$

İki levhanın nokta kaynağında, elektrot levha temas d6zlemi yoluyla levhalara giren elektrik akımı, şekil 13'de g6sterildiği gibi, çapı, elektrot çapına ve y6ksekliği de levha kalınlığına eşit olan silindirin dışına taşar. [10]

Bu taşma etkisi 6zellikle, elektrot/levha kalınlığı oranı azaldıkça daha fazla olur. Sonuç olarak bir levhadaki malzeme direnci R_m , silindirik akım yolundaki dirence (R_m') nazaran azalır ve aşağıdaki şekli alır. (11)

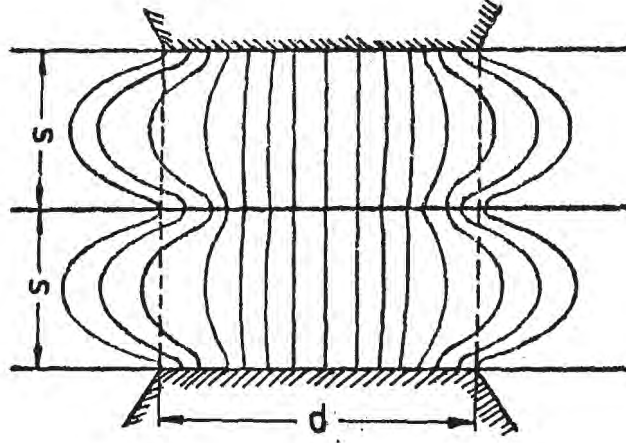
$$R_m = \Psi \cdot R_m'$$

Burada, R_m : S kalınlığında kaynak edilecek bir levhanın etkin direnci,

R_m' : d çapında ve s y6ksekliğinde silindirin direnci

Ψ : d/s'in bir fonksiyonudur.

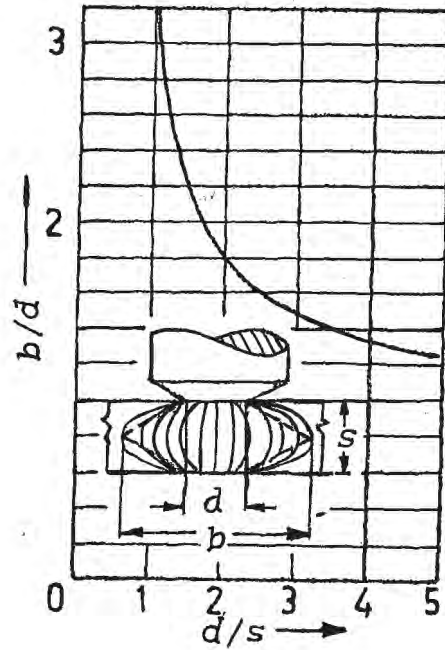
$$\Psi = 1 - \frac{1}{(d/s)^2 + 1}$$



Şekil II-13 Nokta kaynağında akım çizgilerinin taşması. [3]

KOTSCHERGIN her bir levhadaki dönel elipsoid biçimindeki akım yolunun, yaklaşık olarak, taban tabana temas eden iki kesik koni ile temsil ederek, bir levhadaki malzeme direncini aşağıdaki formül ile ifade etmiştir. [11]

$$R_m = \frac{4 \cdot s \cdot \rho}{\pi \cdot d \cdot b}$$



Şekil II-14 b/dnin değişimi [3]

Burada:

b: Kesik koninin taban çapı

d: Elektrot çapı

s: Levha kalınlığı

Eğriden, elektrot çapı d, levha kalınlığı s bilindiğine göre b elde edilir ve yukarıdaki formül yardımıyla kaynak işlemi başında bir levhadaki malzeme direnci R_m hesaplanabilir.

Gerçekte, levhaların temas çapı elektrot çapına eşit olmamakla beraber bu formül yaklaşık olarak kullanılabilir ve sonuçta, iki levha için kaynak işlemi başında toplam malzeme direnci aşağıdaki formül ile ifade edilebilir. [12]

$$2R_m = \frac{8 \cdot s \cdot \eta}{\pi \cdot b \cdot d}$$

3.3.2- Temas direnci (R_t)

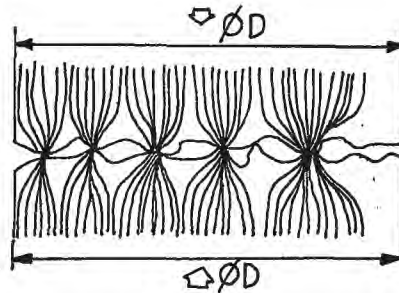
İki iletkenin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci i-ki farklı bileşenden meydana gelmiştir.

3.3.2.1-Yüzeylerin doğal pürüzlülükleri nedeni ile akım yollarının ger-çek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralması ile ortaya çıkan daralma direnci (R_d)

3.3.2.2-İletkenlerin yüzeyleri üzerinde mevcut olan filmlerin meydana getirdiği film direnci (R_f)

Sonuçta temas direnci genel halde aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R_t = R_d + R_f$$



Şekil II-15: Temas halindeki iki yüzeyin çok kuvvetli büyütmede görünümleri [13]

Metalik bir yüzey hiçbir zaman mükemmel bir yüzey pürüzlülüğünde değildir. Mikroskop altında incelenirse yüzeyin çukur ve çentiklerle kaplı olduğu görülür. [14]

Bu yüzeysel pürüzlülük iki metalik yüzeyin temasının elektriksel ve mekanik özelliklerini etkiler.

Birçok küçük temas yüzeylerinin toplamından oluşan, gerçek temas yüzeyi, teorik temas yüzeyinden çok küçük bir değerdedir.

Akımın geçişi sırasında, akım çizgileri bu temas alanları çevresinde yoğunlaşır. Bu nedenle temas noktalarındaki direnç çok yüksektir.

Yüzeyler birbirlerine bastırıldıklarında, mikroskopik basınç metalin akma sınırının altında bile olsa, mikroskopik mertebede değeri metalin akma sınırı üzerinde olan şiddetli lokal gerilmeler meydana gelir.

Sonuç olarak, temas halindeki metal yüzeylerinde daima mevcut olan yüzey pürüzleri elastik sınırları üzerinde derhal şekil değiştirir. Bu şekil değişimi sırasında yeni yeni noktalar da temas haline gelir ve olay, yükü taşımaya yeterli derecede toplam alan meydana gelinceye kadar devam eder. [14]

Yük taşıyıcı bu alanlar akım iletimi açısından dört ayrı kısımda incelenebilir.

a) Metalik temas noktaları: Akım bu noktalardan herhangi bir geçiş direncine maruz kalmadan akar.

b) Yarı metalik (Quasi-metallic) temas noktaları: Elektron akımının "tünel etkisi" ile film malzemesinin direncine bağlı olmaksızın kolaylıkla geçirebilecek kadar ince filmle kaplı alanlar. Bu filmlerin kalınlığı 200 Å veya daha az olup; izafi olarak düşük film direnci meydana getirirler. Bu direncin değeri temas noktalarının sayısından bağımsız olup, aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$R_f = \zeta / A \quad (\text{ohm})$$

Burada ζ ohm.m² cinsinden tünel direnci, A m² cinsinden ince filmle kaplı toplam yük taşıyıcı alandır. Bu çeşit filmlere örnek olarak, havada herhangi bir yüzey üzerinde meydana gelebilen, kimyasal o-

larak adsorbe olmuş oksijen atomu verilebilir.

Kimyasal olarak adsorbe olmuş atomlar, metal yüzeylerindeki atomların valanslarına kovalent bağlar ile bağlanırlar. Artan yük ile etkileri ihmal edilebilecek mertebelere düşer.

c) İzafi olarak kalın filmlerle kaplı temas noktaları:

Bu filmler esas metal üzerindeki kimyasal olarak adsorbe olmuş filmlerden gelişirler ve içindeki bileşenlerden biri esas metalin atomudur. Bu filmlere örnek olarak oksitler ve sülfidler verilebilir. Bu filmlerle kaplı alanlar, küçük temas yüklerinde pratik olarak yalıtkan dır. Bu nedenle, nokta kaynağında kaynak akımı tatbik edilmeden önce, yüzey üzerindeki kalın filmlerin, özellikle oksit filminin kaynak önce si elektrot basıncı ile parçalanma tarzı, kaynak akımının ilk akış şek lini tayin ettiğinden oldukça önemlidir.

Temas yüzeyinde elastik şekil değişimleri mevcut ise, yüzeydeki farklı noktalar mesafelerini çokaz arttırır ve film şekil değişimini parçalanmadan takip edebilir. Bununla beraber, temas yüzeyinde plastik şekil değişimleri mevcut ise, noktalar arasında büyük mesafeler ve metal yüzeyinde artma meydana gelir.

Film bu hareketi ve büyümeyi takip edemez ve metalik noktaların teşekkülü için bir fırsat hazırlayarak parçalanır.

WILLIAMSON, yumuşak çelikte oksit filmlerinin çatlaması ile ilgili olarak yaptığı araştırmada, oksit filminin, esas metaldeki şekil değişimi % 0,2 civarında iken çatlamaya başladığını bulmuştur, [15]

WILLIAMSON çeşitli yüzey profillerini etüd ederek, pürüz tepelerindeki eğimin genellikle 3 ila 5 derece olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Diğer bir araştırmada, düşük temas dirençlerinin, pürüz yüksekliğinin 0,5 mikrondan daha büyük olması halinde ortaya çıktığı, daha düz yüzeylerde azalan pürüz yüksekliği ile direncin hızla arttığı tesbit edilmiştir.

Bunun nedeni oksit filmlerinin parçalanmadan yerlerinde kalmasıdır. [16,17,18]

KOUWENHOVEN ve TAMPICO ince işlenmiş yüzeylerdeki temas direnci nin pürüzlü yüzeylere nazaran çok daha fazla olduğunu tesbit etmiş ve bu farkı ince işlenmiş yüzeylerde oksit tabakasının parçalanmadan kalı şına bağlamıştır.

En iyi metalik temas oksit filmlerinde meydana gelen çatlaklar vasıtası ile sağlanır, ancak temas elemanlarındaki metalik kısımlar bu çatlaklar içine sokulmalıdır. Bu ise doğal olarak kalın filmlerde daha zordur.

Oksit filmlerinde yukarıda açıklanan mekanik parçalanmadan ayrı olarak elektriksel parçalanma da meydana gelmektedir. [19]

Yüksek dirençli kalın oksit filmleri ile kaplı iki metal yüzey temas haline getirilip, giderek artan bir gerilim tatbik edilirse, baş langıçta, yüksek film direnci nedeni ile çok az akım geçer. Fakat potansiyel gradyanı 10^8 V/m değerine ulaştığında akımda ani bir artma ve temas gerilimindeki azalma oksit filminin elektriksel olarak parçalandığını ve metalik temas noktalarının ortaya çıktığını gösterir. Bunun dışında akımın ısı etkisi ile pürüzler yeniden yumuşayarak şekil değiştirirler. Bu iki olay akım tatbikinden hemen sonra temas direncinin çok küçük değerlere ulaşmasına neden olur.

d) Yabancı filmlerle kaplı temas noktaları:

Yabancı filmler bir sıvı yağlayıcı veya su filmi olabilir. Su filmi veya diğer sıvı yağlayıcılar, temas yükleri altında temas bölgelerinden kolaylıkla uzaklaştıklarından temas direncine çok az etkisi olur. Ancak izafi nemin % 70-80'nin üzerinde olması halinde ve havada higroskopik toz parçalarının ve sülfürdioksitin bulunuşu demirde paslanmayı başlatan ve hızlandıran etkenlerdir. Pas ise, büyük elektrot yüklerinde bile direnç kaynağının gerçekleşmesine engel olur.

3.3.3- Daralma Direnci (Rd)

Levhalar birbirlerine görünür temas yüzeyi ($A_g = \pi d^2/4$) üzerinde üniform olarak dağılmış "n" adet metalik temas noktası yoluyla temas ediyor ise, daralma direnci

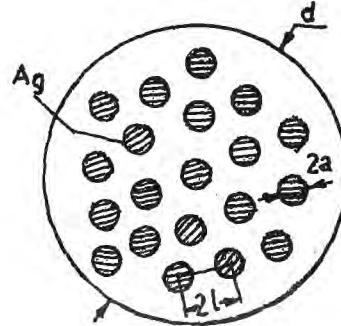
$$R_d = \frac{\rho}{\pi \cdot n \cdot a} \arctg \frac{\sqrt{1-a^2}}{a} - 4,8 \frac{\rho \sqrt{1-a^2}}{\pi d^2}$$

Burada: ρ : Malzemenin özgül direnci

a: Temas noktalarının ortalama yarı çapı

2l: Temas noktalarının merkezleri arısındaki uzaklık

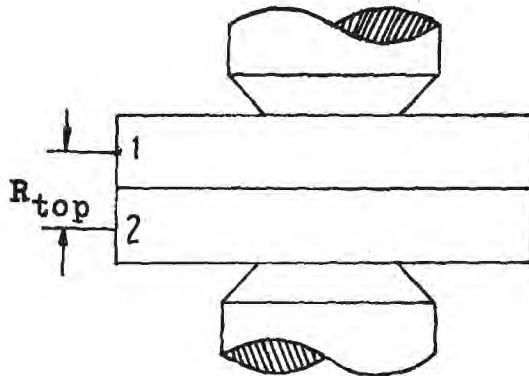
d: Görünür temas yüzeyinin çapı



Şekil II-16: Görünür temas yüzeyi üzerindeki gerçek temas noktaları [3]

Daralma direnci, belirli bir görünür temas alanı içindeki gerçek temas noktalarının sayısı ve çapı arttıkça azalmaktadır.

$$R_{top} = R_t + R_m$$



Şekil II-17: Temas direncinin elektrot yükü ile değişimi [3]

Yukarıdaki şekilde 1 ve 2 noktaları arasında kaynak akımı tatbik edilmeden önce ölçülen direnç (R_{top}), aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R_{top} = R_d + R_m + R_f$$

veya temas direnci

$$R_t = R_d + R_f \text{ olduğundan;}$$

1 ve 2 noktaları arasındaki toplam direnç

$$R_{top} = R_t + R_m \text{ yazılabilir.}$$

3.3.4- Temas Direncinin Elektrot Yüklü ile Değişimi

Temas direncinin değeri artan yük ile azalır, nedeni temas noktası sayısının ve temas alanlarının giderek artmasıdır. Bu değişim:

$$R_t = C \cdot P^{-n} \text{ ile ifade edilebilir. [19,20]}$$

Burada, R_t : Temas direnci

P : Elektrot yükü

C, n : Sabitlerdir.

C sabiti, malzemenin sertliğine, özgül direncine, yüzey durumuna ve levha kalınlığına bağlıdır.

n değeri, malzemeye ve yüzey durumuna bağlı olarak nokta kaynağı şartlarında 0,5 ilâ 1 arasında değer almaktadır. [21] İnce filmlerle kaplı yüzeylerde $n = 0,6$ dır. Film direnci arttıkça n değeri 1'e yaklaşır.

Direnç kaynağı şartlarında temas direncini ölçmek için yapılan birçok araştırmalarda [22,23,24] identik olarak aynı görünen temaslar da bile düşük yüklerde direnç değerlerinde oldukça büyük sapmalar elde edilmiştir. Sapma miktarı artan yüklerle giderek azalır.

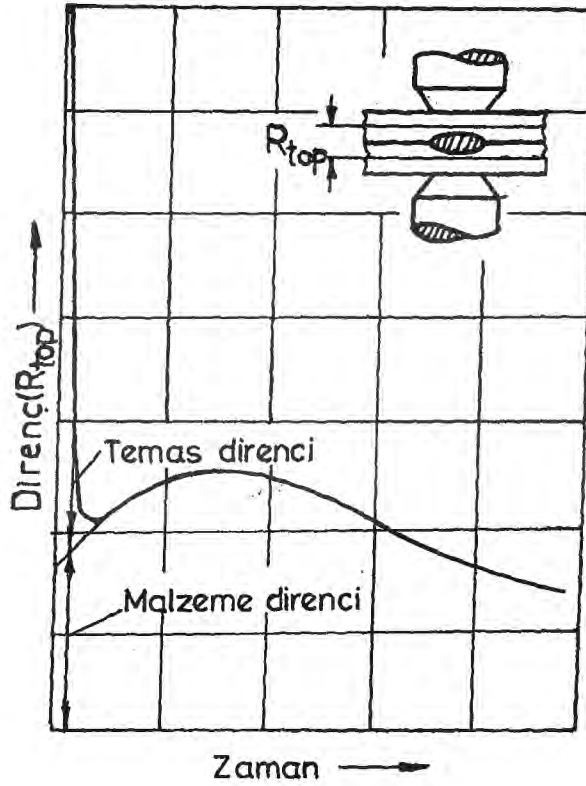
SIDORENKO, çeşitli yüzeylere sahip % 0,1 C lu çeliklerde temas dirençlerini ölçmüştür. Aşağıdaki tabloda 2000 N luk elektrot yükü için çeşitli yüzeylerdeki levhalar arası ve elektrot levha arası temas dirençlerinin değerleri verilmiştir. Levha kalınlığı 3 mm, elektrot çapı 8 mm dir. [25]

Tablo II-2 Çeşitli yüzeylere sahip düşük karbonlu 3 mm kalınlığındaki
çelik levhalardaki temas direnci değerleri [25]

YÜZEY DURUMU	LEVHALAR ARASI (ohm)	ELEKTROD-LEVHA ARASI (ohm)
Asitle yağlanmış	$300 \cdot 10^{-6}$	$300 \cdot 10^{-6}$
Zımpara kağıdı ile temizlenmiş	$160 \cdot 10^{-6}$	$220 \cdot 10^{-6}$
Temizlemeden sonra paslandırılmış	0,08	0,076
Temizlemeden sonra yağlanmış	$300 \cdot 10^{-6}$	$370 \cdot 10^{-6}$
Oksitlendirilmiş	0,08	0,1
Paslandırılmış ve oksitlendirilmiş	0,5	0,36
Talaş kaldırılarak işlenmiş	$1200 \cdot 10^{-6}$	$1300 \cdot 10^{-6}$
Eğelenmiş	$280 \cdot 10^{-6}$	$430 \cdot 10^{-6}$
Zımparalanmış	$110 \cdot 10^{-6}$	$140 \cdot 10^{-6}$

3.3.5- Kaynak İşlemi Sırasında Temas Direncinin Değişimi ve Isı Üretimine Katkısı

Kaynak işlemi sırasında levhalardaki toplam direnç (R_{top})'in değişimi birçok araştırmacı tarafından etüd edilmiştir. STUDER, HESS'in çalışmalarını kendi çalışmaları ile birleştirerek ilk kez, kaynak sırasında levhalardaki toplam direncin zamanla değişiminin aşağıdaki şekil de gösterildiği gibi olması gerektiğini ileri sürmüştür. [22,26,27,28]



Şekil II-18: Levhadaki toplam direncin zamanla değişimi [3]

Temas direnci kaynak akımının tatbik edilmesinden hemen sonra, akımın ilk 1/4 periyodunda ortadan kalkmaktadır. Bunun nedeni, oksit filminin elektriksel parçalanması ve akımın ısı etkisi ile temas yüzeyindeki pürüzlerin yumuşayarak yeniden şekil değiştirmesidir. Bu sıra-

da temas bölgesindeki sıcaklık metalin erime sıcaklığı altındadır. Temas direncinin ortadan kalkmasından sonra geriye sadece malzeme direnci kalmaktadır. Bundan sonra metalin sıcaklığı erime sıcaklığına doğru artmakta ve malzemenin iç direncinde de önemli bir artma meydana gelmektedir. Böylece toplam direnç eğrisi bir maksimuma doğru artar. Bu maksimumdan sonra meydana gelen azalma, erime nedeniyle, yüzeyler arasındaki temas alanının büyümesi ve levhalar ile elektrotlara ısı iletiminin artmasıdır. [22,23]

Kaynak sırasındaki direnç değişimine kaynak akımı ve elektrot yükünün de etkisi vardır. Genellikle diğer şartlar aynı iken, artan akım ile, direnç-kaynak zamanı eğrisindeki maksimum noktanın değeri azalmaktadır. [23,24]

Elektrot yükü değiştikçe, temas direncinin ortadan kalktığı noktada, yani minimum direnç değeri yaklaşık olarak sabit kalmakla beraber, düşük elektrot yüklerinde bu minimumdan sonra direnç artması daha hızlı olmaktadır. [24,29]

Temas direncinin bu şekilde kaynak akımının tatbik edilmesiyle birlikte ortadan kalkması nedeniyle bazı araştırmacılar bu direncin kaynak sırasındaki ısı üretimine ve dikiş teşekkülüne önemli bir etkisi olmadığını ileri sürmüşlerdir. [30]

Bazılarına göre, temas direncinin çok yüksek ve etkin olduğu kısa zaman süresi içinde ısınma sadece temas bölgesinde yoğunlaşmakta ve özgül direnç bu bölgede levhanın diğer bölgelerine nazaran en yüksek olmaktadır. Bu andan itibaren meydana gelen ısı enerjisi de levhaların temas bölgesinde en fazla olmaktadır. 13

APPS, düşük karbonlu çelikler ile yaptığı araştırmada, ısı üretiminin ilk safhalarında temas direncinin etkin olduğunu, ancak daha sonra, ısı gelişimi ve verilmiş bir hacimdeki erimiş kaynak dikişinin meydana gelmesi için gerekli zaman açısından, elektrotlara ısı iletiminin en önemli faktör olduğunu ileri sürmüştür. [29]

Nitekim artan elektrot yükü ile, elektrot levha arası temas direncindeki azalmaya ve sonuçta elektrot temas yüzeyinde üretilen ısıda azalmaya ilaveten levhalardan elektrotlara ısı iletimi daha da artmakta, levhalardaki ısı gelişimi ve kaynak dikişi teşekkülü gecikmektedir. [29]

SATOH, kaynak işleminin ilk safhalarında ortaya çıkan levha ayrılmasının ısı gelişimi ve kaynak dikişi teşekkülüne önemli etkisi olduğunu ileri sürmüştür. [31] Bu araştırmacıya göre, ısınmanın ilk safhalarında temas yüzeyi civarında yeterli ısı üretiliyor ise, levhalar arası temas bölgesinde plastik şekil değişimi kolaylıkla meydana gelir ve levha ayrılması ortaya çıkar. Bu olay elektrot yükü arttıkça daha erken, hatta büyük elektrot yüklerinde, ısınma başlamadan önce bile meydana gelmektedir. Levha ayrılması ise akım yolunu sınırlandırarak akım yoğunluğunu arttırmakta ve ısınmanın temas yüzeyinde ve komşu bölgelerde daha etkin bir biçimde meydana gelmesine neden olmaktadır. SATOH çok kısa bir zamanda ortadan kalkan temas direncinin ısı gelişimine etkisinin önemsiz, ancak temas yüzeyi durumunun önemli bir faktör olduğunu ileri sürmüştür.

Levhalar arası temas yüzeyinin durumu temas direnci ortadan kalktıktan sonra bile ısı üretimine etkili bir neden olmaktadır. Özellikle yüzeyler arasındaki oksit tabakasının parçalanması ile ortaya çıkan metalik temas noktalarının sayısı önemlidir. Noktalar sayıca az ise, kaynak akımının yoğunluğu bu noktalarda oldukça yüksek olmakta ve kaynak işleminin sonucu temas yüzeyi üzerindeki bu ısı merkezlerinin büyümesi ile tayin edilmektedir. Ancak oksit tabakasının parçalanması ile ortaya çıkan akım yolları sayıca çok fazla ise, bir akım yoluna i sabet eden akım yoğunluğu azalmakta ve ısı üretim hızı o kadar fazla olmamaktadır.

BÖLÜM III: AL.VE ALAŞIMLARININ TANITILMASI VE ÖZELLİKLERİ

1- Genel Bilgi [32]

Alüminyum cevher rezervleri bakımından dünyada en bol bulunan metal olması yanında değerli bir konstrüksiyon ve imalat malzemesi olması için gerekli özelliklere de sahiptir. Düşük özgül ağırlığı dolayısı ile iyi bir mukavemet/ağırlık oranı sağlar. Yüksek elektrik ve ısı iletim özellikleri dolayısı ile elektrik iletimi ve eşanjörlerde kullanımı vardır. Mükemmel korozyon dayanımı denizde ve endüstriyel ortamlarda ayrıca kimyasal proseslerde kullanılmasına yol açar. Alüminyum ve tuzlarının zehirleyici bir etkisi yoktur. Çok düşük sıcaklıklarda (-120°C ve altı) mukavemet ve tokluğunun iyi olması nedeni ile paslanmaz çeliklerle beraber mutlak sifıra varan sıcaklıklarda kullanılması sağlar. Ayrıca yüksek mukavemetli hafif bazı alaşımların da ana malzemesidir.

Bu yüzden uçaklarda, kamyon kasaları, demiryolu vagonları, küçük gemilerde, kimya endüstrisinde, motor parçalarında, sıvı gazların elde edilmesi ve depolanmasında, uzay araçlarında v.s. -240° ile $+200^{\circ}\text{C}$ arasındaki servis sıcaklıkları için kullanılır.

Alüminyumun karakteristik özellikleri düşük özgül ağırlığı ($2,72.10^3 \text{ kg/m}^3$), düşük ergime sıcaklığı (658°C) ve yüksek elektriksel ve ısı iletim katsayılarıdır. Alüminyumun elektriksel iletkenliği $34 \times 10^4 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ dir. Alüminyum ve alaşımları antimanyetiktir. [34]

Alüminyum oksijene karşı olan yüksek afinetesi nedeni ile yüzeyde havanın teması sonucu ince fakat yoğun bir oksit tabakası (Al_2O_3) oluşturur. Bu tabaka alüminyumu diğer etkilere korur; ancak bazılar ve bazı asitlerle tuzlar tabakayı çözerler. Yani alüminyum bu maddelere karşı dayanıklı değildir.

Oksit tabakası sun'i olarak kuvvetlendirilebilir. (Eloxal Metodu) Bu işlem için metal azot olarak galvanik bir banyoya asılır. Elektrik akımı ile anottan oksijen ayrılır ve böylelikle tabii oksit taba-

kası kuvvetlenir. Sert ve mikroporöz olan oksit tabakası elektriğe karşı izolatördür, bu nedenlerle boyaları ve yağlama maddelerini iyi tutmaz.

Saf alüminyumun korozyon dayanımı özelliğini hava ile temas eder etmez oluşan alüminyum oksit sağlar. Alüminyum ne kadar safsa o derece yüksek elektriksel iletkenlik ve korozyon dayanımına sahiptir.

Alüminyuma silisyum ve demir ilavesi bir ölçüde mukavemeti artırır, fakat süneklik ve korozyon dayanımını kötüleştirir. Alüminyum içerisindeki en zararlı gayri safiyet elemanı demirdir, alüminyumla demir $Fe Al_3$ oluşturur ki bu alüminyumun şekillendirilme kabiliyetini azaltır.

Alüminyum yüksek süreklilik ve şekillendirilebilme kabiliyeti nedeni ile çok ince yaprak (foil) haline getirilebilir veya dövülerek şekillendirilebilir.

Soğuk şekillendirme sonucu alüminyumun mukavemeti (Çekme dayanımı) büyük ölçüde arttırılabilir ve 160-180 N/mm² yi bulur, bununla beraber süneklikte bir düşme olur. Soğuk şekillendirilmiş alüminyum 330-360°C da tavlanarak yumuşatılabilir fakat daha yüksek sıcaklıklar tane irileşmesine yol açtığından tavsiye edilmez.

Alüminyum çeşitli işlem kademelerinde, boru, tel, şerit, çubuk, profil v.b. gibi yarı mamul halinde piyasaya sürülür. Saf alüminyumun düşük mukavemeti nedeni ile ancak küçük yükler için yapı malzemesi olarak düşünülmesi mümkündür.

Alüminyum esaslı malzemeler iki ana grupta toplanabilir.

I- Hadde (Döğme) alüminyum alaşımları

II- Dökme alüminyum alaşımları

Birinci gruptaki hadde alüminyum alaşımlarını tekrar iki alt grupta toplamak mümkündür, bunlar:

a) Isıl işlemle mekanik özellikleri değişmeyen alaşımlar,

b) Isıl işlemle mukavemet kazandırılan alaşımlar.

Isıl işlemle mekanik özellikleri değişmeyen alaşımlar katı eri-

yık halinde homojen bir yapıdadırlar ve yüksek süneklik ve düşük mukavemete sahiptirler.

Alüminyum-magnezyum ve Alüminyum-manganez alaşımları bu gruptadırlar. Bu alaşımlar ancak soğuk şekillendirme ile mukavemet kazanırlar.

Isıl işlemle mukavemet kazandırılan alaşımlar katı halde alüminyum içersinde sınırlı eriyirliğe sahip metallerin alaşım elemanı olarak kullanılması ile elde edilirler. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıkta tamamen katı eriyik haline getirilmiş malzemenin aniden soğutulması ve sonra yaşlandırılması ile mukavemet kazanırlar.

Bu alaşımlar geniş kullanım alanına sahiptirler. Duralüminler (Al-Cu-Mg sistemi) ve avial (Al-Mg-Si) başlıca ısıl işlem sonucu mukavemet kazanan alaşımlardır. Bunlar levha, boru, profil ve dövme parçalar halinde kullanılırlar.

2- Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti

Alüminyum kaynağında aşılması gereken ilk sorun parça yüzeyinde ki sıkı oksit tabakasıdır. Oksi-asetilen kaynağı ve örtülü çubuk elektrotlarla kaynakta bu tabaka alkali klor ve flor bileşiklerinden oluşan dekapan veya elektrot örtüsü tarafından çözülür böylece ergimiş kaynak ağzı kenarları ve ilave metal birleşebilir. İkinci Dünya Savaşının son yıllarına kadar bu iki yöntem kullanıldı. TIG-kaynağında parça negatif kutupta iken oksit tabakasının kendiliğinden parçalandığı fark edilince, alternatif akımla TIG kaynağı ve daha sonra MIG kaynağı kullanılmaya başlandı. Oksit tabakası direnç kaynağı yöntemlerinde de bir problemdir. Alüminyum direnç kaynağı ancak yüzeyler dikkatle oksitten temizlendikten sonra, çok yüksek kapasiteli makinalarla mümkündür.

Ultrason kaynağı, sürtünme kaynağı, patlama kaynağı, soğuk basınç kaynağı alüminyuma uygulanan yöntemlerdir.

Ergitme kaynağı yöntemleri esas olarak saf alüminyum, ısıl işlemle etkilenmeyen alüminyum-manganez ve alüminyum-magnezyum alaşımları ve ısıl işlemle mukavemet kazanan alüminyum-magnezyum-silisyum

alaşımlarında kullanılır.

Duralüminler (Al-Cu-Mg) ve (Al-Mg-Zn) alaşımları gibi yüksek mukavemetli alaşımlar genellikle perçinle birleştirilirler. Zira ergitme kaynağı uygulandığında tekrar ısıtılma işlemi yapılması gerekmektedir.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında karşılaşılan başlıca problemler;

- 1- Oksit filminin temizlenmesi
- 2- Gözenek oluşumu
- 3- Sıcak çatlaklar
- 4- Kaynak bölgesinin yumuşayarak mukavemetinin azalmasıdır.

Oksit filminin temizlenmesi:

Başlangıçta oksit-asetilen kaynağında kullanılan dekapanların oksidi kimyasal olarak çözülmesi düşünülüyordu. Daha sonra yapılan araştırmalar bu etkinin önemsiz olduğunu, aslında, dekapanın metalle-oksit tabakası arasına sızarak mekanik bir etki ile de oksit tabakasını parçaladığını gösterdi. Dekapanların ana malzemesi sodyum ve potasyum klorürleridir. Erime noktasını düşürmek için lityum klorür ilave edilir. Ayrıca flor bileşikler de oksit çözücü olarak katılır. Elektrot örtüleri higroskopiktir ve nem kaptıklarında alüminyum üzerinde de korozif bir etki gösterirler. Bu nedenle kaynaktan sonra bütün dekapan ve cüruf kalıntıları dikkatle temizlenmelidir. Köşe kaynağı yapılması halinde ise kaynak çepeçevre yapılarak levhalar arasına hava ve nem sızması önlenmelidir.

Koruyucu gaz kaynağı yöntemlerinde kaynak yapılan parçalar negatif kutupta olduğu zaman oksit tabakası kendiliğinden parçalanmaktadır. MIG-kaynağında, elektrot pozitif kutupta kullanıldığında bu etkiden kolaylıkla yararlanmak mümkündür. (Ters kutuplama)

Oysa TIG-kaynağında tungsten elektrot pozitif kutupta iken elektron yayılması ile soğuması mümkün olmadığından eriyebilir. Pozitif kutupta 6 mm çapındaki elektrot en fazla 100 amp. taşıyabilir. Bu yüzden alüminyumun TIG kaynağında alternatif akım kullanılmaktadır.

BÖLÜM IV: ALÜMİNYUM MALZEMELERİNİN DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

1- Genel Bilgi

Al ve Al alaşımları modern yapılarda kullanıldığı gibi, özellikle le hafif yapı konstrüksiyonlarının daha fazla uygulandığı gemi nakil vasıtaları ve uçak yapım işlerinde kullanılır.

Uygun bir bağlantı usulü olan elektrik direnç-nokta kaynağı, özellikle ekonomik olup, çeşitli endüstriyel konstrüksiyonlarda büyük bir önem kazanmıştır. [35,36]

Alüminyum diğer metallerden farklı özelliklere sahiptir; bu özellikleri nedeni ile kaynağı da farklı uygulama gerektirir. Örneğin, yüksek elektriksel ve ısı iletkenlikleri, metali eritmeye yeterli ısı nın üretilmesi için, yüksek akım kapasiteli makinelerin kullanılmasını gerektirir. [37]

Saf alüminyum düşük mukavemeti dolayısı ile ancak küçük yükler için yapı malzemesi olarak düşünülebilir. Diğer uygulamalar genellikle alüminyum alaşımları içindir. [32]

Kaynak kabiliyeti birçok faktörlere bağlı olup, bu arada özellikle kaynak edilecek alaşımların iletkenlikleri ve erime noktaları arasındaki farka tabidir. Alüminyum-manganez alaşımları ve ticari safiyette alüminyum uygun kaynak şartları altında tatminkar şekilde nokta kaynağı yapılabilir. [38]

Ticari safiyetteki alüminyum, makina kapasitesi ve bakır elektrotlarla alaşım oluşturma gibi bazı güçlükler çıkarmaktadır.

Genel olarak, ısı ı işlem görmüş yüksek mukavemetli alaşımlar kaynak mukavemetinde, düşük mukavemetli alaşımlara nazaran daha az uygunluk gösterir. Ancak temizleme işlemlerinin detaylarından veya makina ayarlarından gelen değişimler, alaşımlardan gelen farklılardan daha fazlasına sebep olabilir. Isı ı işleme tabi tutulmuş alaşımlar, normal alaşımlara nazaran kaynakta daha fazla çatlak ve porozite hasıl eder. Kaynak metalindeki çekme sonucu oluşan çatlaklar daha ziyade bakır esaslı alaşımlarda olmaktadır.

Çok farklı kalınlıktaki alüminyum alaşımlarının kaynağında, elektrik akımının doğru bir dağılışı elde etmek güçtür. Bu durumda karar vermek için kullanılacak faktör, levhalarda meydana gelen çentiklerdir. Kullanılan elektrot, tatbik edilen elektrot basıncı için çok küçük geliyorsa, pekçok kaynak çentiği meydana gelir. Bazı hallerde bu husus, elektrot basıncını azaltıp, kaynak zamanını arttırarak giderilebilir. Bu durum, basınç ve zamanın belli limitleri içerisinde olacağından, operatörün onayına bırakılmalıdır.

Farklı alaşımlar nokta kaynağı ile birleştirilebilir. Genel olarak erime noktaları ile elektriki özellikleri birbirine yakın olanlar daha kolay kaynak yapılabilir. Bu nedenle tamamen ısıtılmış alaşımlar birbirleri ile daha kolay kaynak yapılabilir. Fakat ısıtılmış bir levhayı tamamen tavlanmış veya soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulmuş bir alaşımla kaynak yapmak daha zordur. Ayrıca, pratik olarak saf alüminyum veya yüksek erime derecesine sahip hafif alaşımları, duralümin tipindeki alaşımlarla kaynak yapmanın, benzer fiziki karakteristiklere sahip alaşımlarla kaynak yapmaktan daha güç olduğu kabul edilir. Kaynak yapılan alaşımın ihtiva ettiği alaşım elemanları kadar, kalınlık da önemli bir faktördür. Yüksek iletkenli ince bir parçayı, düşük iletkenli kalın bir parçaya kaynak yapmanın güç olmasına karşın, yüksek iletkenli kalın bir parçanın düşük iletkenli ince bir parçaya kaynak edilmesi daha kolaydır.

Kaynak süresi büyürse, kaynak düşük iletkenliğe sahip parçaya doğru kayar. Bu olay levhalar arasındaki temas direncinin düşük olması halinde daha fazla göze çarpar ve buna engel olmak için:

a- Ya, düşük iletkenli levhaya temas eden elektrodu yüksek iletkenli seçmek; böylece elektrik akımı yoğunluğuna etki etmek,

b- Veya, elektrot ucu boyutlarını değiştirmek gerekir.

Alüminyum alaşımlarının iletkenlikleri, (a) veya (b) metodunu kullanmaya kafi gelmektedir. Limit bir durumda her iki metottan da istifade edilebilir.

2- Nokta Kaynağı Kabiliyetine Etkiyen Faktörler

2.1- Fiziksel Özelliklerin Etkisi

Saf alüminyumda elektrik iletme kabiliyeti 20°C de $35 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$ dir. Safılık derecesinin artması ile yükselen bu değer, alaşım elemanlarının ilavesi ile $15 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$ 'ye kadar düşer. Buna karşın alaşımsız düşük karbonlu çeliklerde elektrik iletkenliği $9,3 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$ 'nin altındadır. Tablo IV-1

Tablo IV-1: Alüminyum ve alaşımları ile alaşımsız düşük karbonlu (% 0,15 C) çeliğin oda sıcaklığında fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması
[38,40]

Malzeme Özellikler	Yoğunluk (gr/cm^3)	Ergime noktası ($^{\circ}\text{C}$)	Elektrik iletkenliği (m/mm^2)	Isı iletkenliği (J/cmsK)	Isıl genleşme (m/mK)
Saf Al	2,7	660	35	2,2	$2,4 \times 10^{-5}$
Al Mg 5	2,63	520-630	16,5	1,2	$2,35 \times 10^{-5}$
Al Mg Si	2,7	600-640	31	1,8	$2,3 \times 10^{-5}$
Al Cu Mg	2,8	530-645	18,5	1,6	$2,4 \times 10^{-5}$
C.Çelik	7,85	1510	9,3	0,5	$1,1 \times 10^{-5}$

Aynı durum ısı iletme kabiliyeti için de geçerlidir. Bu değer Alüminyum alaşımlarında 1,2 - 2,2 J/cmsK civarındadır ve çeliğinki - nin üç mislidir. Alüminyum malzemenin yüksek ısı iletme kabiliyeti, kaynak esnasında oluşan ısıнын büyük bir kısmının soğutulan elektrotlara ve esas malzemeye doğru kaybolmasına yol açar. Bunun için alüminyum malzemenin kaynağında, kaynak ısısı kısa kaynak sürelerinde verilir; zira bu sürelerde alınan ve verilen enerji arasında bir denge oluşur. Bu açıdan, alüminyum ve alaşımlarına (düşük erime noktalarına rağmen)

kaynak esnasında, çelik sacların iki misli yüksek bir akım şiddetinin uygulanması gerekir. [38]

2.2- Oksit Tabakasının Etkisi

Alüminyum ve alüminyum alaşımı levhaların yüzey dirençlerine da ima yüzeyde mevcut olan oksit tabakası sebep olur. Ayrıca, kısmen kir, yağ, işaret için kullanılan boyalar, imal süresince veya daha sonraları yüzeye gelen benzeri maddelerden de yüzey direnci hasıl olur. [39]

Alüminyum ve alaşımlarının nokta kaynağı kabiliyetini etkileyen faktörler arasında en önemlilerinden biri de, alüminyum malzemenin, oksijene karşı aşırı afinitesinden dolayı, yüzeyinin havada kısa sürede bir oksit tabakası (Al_2O_3) ile örtülmesidir. Bu tabakanın erime derecesi yüksektir. (2050°C) Elektriksel izolatör etkisi gösterir. Bu tabakanın oluşumu ve gelişimi diffüzyon yoluylaadır. Kalınlığı zamanın karekökü ile orantılı olarak artar.

Alüminyum alaşımlarındaki elemanlar iyon halinde, alüminyum iyonlarından daha hızlı olarak oksit tabakasına girerler. Bu nedenle oksit tabakasının yüzeyinde alaşım elemanlarının oksitleri daha yoğun olarak bulunabilir. Örneğin, AlMg alaşımlarında önce ince ve amorf bir Al_2O_3 filmi oluşur. Bu filmin arasından diffüze olan magnezyum, uzunca bir süreden sonra yüzeyin geniş ölçüde kristal yapıdaki MgO filmi ile kaplanmasına neden olur. Böylece kaynak kabiliyeti zorlaşır. Dolayısıyla de farklı alaşımlara aynı yüzey işlemleri uygulandığında farklı yüzey tabakaları ortaya çıkabilmektedir.

Oksit tabakasının oluşumunu etkileyen diğer faktörler; yüzey durumu oksijenin kısmi basıncı, sıcaklık ve havanın rutubet derecesi - dir. Havayla temasta, bilhassa yüksek sıcaklıklarda homojen olmayan kalınlık dağılımında çok kalın bir oksit tabakası teşekkül eder.

Bunu önlemek üzere kimyasal ön yüzey işlemleri yapılır ve ince fakat homojen olarak dağılmış bir oksit tabakası elde edilir. Bunun için tavlama işlemlerinin yalnız koruyucu gaz altında, örneğin argon gibi, yapılması gerekir.

Nokta kaynağı sırasında sac yüzeyleri yüksek elektrot basıncı dolayısıyla lokal olarak deformasyona uğrar. Böylece gevrek oksit tabakası kırılır ve kaynak akımı temas noktalarından akar. Isının ve deformasyonun artmasıyla, temas noktaları büyür ve temas dirençleri de giderek kaybolur. (azalır)

Isı ve basınç kombinasyonu uygulanan nokta kaynağında, elektrot-sac geçiş bölgesinde Al_2O_3 ve MgO partikülleri elektrot yüzeyine adhezyonla tutunur (yapışır); bakır partikülleri de aynı yolla alüminyumun yüzeyine yapışır. Böylece geçiş bölgesinde temas direnci yükselir ve bu bölgede alaşımlanma işlemleri artar. [40,41]

Alaşımlanma olayı, elektrot basınç yüzeyinin koyu bir renk alması ile kendini gösterir. Bu olay sonucunda elektrotların yapışma eğilimi artar, yani biten kaynak işleminden sonra, elektrotların uzaklaştırılması belirli bir kuvvete ihtiyaç gösterir. Bu nedenle elektrot çalışma yüzeyinden büyük parçalar koparılır; temas direnci artmaya devam eder ve basınç yüzeyi kötüleşir. Elektrodun ucunda artan ısı, elektrodun çalışma yüzeyinin deformasyonunu belirler.

Genişleme ve yayılma dolayısıyla düzleşme sonunda akım yoğunluğu düşer ve nokta çapı küçülür. Neticede nokta mukavemeti azalır ve makaslama çekme deneyinde, sacların temas yüzeyinde noktalar düğümlenmez, tersine makaslanır. En sonunda iki sac bir daha kaynak edilmeyecek hale gelir.[38,40]

2.3- Metalurjik Özelliklerin Etkisi

Kaynak esnasında oluşan distorsiyonun (büzülme ve çarpılmaların) tahdit edilmesi, alaşımın tipine bağlantı şartlarına (rigitliğe) bağlı olarak çatlaklara yol açabilir. Birçok halde katılaşma esnasında sıcak çatlaklar meydana gelir. Sıcak çatlakların teşekkül ihtimali olmayan alaşımlar saf alüminyum, $AlMn$ ve $AlMgMn$ dir. $AlMg_3$ ve $AlMg_5$ alaşımlarında sıcak çatlaklar görülebilir. Bu ihtimal sertleşebilen (ayrışma) $AlMgSi$, $AlCuMg$ ve $AlZnMg$ tipi alaşımlarda çok kuvvetlidir. Nokta kaynağında özel bir basınç uygulama programı ile sıcak çatlak teşekkülünü önlemek mümkündür. Bu açıdan özellikle sertleşebilen $AlZnMg$ ve $AlCuMg$

alaşımlarında şartlara göre, özel bir basınç programının uygulanması, çatlak oluşumunu önlemek bakımından gereklidir. [38]

Ayrıca nokta kaynağında eriyen malzemenin dışarıya fışkırması sonucu, kaynak çekirdeğinde boşluklar meydana gelir. Kaynak çekirdeğinde oluşan bu boşluklar, bilhassa magnezyum oranının yüksek olduğu AlMg₃, AlMg₅ ve AlMgSi de görülür. Olayın sebebi magnezyumun yüksek buharlaşma basıncıdır.

Boşluk teşekkülü de, uygulanan sonradan bazan yüksek basma kuvveti ile önlenabilir. Bu boşluklar bağlantının iç kısımlarında yani kaynak çekirdeğinde kaldıkça ve boyutları da nokta çapının % 15 ila 20'sini aşmadıkça, mukavemet ve korozyona dayanıklılık açısından bir problem teşkil etmez. Buna mukabil sac yüzeyinde oluşan çatlaklar titreşimli zorlama ve korozyona dayanıklılık açısından çok tehlikelidir. [38,42]

3- Yüzey Ön İşlemleri

Alüminyum esaslı malzemeye, yüzey ön işlemi uygulanmadan da nokta kaynağı yapılabilir; fakat elektrodun aşınması ve kaynak kalitesi - nin düşmesi dolayısıyla tavsiye edilmez. Yüzey ön işlemleri çoğunlukla yüzeyi kir ve yağlardan temizleme ile başlar, daha sonra yüzeyi kimyasal yollarla kesin olarak yağlardan arındırmak gerekir. Yüzey ön işlemlerinin yapılıp yapılmamasının gereği işin kalitesine ve metalin tabiatına bağlıdır. Örneğin uçak konstrüksiyonunda dikkatli temizlik ve sürekli yüzey temas direnci kontrolü gerekir.

Al_{99,0} Cu ve Al-Mn₁ Cu gibi Al ve alaşımları nadiren yüzey işlemi gerektirir.

Diğer yönden çok yüksek alaşımlı bileşimler ve döküm tüpler, yuvarlanmış yapıllı şekiller gibi ürünler yüzey hazırlamaya ihtiyaç duyar. [37,38,39,43,44,45]

3.1- Yağdan Arındırma

Bunun için dikloretilen, karbon tetraklor veya alkali çözelti - ler gibi, yağ çözücülerden oluşan buhar banyosu veya daldırma banyosu

kullanılır. Buharlı yağsızlaştırma banyosu, daldırma banyosundan sonra yüzeyde kalabilecek rutubetli bir yağ filminin oluşumunu ortadan kaldırır. Saclar banyodan çıkarıldıktan sonra, tekrar bir yağ çözücüsü püskürtülerek girintili çıkıntılı kısımlara nüfuz etmesi sağlanmalıdır. Küçük yüzeylerde yağ çözücüsü emdirilmiş pamuklu bezler de ovma suretiyle lokal bir yağsızlaştırma da uygulanabilir. parlayıcı eritkenleri kullanmaktan sakınmalıdır. [37]

Alüminyum alaşımlarının yağlarını gidermek için kullanılan bir alkali eriyiği aşağıda verilmiştir.

50 litre suya

0,23 kg.-0,68 kg. çamaşır sodası

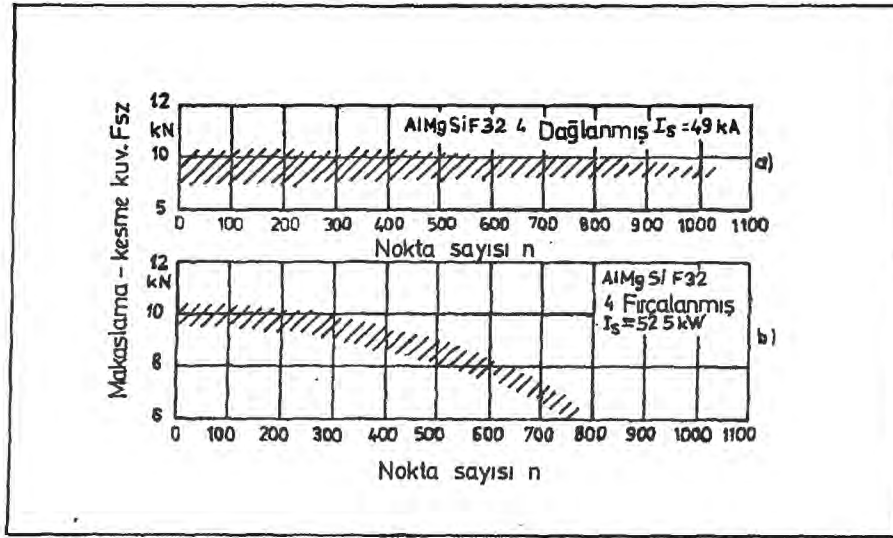
0,23 kg. tri sodyum fosfat

Eriyiğin sıcaklığı 80-95°C olmalıdır ve temizlenecek levhalar bu eriyiğe birkaç dakika batırılmalıdır. Alkali eriyiklerden sodyum silikat ihtiva edenler daha az tatminkardır. Bu muhtemelen jelâatine benzer silikat tabakasının çökerek yüzeyin dağlanmasına mani olmasından ileri gelmektedir. Bilhassa kirli malzeme için, eriyikte yağ giderildikten sonra hemen asitle işlem yapılmıyacaksa, iş parçası sıcak suda yıkandıktan sonra kurutulmalıdır. Bazen, işleme tabi tutulmuş yüzeyleri alkali temizledikten sonra, yıkama tankında iken ucuna bez bağlanmış bir çubukla silmek gerekir. [39]

Mekanik ön işlem basit tertibatlarla yapılabilir ve genellikle özel bir işlem gerektirmez. 40 HB den küçük sertlikteki yumuşak malzemeler (Saf Alüminyum, AlMn alaşımı gibi) yağlanmaya mütemayil olmalarından ötürü özel bir itina ile işlenmelidir. Yüzeyi başka bir metal tabakası ile kaplanmış alüminyum malzemeye de, ince tabakayı zedelemek için aynı itinayı göstermek gerekir. Küçük yüzeyler için paslanmaz çelik elyafından veya telinden el fırçaları (0,05 ila 0,2 mm) ya da dönel fırçalar (>200 mm) kullanılır. İnce zımparalama işleminde, zımpara tablaları ya da zımpara bandları kullanılır. İyi zımparalanmış bir yüzey elde etmek için 5/0 ilâ 8/0 tane büyüklüğündeki zımparalar tavsi

ye edilir. Yeterli bir zımparalama basıncı, uygun bir çalışma hızı (30 ila 40 m/dak) ve parafin gibi maddelerin ilavesiyle zımparanın aşırı ısınması önlenir.

Mekanik yüzey işleminin dezavantajı yüzeyin zedelenmesine yani pürüzlenmesine yol açmasıdır. Böylece geçiş direnci 50 ila 100 m kadar düşer; geçiş bölgesinde (elektrot-sac) yüzeyi oluşturan ısınma alışılma meylini arttırır. [37,41]



Şekil IV-1: Yüzey işlemlerinin elektrodun durumuna bağlı nokta kaynağı bağlantısının makaslama çekme mukavemetine etkisi [38]

Yüksek yüzey aktivitesi oksit tabakasının yeniden oluşumuna yol açar. Bunun neticesi olarak da, belirli bir süre sonra geçiş direnci tekrar hızla yükselir. Mesela, 20 dakika sonra $20 \mu\Omega$ yükselme olur [51]

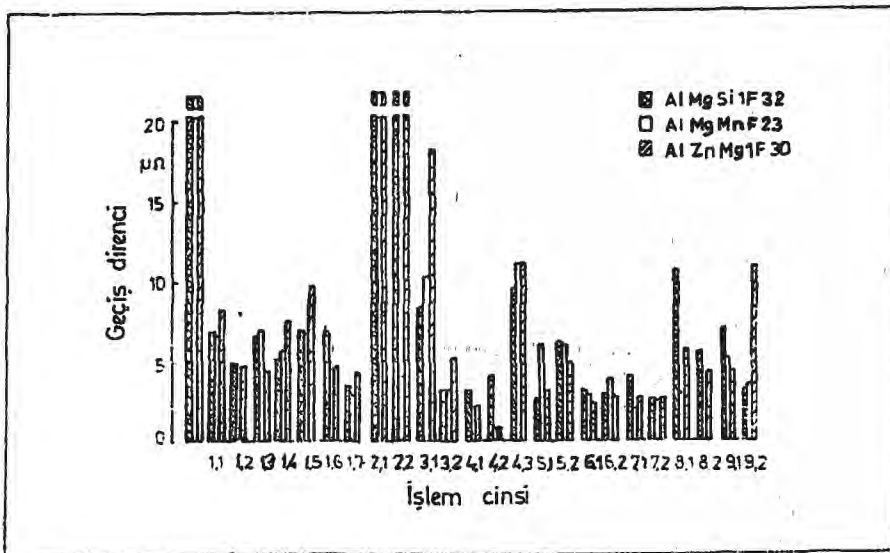
Oksit tabakasından korunmak üzere uygulanan bir diğer usul de ıslak akım usulüdür. Burada, suda suspansiyon halinde bulunan $50 \mu\Omega$ lik koruma maddesi, basıncı 5 bar civarındaki bir hava akımı ile yüzeye püskürtülür. bu usul ile yüzeyler, çözücülerle yapılan temizleme usulüne göre daha pürüzlü hale gelir. Mekanik yüzey işlemlerinin iyileş

tirilmesinde, özel zımpara kağıdından yapılmış dönel fırçalar önemli rol oynar. Bunlar, kimyasal yüzey işlemlerinde olduğu gibi düşük temas direnci ve çok yüksek elektrot ömrüne sahiptir.

Mekanik yüzey işleminde sonra yüzeylerin zımpara artıklarından temizlenmesi için yıkanması ve arkasından da yağ içermeyen sıcak hava ile kurutulması gerekir.

Kimyasal yüzey ön işlemleri, büyük yüzeylerde mekanik işleme tercih edilmelidir. Kimyasal yüzey ön işlemi şu kademelerden oluşur. Temizleme, kurutma, dağlama (çözücülerle temizleme), durulama, pasif - leştirme ve durulama veya kurutma.

Yüzey işlemlerinde çözücü olarak kullanılan bileşiklerin büyük bir kısmı, oksit tabakasının uzaklaştırılmasından sonra metalde tutu - nur ve uzun süre yüzeyde kalırsa, yeni bir kaplama tabakası oluşturur - lar. Bunun sonucunda da temas direnci tekrar yükselir. Bu bakımdan çö - zücüler kullanıldıktan sonra, parçayı sıcak ya da soğuk suyla (mümkün mertebe, kireç ve iyonlardan arındırılmış) çalkalayarak durulamak gere - kir. Yeterli çözücüyü arındırma işleminden sonra temas direnci 3 ila $50 \mu\Omega$ arasında bir düşme gösterir. Çeşitli çözücülerin toplu özellik - leri Tablo (IV-2) ve şekil (IV-2)'de verilmiştir.



Şekil IV-2 Çeşitli alüminyum alaşımlarında geçiş direncinin işlem türü ile değişimi [38,40]

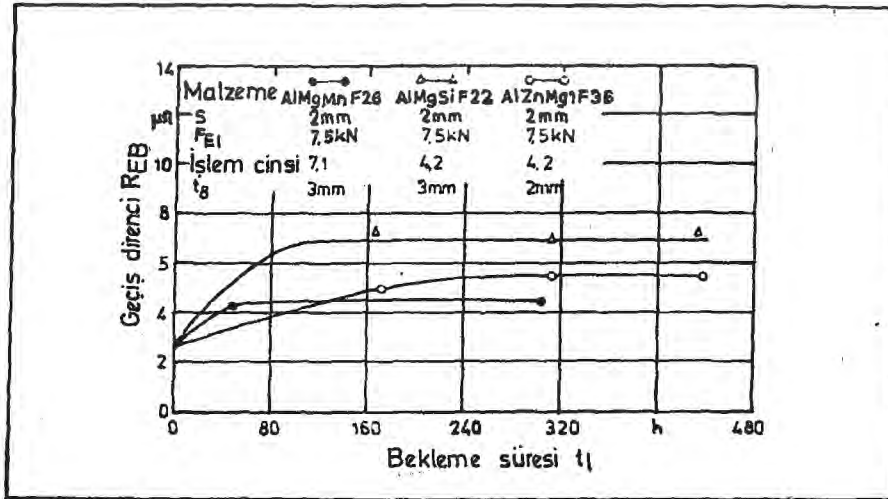
Tablo IV-2: Çeşitli dağlayıcıların (kir çözücülerin) kullanma

alanları ve erişilebilen maksimum temas dirençleri [38,40]

Kimyasal Maddeler	Dağlanmayı etkileyen fakt.	Dağlanma işlemi				Düşünceler
		1.1	1.2	1.3	1.4	
1. Sodyum Hidroksit (NaOH)	Bileşim	50 g/l	50 g/l	50 g/l	200 g/l	Dağlamadan sonra yaklaşık % 30 dak. HNO ₃ de nötr
	Sıcaklık	Oda sic.	60 °C	60 °C	Oda sic.	
	Zaman	2 dak.	1 dak.	2 dak.	1 dak.	
	Bileşim	1.5	1.6	1.7		
	Sıcaklık	200 g/l	200 g/l	200 g/l		
	Zaman	Oda sic.	60 °C	60 °C		
		2 dak.	1 dak.	2 dak.		
2. Sodyum karbonat (Na ₂ CO ₃) + Sodyum florid (NaF)	Bileşim	2.1	2.2			Yalnız Cu ve %1 Si içeren
	Sıcaklık	75 g/l	75 g/l			
	Zaman	20 g/l	20 g/l			
		50 °C	50 °C			
		30 dak.	2 dak.			
3. Sülfürik asit (H ₂ SO ₄) %95'lik + Sodyum florid (NaF)	Bileşim	3.1	3.2			% 50 HNO ₃ e daldırılarak kalıntılar temizlenmeli
	Sıcaklık	100 g/l	100 g/l			
	Zaman	15 g/l	50 g/l			
		Oda sic	Oda sic			
		4 dak.	4 dak.			
4. Nitrik asit (HNO ₃) %66'lık + Florür asidi (HF) %40'lık	Bileşim	4.1	4.2	4.3		
	Sıcaklık	1050 g/l	1350 g/l	91 g/l		
	Zaman	280 g/l	23 g/l	0.5 g/l		
		Oda sic	Oda sic	Oda sic		
		8 dak.	50 dak.	5.5 dak.		
5. Silikoflorür asidi (H ₂ SiF ₆) %32.5'lik	Bileşim	5.1	5.2			
	Sıcaklık	38.7 g/l	38.7 g/l			
	Zaman	Oda sic.	Oda sic.			
		3 dak.	9 dak.			
6. Sülfürik asit (H ₂ SO ₄) %95 + Krom oksid (CrO ₃)	Bileşim	6.1	6.2			
	Sıcaklık	35 g/l	100 g/l			
	Zaman	148 g/l	5 g/l			
		55 °C	60 °C			
		20 dak.	20 dak.			
7. C-Fosforik asit (H ₃ PO ₄) %25 + Bütanol (CH ₃ (CH ₂) ₃ OH) + Propanol (CH ₃ CH(OH)CH ₃)	Bileşim	7.1	7.2			%30'lık HNO ₃ e daldırılarak kalıntılar temizlenmeli
	Sıcaklık	171 g/l	171 g/l			
	Zaman	324 g/l	324 g/l			
		234 g/l	234 g/l			
		Oda sic.	Oda sic.			
		7.5 dak.	20 dak.			
8. O-Fosforik asit (H ₃ PO ₄) %85 + Kalsiyum dikromat (K ₂ Cr ₂ O ₇)	Bileşim	8.1	8.1			
	Sıcaklık	40 g/l	40 g/l			
	Zaman	0.4 g/l	0.4 g/l			
		25 °C	25 °C			
		10 dak.	35 dak.			
9. O-Fosforik asit (H ₃ PO ₄) %85 + Nitrik asit (HNO ₃) %66'lık	Bileşim	9.1	9.2			
	Sıcaklık	1360 g/l	1360 g/l			
	Zaman	49 g/l	49 g/l			
		90 °C	90 °C			
		2 dak.	5 dak.			

En çok kullanılan çözücüler alkali çözücülerdir. Meselâ % 10 ila 20'lik kostik soda ve karışık asit bu amaç için kullanılabilir. Karışık asit yüzey işlemlerine daha uygundur ve ayrıca dağlama süresi daha az kritiktir.

Bazı hallerde dağlama işleminden sonra % 20 ila 50 HNO_3 ve H_3PO_4 ile yüzey işlemleri yapılır. Bunun görevi dağlamadan sonra yüzeyde kalması muhtemel çözücü artıklarını (bunlar, meselâ bakır içeren alüminyum alaşımlarında yüzeyde bakır çökelmelerine yol açarlar) önlemek, homojen ve ince bir oksit filmi ($<0,01\mu\text{m}$) oluşturmaktır. Böylece kaynak işleminden önce yoğun ve kararlı bir yüzey tabakasının oluşması, temas direncinin büyük sapmalara uğraması ve bekleme süresinde de bu davranışların korunması sağlanmış olur.



Şekil IV-3: Bekleme süresinin geçiş direncine etkisi

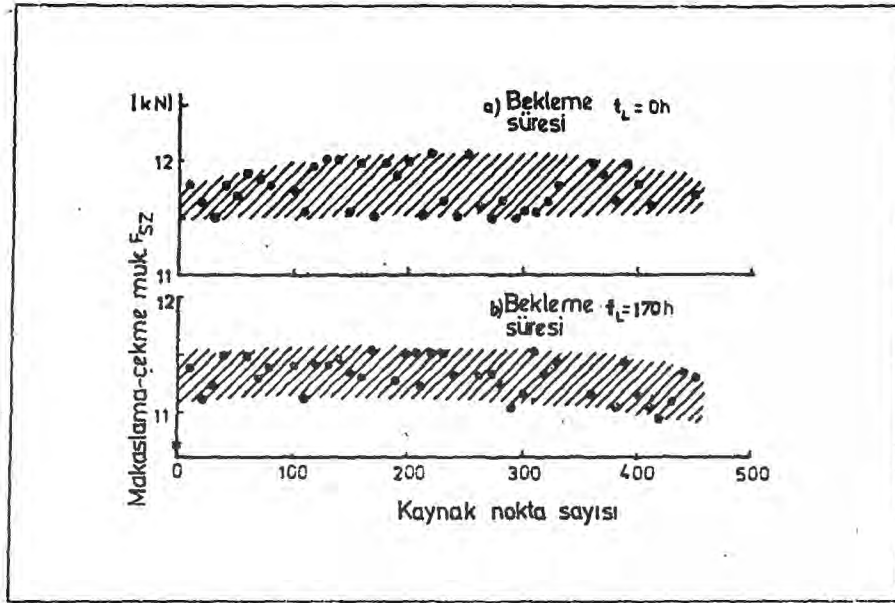
7.1: H_3PO_4 ile AlMg MnF 26

4.2: HNO_3 ile sonra da karışık asit ile ($\text{HNO}_3 + \text{HF}$) asitle

AlMgSiF 32 ve AlZnMg 1.36 : [38,40]

Sıcak hava ile kurutma son durulama işleminden sonra mutlaka uygulanmalıdır. Bu işlem, yüzeyde leke oluşumunu, dolayısıyla de temas direncinin yükselmesi ve alaşımlanmanın meydana gelmesini önler. leke oluşumunun kesinlikle önlenmesi için, kurutma işleminden önce durulanmış sacın bir metanol banyosuna daldırılması gerekir.

Uygun ve yeterli bir kimyasal yüzey ön işleminden sonra, saclar kaynak kabiliyetini uzun süre muhafaza eder. [35,38]



Şekil IV-4 Bekleme süresinin elektrodun ömrüne etkisi. Burada AlMgSiF32 alaşımına kimyasal yüzey ön işlemi uygulanmıştır. $S = 2mm$, Elektrot CuAg Ucun eğrilik yarıçapı 300 mm [38,40]

4- Nokta Kaynağı Sıvısı

1973 yılından beri yapılan çalışmalar sonunda aromatik bileşikler sınıfından özel alkalik çözeltilerin (sıvıların) malzemenin elektrot tarafındaki yüzeylerine sürülmesi ve 20 dakikalık son bir kurutma işleminin uygulanmasıyla yüzey ön işlemi ve kaynak işlemi arasındaki bekleme süresinin uzadığı ve alaşımlanmanın (elektrotların hasara uğraması ve aşınması) azaldığı görülmüştür.

Bu yolla AlMg 5, AlMgSi 1, AlCuMg 1 ve AlCuMg 2 alaşımlarında elektrotlar 1000 noktadan daha fazla kaynak yapabilecek şekilde ömürleri uzamaktadır. Yüzeyi saf alüminyumla kaplanmış ince saclarda (< 1 mm) ise, kararlı olmayan kaynak sonuçları elde edilmektedir. [38,43,44,45]

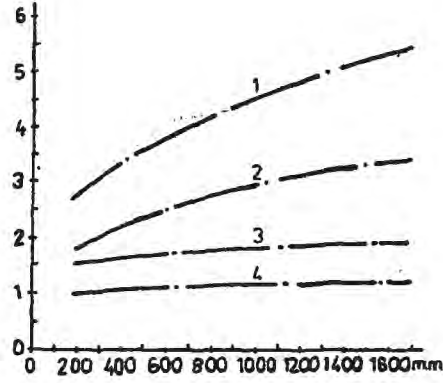
5- Yüzey Direncinin Kontrolü

Yüzey direncinin ölçülmesi, yüzey ön işlemlerinin kontrolünü sağlar. Burada saclar iki elektrot arasında belirli bir basma kuvvetine maruz bırakılır. İki elektrot arasındaki gerilim düşümü, ölçülen akıma bölünerek bulunan direnç, temas direncinden başka malzeme direncini de içerir. Malzeme direnci, temas direncine nazaran ihmal edilebilir mertebededir.

Ölçme, ya özel bir deney tesisatında ya da kaynak makinasında bizzat yapılabilir. Kayda değer sonuçlar elde edebilmek için, deney şartları kaynak esnasındaki şartlara mümkün mertebe uymalıdır. Aynı hususlar ölçme akımı için de geçerlidir. düşük akımlı direnç ölçmelerinde (Statik direnç) alaşımlanma ile ilgili veriler aydınlatıcı olmaz. Dinamik direnç ölçmeleri (bunlarda ölçme akımları, kaynak akımının % 40 ila % 100'ü mertebesinde) kaynak davranışı üzerinde daha açık bilgiler verir. [3,38,43,44,45]

6- Kaynak Teknolojisi

Alüminyum ve alaşımlarının nokta kaynağında, yüksek derecede akım ihtiyacı nedeni ile, bilinen tek fazda kaynak makinelerinden başka üç fazlı kaynak makineleri de kullanım alanına girmiştir. Üç fazlı kaynak makineleri frekans değiştirme prensibine veya sekonder doğrultucu redresör prensibine göre çalışır, böylece sisteme verilen güç azalır, güç faktörü $\cos \phi$ iyileşir ve şebeke yükünün düzensizliği (asimetrik yükleme) asgariye indirilmiş olur. Bilhassa büyük sekonder pencere ile çalışılması gereken yapı formlarında veya büyük miktarda ferromagnetik malzemenin sekonder pencereyi kapsamaması hallerinde üç fazlı makineler büyük avantaja sahiptir.



1. Bir fazlı alternatif akım 50 Hz
2. Üç fazlı frekans değıştirgeçli 30 Hz
3. Üç fazlı frekans değıştirgeçli 5.6 Hz
4. Üç fazlı doğru akımlı (Redresörlü)

Şekil: IV-5: Elektrik direnç kaynağı makinalarının aynı kaynak akımındaki relatif gerilim düşümleri (üç fazlı doğru akım-redresör makinasında ve 20 mm açıklıkta) [40]

Tablo IV-3 Çeşitli elektrik direnç kaynağı makinalarının özelliklerinin mukayesesi [38]

Makinanın tipi Makinanın karakteristikleri	Tek fazlı A.C.	Üç fazlı faz değıştirgeçli	Üç fazlı red resör(D.C.)
Kaynak akımı	Fazlar eşit yüklenmez Sin. akımı(50 Hz)	Akım impulsu örn. $I_6 2/3Hz$	Doğru akım
Faz yüklenmesi	İki fazlı	Üç fazlı	Üç fazlı
Güç ihtiyacı	Yüksek	Düşük	Düşük
Güç faktörü	0,4-0,7	0,8-0,9	0,9
Kaynak yapılabilecek max Al.sac kalınlığı	3 ve 3	6 ve 6	6 ve 6

Tabloda çeşitli formdaki elektrik direnç kaynağı makinalarının özellikleri mukayeseli bir şekilde verilmiştir. Üç fazlı kaynak makinalarının bağlantı tekniği açısından tartışılmaz avantajlarına mukabil, akım formu, kaynak kalitesi ve elektrot ömrü (aşınması) üzerine etkisi hususunda farklı görüşler mevcuttur. Küçük çalışma aralıklarında tek fazlı doğru akım makinaları (redresörler) alternatif akım makinalarına eşdeğer bir şebeke bağlanma yeteneği gösterirler.

6.1- Akım Şeklinin Etkisi

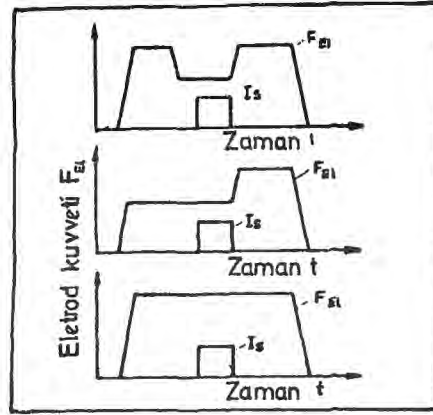
Yapılan araştırmalar, alternatif akımda, sıfır ekseninden geçen yaptığı kısmi soğumadan dolayı, doğru akıma nazaran daha yüksek bir efektif akım şiddetine ihtiyaç gösterir. Böylece kaynak banyosu aşırı ısınmadığından kıvılcım ve sıçrama tehlikesi azalır. Doğru akımla yapılan kaynakta ortaya çıkan peltier etkisi sonucu, kaynak bölgesinde asimetric düzensiz bir çekirdek teşekkül eder ve pozitif kutupta artan bir elektrot aşınması meydana gelir. Bu tür olumsuz gelişmeler alternatif akımda yoktur. Buna mukabil doğru akım kaynağında, alternatif akımla yapılan kaynağa nazaran daha iyi bir kaynak kalitesi elde edilir.

[38,47]

Uçak inşaatında, alüminyum alaşımlarının üç fazlı frekans değiştirgeçli kaynak makinası ile nokta kaynağı, uzun yıllardan beri sürdürülmektedir. Yapılan araştırmalar bu makinaların tek fazlı makinalara göre, gerek şebekeye bağlanma tekniği gerekse kaynak tekniği açısından daha iyi neticeler verdiğini göstermiştir. Bazı araştırmacılar, akım şeklinin kaynağın neticesi üzerine tesiri olmadığını ileri sürmüştür. Bütün bu farklı sonuçların esas nedeni, deneylerde mekanik özellikleri farklı makinaların kullanılmasından ileri gelmektedir. Bunun kaynak davranışını etkilemeleri kesin sonuçlar vermesini imkansızlaştırmaktadır. Bazı müelliflere göre de alüminyum ve alaşımlarının alternatif akım ile birleştirilmeleri, uygun bir sekonder akım değeri ve uygun bir basınç programı ile rahatlıkla mümkündür.

6.2- Elektrot Kuvveti Programları

Kaynak işlemi esnasında, elektrot kuvveti uygun bir şekilde değiştirilir. (Şekil IV-6) Akımın geçişi sırasında elektrot kuvvetinin düşürülmesi, elektrot ucunun yumuşayan malzemeye kuvvetle basmasını önler. Sonradan presleme basma fazında, sıcak çatlama ve boşluk teşekkülüne meyyal alaşımlarda, bu gibi kaynak hatalarına meydan vermemek için, basma kuvvetinin arttırılması gerekir. Burada önemli olan nokta, elektrot kuvvetinin akım geçişinin sona ermesiyle birlikte mümkün mertebe çabuk yükseltilmelidir.



Şekil IV-6: Tipik elektrot kuvveti programlarının formu (kuvvet-zaman diyagramları) [40]

Eğer son presleme (basma) kuvveti bir gecikme ile uygulanırsa, malzeme kısmen de olsa katılaşacağından ötürü sıcak çatlama ve boşluk teşekkülü önlenemez. Akım geçiş süresinin sonunda son basma kuvvetinde ki yükselme, elektrot basıncı biten akım süresinden bir periyot sonra yükseltilirse, elektrot ömründe bir artma olmaz.

Ön basma (presleme) kuvvetini de yükselten bir basınç programı ile çalışmak, geçiş direncinde bir azalma ve aynı zamanda toleransta bir daralma sağlar. Yüksek ön presleme kuvvetinin optimal yüzey ön işlemlerinde bir yararı yoktur.

6.3- Kaynak Sonrası Davranışlar :

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, yükselen sıcaklıktaki kısa kaynak süreleri ve çabuk yumuşama özelliklerinden dolayı, elektrot, kütle sürüklenmesi ve sürtünmeye neden olmayacak şekilde kaynak yerinden uzaklaştırılmalıdır. Böylece sıçrama teşekkülü ve alaşımlanma eğilimi azalır ve bir sonraki kaynak işlemi gecikmesiz olarak yapılabilir. İki kaynak makinası ve bir elektrot pensi ile çeşitli kaynak sonrası karakteristiklerinde yapılan kaynaklarda, elektrot aşınmasında görünür bir farklılık elde edilmemiştir.

6.4- Elektrotlar

Nokta kaynağında elektrotların görevi, kaynak akımını ve elektrot kuvvetini, kaynak bölgesine iletme tır. Alaşımlanma ve elektrot u cu aşınmasını küçük tutmak için aşağıdaki iki şartın yerine getirilmesi gerekir.

a- Küçük yüzey pürüzlülüğü ve yüksek bir elektrot kuvveti uygulayarak, basma bölgesinde küçük temas dirençleri sağlamak.

b- Yüksek elektrik ve ısı iletkenlikleri ile sııcaktaki mukavemeti sayesinde, az ısınma ve asgari elektrot aşınmasını vermek

6.4.1 Elektrot Malzemesi

Alüminyum ve alaşımlarının nokta kaynağında saf bakır ya da Cu Ag-alaşımları [DIN 44759'a göre Sınıf Al/1 veya 1/4] tavsiye edilir. Bunlarda yüksek bir elektrik iletme kabiliyeti (50 m/mm^2) ve düşük sayılabilecek bir sertlik (90-130 HB) değeri görülür. Elektrik ve ısı iletkenliğinin iyi olması nedeniyle, elektrot ile sac arasındaki geçiş bölgesinde düşük seviyede bir ısınma meydana gelir. Böylece elektrodun alaşımlanması ve yapışması, bakır alaşımlı elektrotlardan daha çok sonra meydana gelir. (Mesela, Cu Cr Zr tipi elektrot).

Tablo IV-4: 1 mm kalınlığındaki AlCu alaşıımı sağların kaynağında, elektrot malzemesinin elektrot ömrü üzerine etkisi. Elektrot apı 4,8 mm [38,40]

Elektrod malzemesi	Elektrik iletkenliği (m/ Ω mm ²)	Sertlik (HB)	Elektrod ömrü
Cu Cd	48	95	416
Cu Cr	46	140	1380
Cu Cr Zr	45	140	1180
Cu Co Be	26	180	1700
Dispersiyonla sert- leştirilmiş bakır %0,7Al ₂ O ₃	50	130	700

Buna mukabil elektrot ömrüne ait kriter olarak mukavemetin göz-
le görünür bir şekilde düşmesi gözönüne alınırsa, CuCr ve CuCrZr elek-
trotrları [DIN 44759 Sınıf A 2/1 ve 2/2] ile daha yüksek elektrot ömür-
leri elde edilir. Hatta CuCoBe tipi elektrot malzemesi ile, kötü sayı-
labilecek elektrik iletkenliğine rağmen, daha yüksek elektrot ömürleri
sağlanır. Elektrot malzemesinin sertliği arttıkça ömrü de uzar. Sert -
liğin ömür üzerindeki etkisi önemlidir. Cu Be alaşıımı elektrot ile, ilk
kaynak noktasında görülen alaşımlanmadan ötürü, elektrot malzemesi o-
larak kullanılması uygun değildir.

Dispersiyonla sertleştirilmiş bakır malzeme, elektrot ömrüne ö-
nemli bir katkıda bulunmaz. Buna mukabil elektrot malzemesi olarak % 60
molibden ve % 40 bakır içeren sinter alaşıımı kullanmak, CuCr elektrot-
lara nazaran önemli avantajlar sağlar.

Bu husus, 1 mm kalınlığındaki AlMg₂ - sağlarının yüksek kaynak
hızlarında (100 nokta/dakika) yapılan kaynak işleminde açıkça görülür.
Sinter alaşımlarının sıcaktaki yüksek sertlik özelliği, elektrik ve ısı
iletme kabiliyetinin yarıya inmesine rağmen, elektrot çalışma yüze-
yi çapını 1000 kaynak noktasına kadar 6,5 mm değerinde tutar. Diğer ta-
raftan Cu Cr alaşıımı elektrotlarda bu değer 4,5 mm ile sınırlıdır. A-
laşımlamayı önlemenin diğer bir yolu, bakır elektrotları, nikel ve gü-

müş ile kaplamaktır. Bu yolla 2000 noktanın üzerinde (sac yüzeylerinde koyulaşmaya rastlanmadan) kaynak yapmak mümkündür.

Her şart için en uygun elektrot malzemesinin seçiminde bir çok parametre gözönünde tutulmalıdır. Bu parametrelerin başlıcası; Alüminyum alaşımının cinsi, yüzey durumu, kaynak dataları, nokta sırası ve sayısı, elektrodun formudur. Elektrot ömrü alaşımlanma etkisiyle sınırlı olduğundan, iletme kabiliyeti yüksek ve orta mukavemetli malzemeler, elektrot malzemesi olarak daha uygundur. Buna karşılık elektrot ucunun deformasyonu kriter olarak alınırsa, mesela darbeli elektrot çalışması veya elektrot malzemesinin yüksek çalışma hızlarında yumuşaması, bu durumda elektrot malzemesinden beklenen özellikler; yüksek sıcaklıktaki mukavemet ve daha düşük iletme kabiliyetidir. [2,4,38,40,41,48]

6.4.2- Elektrot Formu

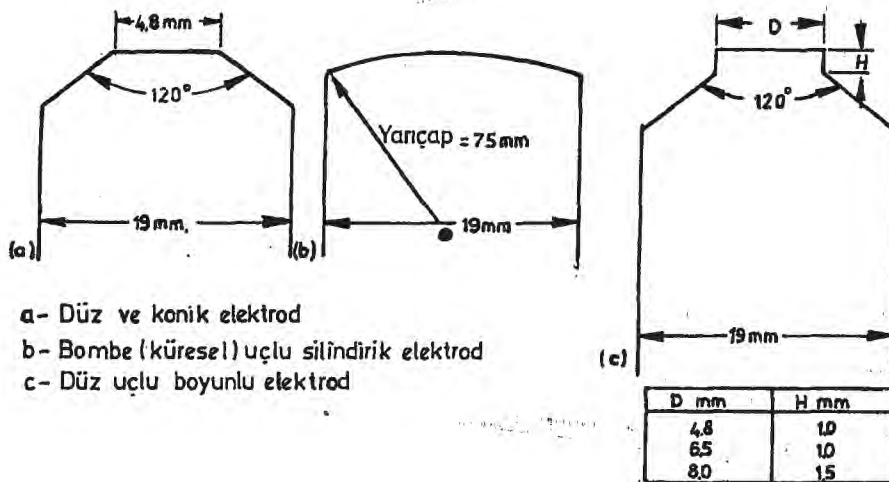
Alüminyum ve alaşımlarının nokta kaynağında genellikle bombe (küresel) uçlu elektrotlar kullanılır. Bunların avantajı, başlangıçta elektrot ucunun ortasında yükseltile basınca, oksit tabakasının kolay parçalanmasıdır.

Tablo IV-5: Alüminyumun - nokta kaynağında kullanılan elektrotların uç kısmının boyutları [38,40]

Sac kalınlığı (mm)	Elektrot ucunun çapı (mm)	Elektrot ucu bombelik yarı çapı (mm)
0,5	16	75
1,0	16	100
1,5	16	150
2,0	22	150
2,5	22	200
3,0	22	210
3,5	25	250

Çeliğin nokta kaynağında kullanılan elektrotlarla mukayese edildiğinde, alüminyum malzemede elektrot ucunun bombelik yarıçapı daha büyüktür. Böylece elektrodun alüminyumun yüzeyine mümkün olduğuna kadar az bastırmasını ve kaynak çekirdeğinin civarının birbirine emniyetli şekilde temasını sağlayarak sıçramaların azalmasını temin eder ve saçlar yeterli bir kuvvetle birleşir. Silindirik ve konik uçlu (60°) elektrotlarla 1 mm kalınlığındaki AlCuMg ve AlMg5 alaşımlarının yapılan kaynaklarında (uç çapı 16 mm ve bombelik yarıçapı 75 mm olan), konik uçlu elektrotların ömrünün (700 ila 1000) silindirik elektrotların ömrüne (200 ila 400) nazaran çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

Düz uçlu elektrotlarla yapılan son araştırmalar, bu elektrotların ömrünün (2000 nokta) bombe küresel uçlu elektrotlara (1000 nokta) nazaran üç misli daha uzun olduğunu göstermiştir. Daha yüksek elektrot ömrü elde edebilmek için (6000 nokta) düz uçlu boyunlu elektrotlar kullanılır. CuCr alaşımı elektrotların, farklı elektrot formlarıyla yapılan deneylerinde, elektrot ömrünün düz uçlu boyunlu elektrotlarda en yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil IV-7: 1 mm kalınlığındaki alüminyum sacların nokta kaynağında kullanılan elektrot formları ve boyutları [38,40]

Daha sonra sırasıyla küresel uçlu silindirik ve düz konik uçlu elektrotlar gelmektedir. [4,34,38,40]

Tablo IV-6 1 mm kalınlığındaki AlCu sacların nokta kaynağında, elektrot formunun elektrot ömrüne etkisi [38,40]

Elektrot formu	Ortalama elektrot ömrü
Düz konik uçlu elektrot $d=4,8$ mm	1380
Bombe uçlu silindirik elektrot $R=75$ mm.	400
Düz uçlu boyunlu elektrot $d=6,5$ mm ; $h=1$ mm.	175

6.4.3- Elektrodun Soğutulması

Alüminyum ve alaşımlarının nokta kaynağında, uygulanan yüksek akım şiddeti dolayısıyla, elektrotların iyice soğutulması gerekir. Böylece elektrot aşınması ve alaşımlanmanın çok erken oluşması önlenmiş olur. Birim zamanda kaynak yapılan nokta sayısı gerçekleşmesi istenir. Soğutma suyu ihtiyacı yaklaşık olarak 6 ila 8 lt/dak. dır ve suyun giriş sıcaklığı da mümkün mertebe düşük olmalıdır. [38,40]

6.5- Kaynak Şartlarının Seçimi

Kaynak şartları, yeterli bir kaynak çekirdek büyüklüğü sağlanacak ve sıramada asgari şekilde olacak tarzda seçilir. Çeliğin nokta kaynağında, nokta çapı ile sac kalınlığı arasında şu bağıntı vardır;

$$d=5\sqrt{S}$$

d= Nokta çapı (mm)

S= Sac kalınlığı (mm)

Kaynak çekirdeğinin yüksekliği, yaklaşık tek sacın kalınlığına

eşit olmalıdır. Hiçbir şekilde yeniden kristalleşme bölgesine veya kaynak çekirdeği sac yüzeyine erişmemelidir. [2,34,38,40]

Elektrot kuvveti, kaynak süresi ve kaynak akımı şiddeti, birbirlerini karşılıklı olarak etkileyen kaynak datalarıdır. Bu datalar öyle seçilmeli ki, parametreler yeterli bir tolerans sınırına sahip olabilsin.

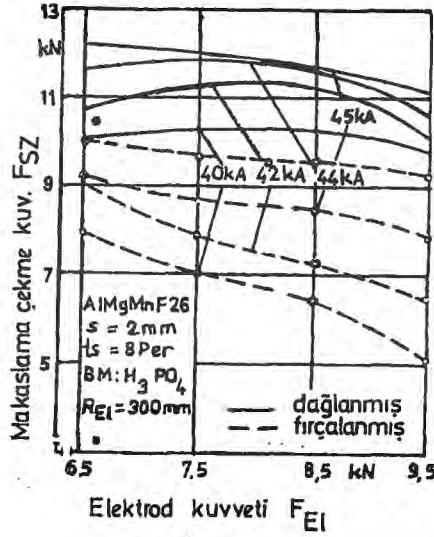
Mesela, kaynak işlemi esnasında kaynak akımı ya da elektrot kuvvetinin dalgalanması, kaynağın kalitesini etkilememelidir. Bunun için parametrelerin optimizasyonunda şu kriterler gözönünde bulundurulmalıdır. Düşük elektrot basıncı, düşük miktarda elektrot aşınması, elektrotların yapışmaması ve kaynak noktasında hataların bulunmaması. Tek fazlı nokta kaynak makinası ile kaynak yapılan alüminyum malzemenin en düstri ve uçak inşasındaki kalitelerine ait datalar tablo IV-7'de verilmiştir.

Tablo IV-7: Alüminyum esaslı malzemenin nokta kaynağına ait karakteristik değerler. Tablodaki üst değerler normal endüstri kalitesine ve alt değerlerde uçak inşasında kullanılan kaliteye aittir. [38,40]

Sac kalınlığı (mm)	Elektrod kuvveti (kN)	Kaynak akımı (kA)	Kaynak süresi (Periyot)	Sonradan ısıtma (Periyot)	Bombelik yarı çapı (mm)	Kaynak noktası çapı (mm)
0,5	1,4	16	5	-	50	3,0
	2,0	25	2	2	75	3,5
0,75	1,6	18	6	-	50	3,5
	3,0	31	2	3	100	4,0
1,0	1,8	21	7	-	50	4,0
	4,0	35	3	4	100	4,5
1,5	2,4	25	9	-	50	5,0
	6,0	50	4	7	100	5,5
2,0	2,8	29	10	-	50	6,0
	7,5	55	6	9	100	6,5
2,5	3,4	33	11	-	50	7,0
	10,0	63	7	10	100	7,5
3,0	3,7	36	12	-	50	8,0
	13,0	70	8	12	200	8,5

6.6- Elektrodun Hareketi ve Elektrot Kuvveti

Bilhassa yumuşak tip elektrot malzemesinde, elektrodun darbeli oturması, elektrot aşınmasını hızlandırır. Farklı oturma hızları ile yapılan araştırmalarda, yüksek oturma hızlarında elektrot ömrünün kayda değer bir şekilde azaldığı görülmüştür. Yüksek elektrot ömrünün sağlanması için, elektrotlar parçaya mümkün mertebe darbesiz oturmalıdır. Artan elektrot basıncı ile birlikte elektrot sac yüzeyine daha kuvvetli bir şekilde bastırır ve akımın geçtiği alan büyür; yani verilen akımın yoğunluğu ve elde edilen ısı miktarı artar. (Şekil IV-8)



Şekil IV-8 Yüzeyi kimyasal olarak dağlanmış ve fırçalanmış numunelerde elektrot kuvvetinin farklı akım şiddeti değerlerindeki bağlantının makaslama-çekme mukavemetine etkisi [40]

Bu açıdan bakılırsa, yüksek elektrot kuvveti ile yapılan kaynak, aynı zamanda yüksek akım şiddeti gerektirir. Elektrot kuvvetinin büyüklüğü, kaynak yapılacak malzemenin, cinsine göre tesbit edilir. Yüksek mukavemetli alaşımlar (AlCuMg, AlZnMg) orta mukavemetli alaşımlardan (AlMn, AlMgSi, Saf alüminyum) daha yüksek elektrot kuvvetine ihtiyaç gösterirler.

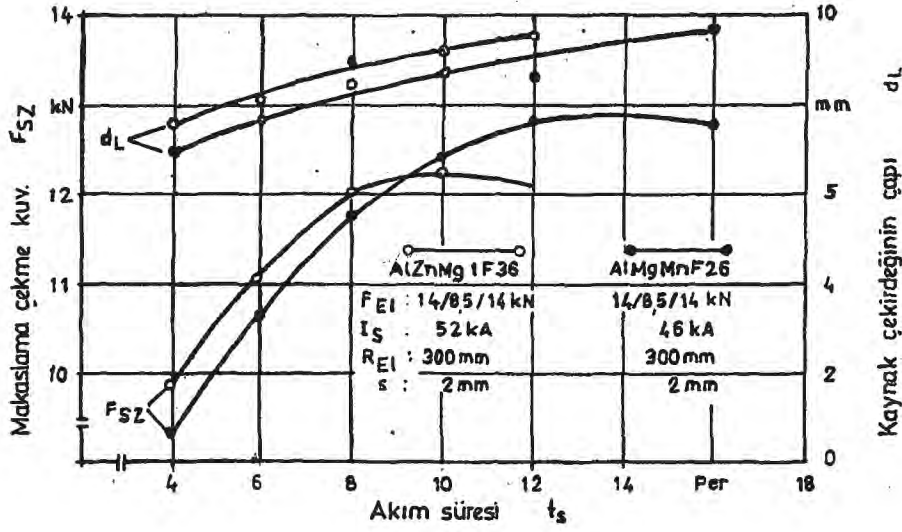
Gereğinden düşük elektrot kuvveti, sıçrama, gözenek ve çatlak gibi hataların kaynak çekirdeğinde oluşmasına sebebiyet verir. Çok yüksek elektrot kuvvetleri ise, elektrodun yüzeyden çok daha derinlere girmesi ne ve birleştirilen saclar arasında aralık kalmasına neden olur.

[4,34,38]

6.7- Kaynak Akımı ve Kaynak Süresi

Kaynak noktalarının büyüklüğü açısından, kaynak akımının yükseltilmesi; kaynak süresinin uzatılmasına nazaran daha büyük bir etkiye sahiptir. Bunun sebebi de akımın Joule Kanununa göre, şiddetinin karesi ile artması ve ısıнын da buna göre yükselmesidir. Diğer taraftan kaynak süresinin artmasıyla de ısı iletim kayıpları büyümektedir. Alüminyumun iyi bir iletken olması dolayısıyla yaklaşık olarak 10 peryotluk akım süresinden sonra verilen zaman, alınan ve verilen ısı arasında bir denge sağladığından, bundan sonra kaynak süresinin uzatılması, kaynak noktasının büyüklüğünü değiştirmez. Artan kaynak akımı ile birlikte nokta büyüklüğü ve nokta mukavemeti artan, bu hal sıçramanın başladığı sınıra kadar devam eder. Kaynak akımı ve kaynak süresinin daha da arttırılması, alaşım tipine göre mukavemeti biraz daha yükseltebilir ya da boşluk teşekkülü dolayısıyla yeniden düşebilir. Bu da elektrot aşınmasını hızlandıran bir faktördür. (Şekil IV-9) Uzun kaynak süreleri, kısa kaynak sürelerine nazaran, sıçrama meydana gelmeden daha büyük nokta çekirdekleri elde edilmesini sağlar.

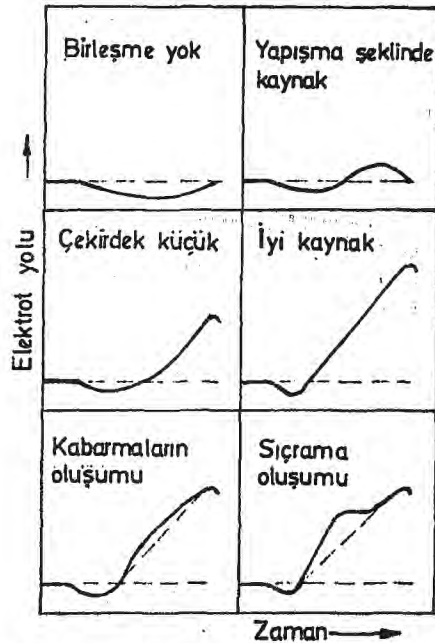
Kaynak noktasının kalitesi açısından, yüksek akım değerleri ve kısa kaynak süreleri ile çalışmak daha düşük akım değerleri ve uzun kaynak süresi ile çalışmaktan çok daha avantajlıdır. [2,4,38,49]



Şekil IV-9 Akım süresinin kaynak çekirdeği çapı ve bağlantının makaslama-çekme mukavemetine etkisi [40]

6.8- İşlemin Kontrolü

İşlemin parametrelerini ölçmek suretiyle işlemin kontrolü, alüminyumun kaynağında, çeliğin kaynağına nazaran daha sınırlıdır. Hatalı kaynak çekirdeklerinin tesbiti açısından, aşırı tavllanmış veya sıçra malar oluşmuş noktalar gibi, elektrodun hareketi (yolu) zaman diyagram ları açık fikirler verebilmektedir. (Şekil IV-10)



Şekil IV-10: Nokta oluşumu ve elektrot hareketi (Yolu) arasındaki bağlantı [40]

7- Alüminyum Nokta Kaynağı Bağlantılarının Dizaynı ve Mukavemet Özellikleri

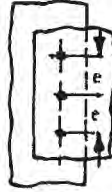
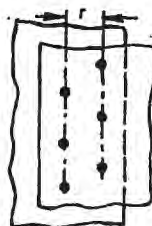
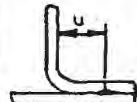
7.1- Dizayn

Alüminyum esaslı malzemenin yüksek elektrik iletme kabiliyeti dolayısı ile, bunların nokta kaynağında, komşu noktaların birbirlerine etkileri (kısa devre gibi) çeliğin nokta kaynağına nazaran fazladır. Noktalar ve nokta sıraları arasının minimum mesafenin altına düşülmesinde, kaynak noktalarında hissedilebilir bir mukavemet azalmasını da beraberinde getirir. (Tablo IV-8) Özellikle minimum kenar mesafesinin altında çalışmak, sıvı metalin fışkırmasını arttırır.

Aynı kalınlıktaki iki sacın üst üste konularak (tek aralıklı), kaynak yapılmasında oluşan bağlantılar, kaynak işlemi için en uygun dizayn şeklidir.

Farklı sac kalınlıklarında kalınlık 3:1 oranını geçmemelidir. Kaynak dataları ince saca göre tesbit edildiğinden bu sınırlama zorunludur. Üç sacın üst üste konulmasından oluşan iki aralıklı bağlantılar da, en iyi kaynak şartları, en kalın sac ortaya getirildiği ve bunun üstündeki ve altındaki saclar aynı kalınlığa sahip olduğu zaman sağlanır. Üçten fazla sac bağlantıları, aynı anda kaynak edilmemelidir.

Tablo IV-8: Alüminyum malzemenin nokta kaynağında noktaların konumu ile ilgili datalar [40]

Sac kalınlığı t mm	Kaynak noktaları arasındaki uzaklık- e mm	Kenardan uzaklık k mm	Kaynak sıraları arası mesafe r mm	İmalat serbest ölçüsü u mm
				
0,5	100	50	7,0	5,0
0,8	130	65	9,0	6,5
1,0	140	70	10,0	7,0
1,2	160	9,0	11,0	8,0
1,5	18,0	90	12,0	9,0
1,8	20,0	100	14,0	10,0
2,0	22,0	110	15,0	11,0
2,5	24,0	120	17,0	12,0
3,0	27,0	135	19,0	13,5
3,5	30,0	15,0	21,0	15,0

Bunlarda kaynak işlemi iki yönlü olarak, yani karşılıklı alek - trotlarla sürdürülmelidir.

Kaynak yapılacak parçanın formu sekonder pencerenin büyüklüğünü ve elektrot formunu belirler. Bu bakımdan nokta kaynağı yapılan kons - trüksiyonlarda, akımın kaynak yerine mümkün mertebe en kısa yoldan git - mesi sağlanmalı ve köşeli veya hasarlı elektrotlar kullanılmamalıdır.

Sacların pozisyonu elektrot eksenine göre tam dik olmalıdır.

Saclar kaynak yerinde aralıksız üst üste binmelidir. Aralıklı saclar yüksek bir elektrot kuvvetine ihtiyaç gösterir. Nokta kaynağı bağlan - tıları ilk aşamada yalnız makaslama kuvveti taşıyacakmış gibi düşünüle - rek dizayn edilir. Kafadan çekme kuvveti, makaslama kuvvetinin $1/3$ 'ü a - lınır. [2,4,38,39,50]

7.2- Statik Mukavemet

Nokta kaynağı bağlantılarının çekme-makaslama mukavemeti DIN 50124 de belirlenmiştir. Buna göre yapılan denelyerde sac çekme zorla - masına ve kaynak noktası da makaslama zorlamasına maruz kalır. Alümin - yumun nokta kaynağında makaslama mukavemeti, esas malzemenin (sacın) mukavemeti ile artmaktadır. (Tablo IV-9) Bu bakımdan, soğuk şekil de - ğiştirerek sertleşen ve çökelme sertleşmesi işleme uygulanabilen ala - şımlarda, yumuşayan ısının tesiri altındaki esas malzeme bölgeleri dik - kate alınmalıdır. Nokta kaynağı yapılan sacların boyutlandırılmasında, tablo IV-9'a göre yarı değerin altına düşen değerler kabul edilmemelidir.

1 ila 2 mm kalınlığındaki alüminyum sacların tek sıralı nokta kaynağında noktalar arası minimum mesafeyi de gözönünde tutarak, esas malzemenin bileşim ve durumuna bağlı kalmak şartıyla sac mukavemetinin % 50 ila 80 değerine, iki sıralı kaynaklarda da % 70 ila 90 değerine e - rişilir. Bu yüzdeler arasında en yüksek değerleri asf alüminyum ve AlMgSi alaşımları, en düşük değerleri ise AlMg, AlZnMg ve AlCuMg ala - şımları verir. [2,38]

Tablo IV-9: Nokta kaynağı yapılmış makaslama-çekme deneyi parçalarında (DIN 50124'e göre) minimum makaslama çekme kuvvetleri. [39]

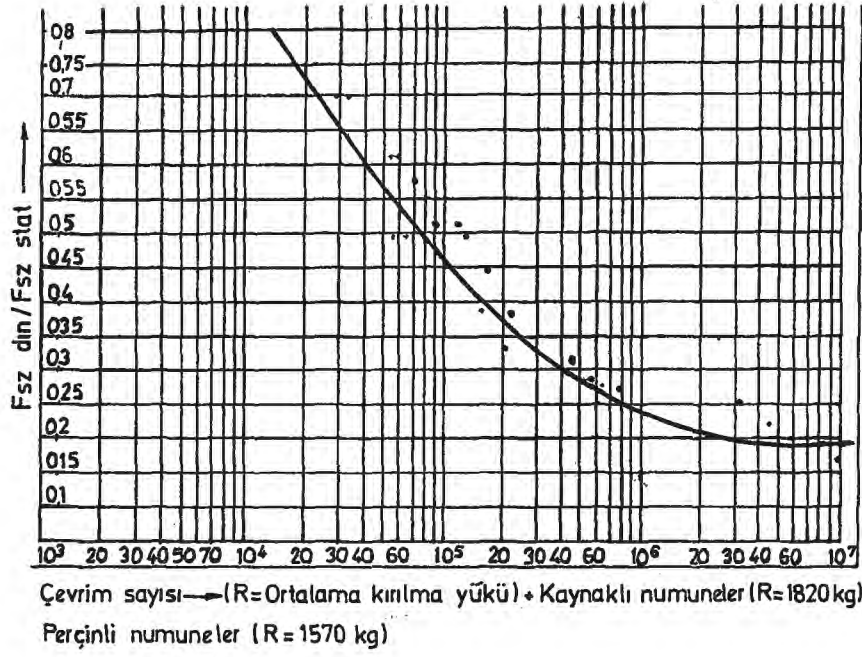
Sac kalınlığı (mm)	Çekirdek çapı (mm)	Malzemenin mukavemetine (N/mm ²) bağlı olarak min. makaslama kopma yükü (KN)					
		100-130	140-170	180-210	220-240	250-280	300-360
0,8	4,5	0,5	0,65	0,85	1,0	1,2	1,4
1,0	5,0	0,65	0,95	1,2	1,5	1,7	2,0
1,2	5,5	0,9	1,2	1,6	1,9	2,2	2,7
1,5	6,0	1,2	1,7	2,0	2,6	3,0	3,6
1,8	6,5	1,4	2,0	2,5	3,1	3,5	4,3
2,0	7,0	1,6	2,3	3,0	3,6	4,1	5,0
2,5	7,5	1,9	2,6	3,4	4,1	4,7	5,7
3,0	8,0	2,7	3,0	3,8	4,7	5,3	6,5
3,5	8,5	2,4	3,4	4,3	5,4	6,1	7,3
4,0	9,0	2,7	3,8	4,9	6,0	6,8	8,2

7.3- Dinamik Mukavemet

Kaynak noktasındaki gerilme konsantrasyonu dolayısıyla, taşıyabileceği üst gerilme değeri, statik mukavemete nazaran yük değişim sayısı arttıkça düşer. (Şekil IV-11) Yapılan araştırmalar, dinamik mukavemet bakımından, nokta kaynağı ve perçin bağlantılarının yaklaşık aynı değerleri verdiğini göstermiştir. [38,40,46]

7.4- Korozyon

Nokta kaynağı bağlantıları, korozyona karşı dayanıklılık bakımından, esas malzeme ile aynı veya benzer bir dayanıklılık gösterir.



Şekil IV-11: Nokta kaynağı yapılmış ve perçinlenmiş alüminyum birleştirmelerinde dinamik max. kuvvetin statik makaslama-çekme mukavemetine oranının yük değişim sayısına bağlı olarak değişimi. [40]

BÖLÜM V- DENEYSEL ÇALIŞMALAR

1- Çalışmanın Planlanması

Deneylerde 1,2 mm kalınlığında ticari safiyette alüminyum kullanılmıştır. Deneyleri sınırlandırmak amacı ile, temas direncinin incelenmesi sırasında malzeme, levha kalınlığı ve bunlara bağlı olarak elektrot çapı sabit tutulmuştur.

Temas direncinin kaynak dikişinin oluşumuna, dolayısıyla kaynak mukavemetine etkisini inceleyebilmek için pratikte kullanılabilecek dört çeşit yüzey hazırlanmıştır.

- a- Piyasa durumunda (Hiçbir işlem görmemiş)
- b- Gres giderilmiş (Yağı alınmış)
- c- I- Nolu kimyasal işlem
- d- II-Nolu kimyasal işlem

Tüm deneylerde kaynak akımı değerleri aynı tutulmuş, elektrot yükü ve kaynak zamanı değiştirilerek bunların etkileri incelenmiştir.

Çalışmada her yüzey yalnızca temas direnci ile değil, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü ile de karakterize edilmiştir.

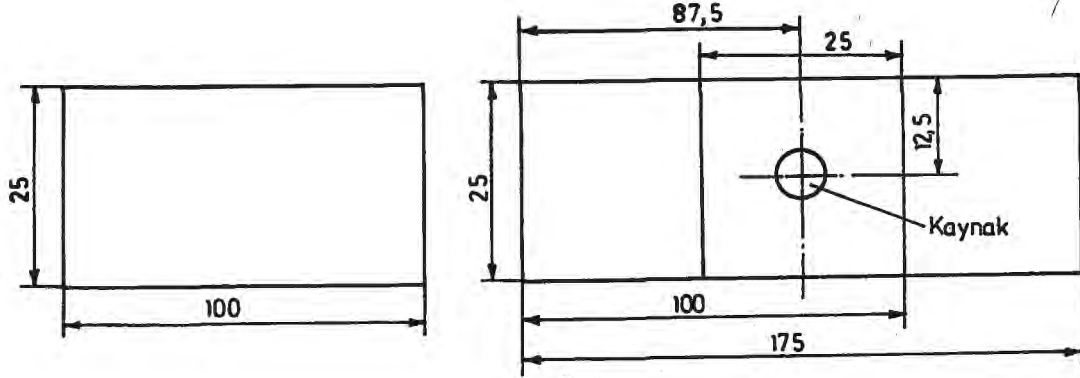
2- Deney Parçasının Özellikleri

Deneylerde 1,2 mm kalınlığında ticari safiyette alüminyum levhalar kullanılmıştır.

Deney parçasının kimyasal bileşimi:

<u>Al</u>	<u>Fe</u>	<u>Si</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Ti</u>	<u>Diğerleri</u>	
						<u>Herbiri</u>	<u>Toplam</u>
Etial-5 99,5	0,40	0,25	0,05	0,05	0,05	0,03	0,10

2.1- Deney Parçasının Boyutları



Şekil V-1a Deney parçasının boyutları [52]

Şekil V-1b Kaynak noktasının pozisyonu [52]



Şekil V-2 Kaynak yapılmış haldeki deney parçalarından bir örnek

Şekil V-2 de iki levhanın kaynak yapılmış haldeki fotoğrafı görülmektedir.

2.2.- Deney Parçasının Yüzeylerinin Hazırlanması

Araştırmalar dört değişik yüzey üzerinde yapılmıştır.

2.2.1. Piyasa Durumunda (Hiçbir işlem görmemiş)

2.2.2. Gres Giderilmiş (Yağı alınmış)

2.2.3. I - Nolu Kimyasal İşlem

2.2.4. II- Nolu Kimyasal İşlem

2.2.1- Piyasa Durumunda (Hiçbir işlem görmemiş) Deney Parçaları
[39]

Hiçbir işlem görmeden piyasadan alındığı gibi kullanılmıştır.

2.2.2- Gres Giderilmiş (Yağı Alınmış) Deney Parçaları

Deney parçaları bileşimi tablo V-1 de verilen yağ giderme eriyiği içinde yağ ve gresten arındırıldıktan sonra saf su ile yıkanmış ve 120°C daki etüvde kurutulmuştur.

Tablo: V-1 Gres ve yağ giderme eriyiğinin bileşimi [39]

Cinsi	Miktarı (gr/lt)	
Sodyum Karbonat (Na_2CO_3)	230	Eriyik sıcaklığı: 85-90°C
Potasyum Fosfat (Na_3PO_4)	290	Tutma zamanı: Parça temizleninceye kadar

2.2.3- I-Nolu Kimyasal İşleme Hazırlanmış Deney Parçaları

Deney parçaları önce, bileşimi tablo V-1 de verilen yağ giderme eriyiği içinde yağ ve gresten arındırıldıktan sonra 40-60°C daki % 10-15 sülfürik asit (H_2SO_4) banyosunda beş dakika, oda sıcaklığındaki % 15-20 nitrik asitte (HNO_3) bir dakika bekletilip saf su ile yıkanmış ve 120°C daki etüvde kurutulmuştur. [39]

2.2.4- II-Nolu Kimyasal İşleme Hazırlanmış Deney Parçaları

Deney parçalarına önce yağ giderme işlemi uygulanıp daha sonra ağırlıkça % 10 sülfürik asit (H_2SO_4) ve % 1 sodyum floridden (NaF) oluşan R.A.E.-D banyosunda 5 dakika bekletilip saf su ile yıkanmış ve 120°C daki etüvde kurutulmuştur. [38,39,40]

2.3- Yüzey Pürüzlülüğünün Tesbit Edilmesi

Araştırmada kullanılan deney parçalarının yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş⁽¹⁾ ve yüzeylere ait pürüzlülük değerleri aritmetik ortalama ola

(1) RANK PRECISION INDUSTRIES LTD

Metrology Division, LEICESTER ENGLAND
(Arçelik A.Ş. ESKİŞEHİR)

rak tablo V-2 de verilmiştir.

Tablo V-2 Çeşitli yüzeylere ait pürüzlülük değerleri

Yüzey durumu	Pürüzlülük (mikron)
Piyasa durumunda (Hiçbir işlem görmemiş)	0,1 - 0,11
Gres giderilmiş (Yağı alınmış)	0,52 - 0,53
I-Nolu kimyasal işlem	0,36 - 0,37
II-Nolu kimyasal işlem	0,70 - 0,83

3. Temas Direnci Değerlerinin Ölçülmesi

Çeşitli yüzey durumuna sahip parçaların levhalar arası temas direnci mikro ohmmeter⁽¹⁾ ile ölçülmüştür. Elektrot basıncı, Universal çekme makinasına⁽²⁾ bağlanan ve kaynak sırasında kullanılan elektrotların geometrisine sahip elektrotlar vasıtası ile sağlanmıştır. Ölçmeler standart cihaz akımı 5 amperde yapılmış ve dijital olarak okunmuştur.

4- Kaynak Makinası⁽³⁾

Deneylerde 120 KVA gücünde, elektronik akım ve zaman kumandalı, pnömatik basma tertibatlı, direnç-nokta kaynak makinası kullanılmıştır.

4.1.- Elektrotlar [34,39]

Deneylerde temas yüzeyi çapı 5,5 mm olan küresel uçlu silindirik elektrolitik bakır elektrotlar kullanılmıştır.

(1) Mikro Ohmmeter Tettex AG INSTRUMENTS
(Demirer Kablo A.Ş. BOZÜYÜK)

(2) Çekme cihazı max 500 KN ZWICK 1435
(Demirer Kablo A.Ş. BOZÜYÜK)

(3) MİSTAŞ Bursa yapımı, kısa devre gücü 450 KVA, kullanılır gücü 120 KVA Max. kaynak akımı 40.000 Amper. Tek fazlı A.C.
(Ahmet Musubeyli JANT Fb. ESKİŞEHİR)

5.- Kaynak Programı [38,40]

Deneyler boyunca kaynak akımı, max. akımın % 72 si değerinde sabit tutulmuştur. (~ 28.000 A) Deneylerde dört ayrı elektrot kuvveti tatbik edilmiştir.

Bunlar sırasıyla 3,15 3,30; 3,50; 4,0 kN dur.

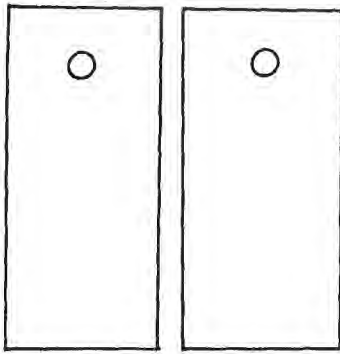
6.- Deneylerin Yapılışı

6.1.- Kaynak İşlemi

Üst üste bindirilen deney parçaları, şekil V-2 de görüldüğü gibi, çeşitli kaynak zamanlarında ve çeşitli elektrot yükleri altında kaynak edilmiştir.

6.2.- Çekme Deneyleri

Kaynak edilmiş parçalar, üniversal çekme makinasında⁽¹⁾ çekilmiştir. Çekme-makaslama mukavemeti olarak verilen değerler, çekme makinasında okunan maksimum kırılma yüküdür. Deneyler sırasında iki değişik kırılma tipi gözlenmiştir. Bunlar ayrılma kırılması ve düğmelenmedir. (Şekil V-3)



a) Ayrılma kırılması

b) Düğmelenme

Şekil V-3 Kaynak bölgesindeki kırılma şekilleri [2]

(1) Otto Wolpert Werke

Elektronik çekme makinası

Max 5000 N 1977

M8 2301 1,5 KW 50 Hz (TÜLOMSAŞ - ESKİŞEHİR)

7.- Deney Sonuçları

Deneylerden elde edilen bilgiler temas direnci ve mukavemet değerleri olarak iki grupta toplanmış ve bunlarla ilgili eğriler aşağıda verilmiştir.

7.1.- Temas Direnci Değerleri

Deneylerde kullanılmış olan çeşitli yüzeylere ait temas direnci değerlerinin elektrot yüküne göre değişimi şekil V-4 de toplu olarak gösterilmiştir.

Düşük elektrot yüklerinde tüm yüzeylerde direnç değerlerinde dağılmalar elde edilmiş olup, yük arttıkça dağılma aralığı giderek azalmıştır. En yüksek temas direnci II-Nolu kimyasal işlemle hazırlanmış yüzeyde elde edilmiştir. En düşük temas direnci ise yağ giderilmiş yüzeylerde elde edilmiştir.

7.2.- Çekme Deneyleri

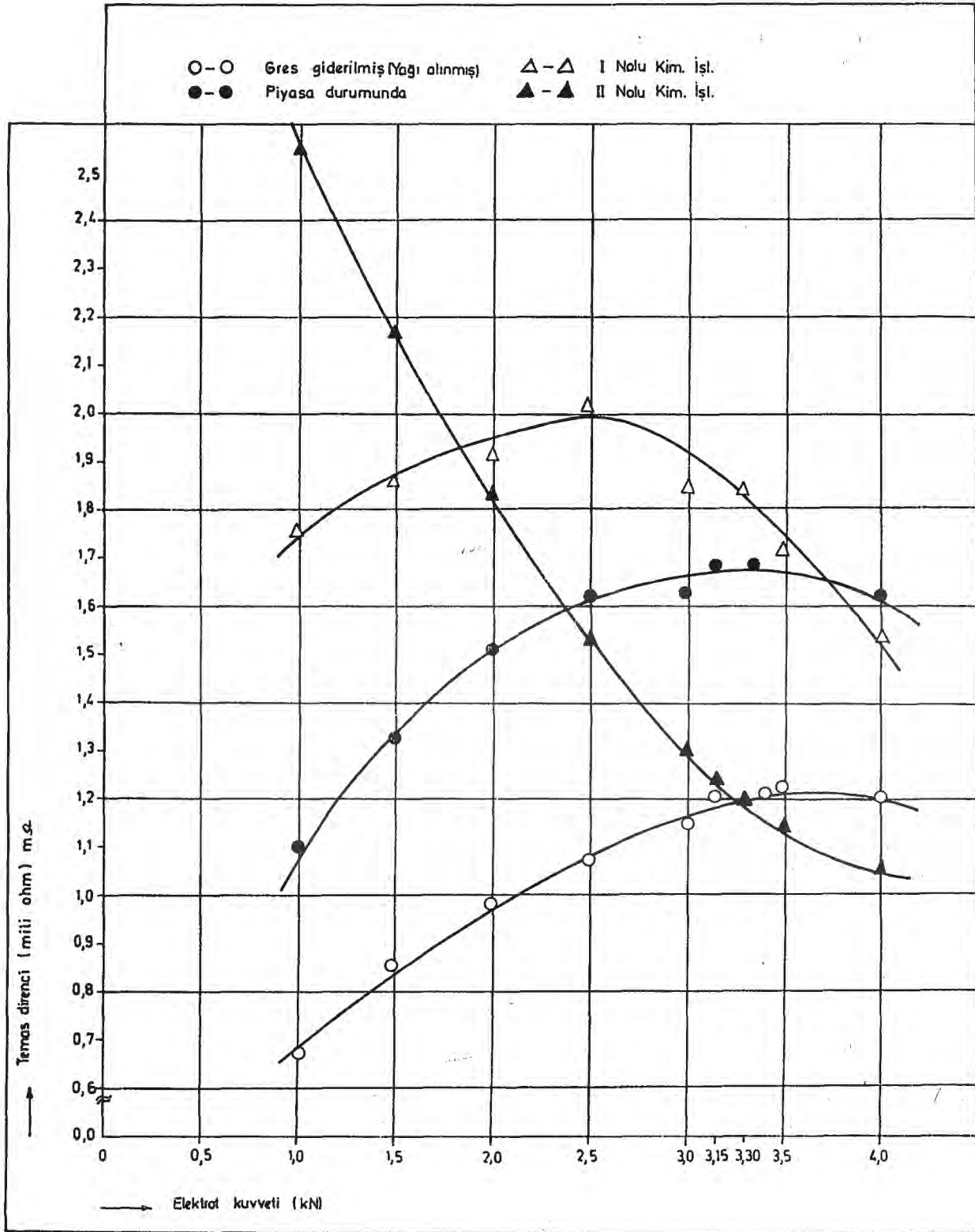
Değişik elektrot yüklerinde ve kaynak zamanlarında kaynak edilmiş parçalar, Universal çekme makinasında çekilmişlerdir. Kaynaklı parçaların çekme makinasındaki zorlanma tarzı şekil V-5 de şematik olarak gösterilmiştir. Sonuçta bulunan mukavemet değerlerinin eğrileri dört grup olarak çizilmiştir.

a- Belirli bir yüzeydeki çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi (Yüzey durumu sabit, parametre; elektrod yükü)

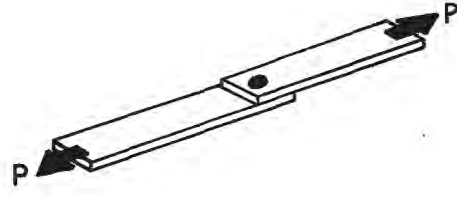
b- Belirli bir yüzeydeki çekme-makaslama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi (Yüzey durumu sabit, parametre; kaynak zamanı)

c- Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimi (Kaynak zamanı sabit, parametre; yüzey durumu)

d- Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin kaynak zamanına göre değişimi (Elektrot yükü sabit, parametre; yüzey durumu)



Şekil V-4: Çeşitli yüzeylere ait temas dirençlerinin elektrot yüküne göre değişimi



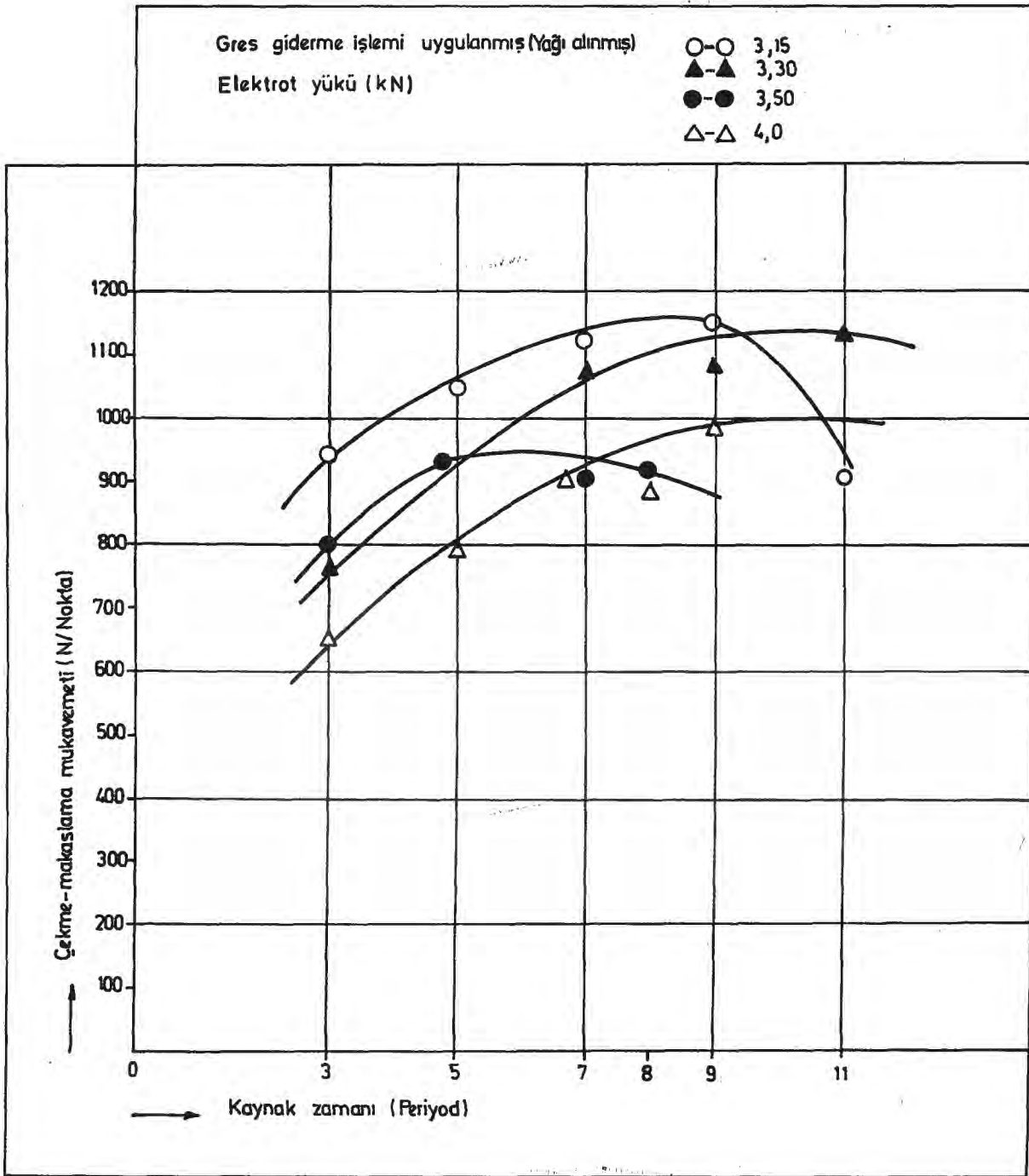
Şekil V-5 Kaynak edilmiş levhaların çekme deneyinde zorlanma tarzı

Tablo V-3 Gres (Yağ) giderme işlemi uygulanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi, (Parametre, elektrot yükü)

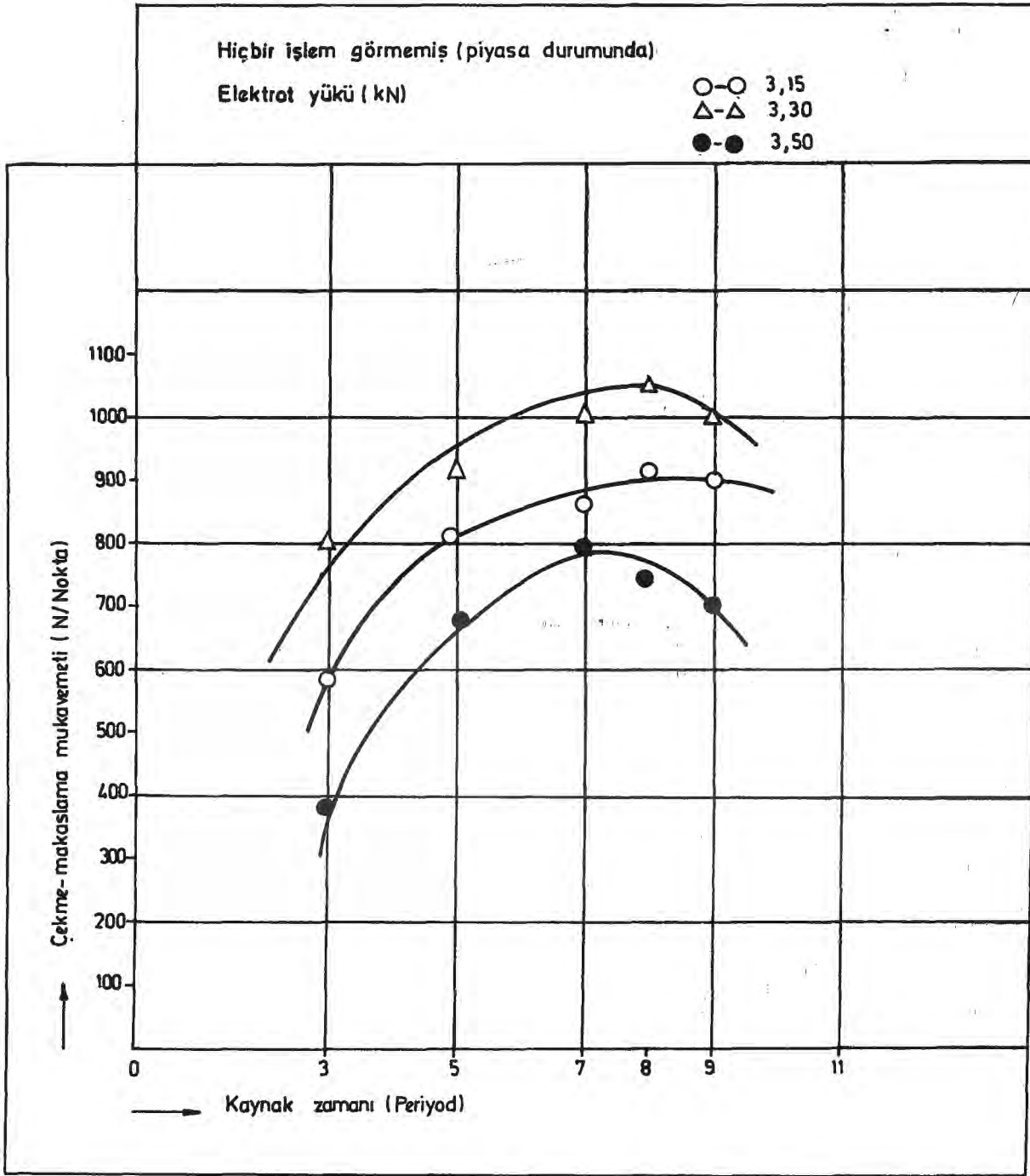
Kaynak Zamanı (Periyod)	Elektrot Yükü				
		3,15 kN	3,30 kN	3,50 kN	4 kN
3		930(N)	770 (N)	800(N)	650(N)
5		1050 "	800 "	930 "	780 "
7		1120 "	1080 "	900 "	900 "
9		1150 "	1080 "	Fıskırdı	980 "
11		900 "	1120 "	-	-
8				910(N)	870(N)

Tablo V-4 Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa durumundaki) yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi (Parametre, elektrot yükü)

Kaynak Zamanı (Periyod)	Elektrot Yükü			
		3,15 kN	3,30 kN	3,50 kN
3		580 (N)	800 (N)	380 (N)
5		800 "	920 "	680 "
7		860 "	1000 "	800 "
8		920 "	1050 "	750 "
9		900 "	1000 "	700 "



Şekil V-6 Gres (yağ) giderme işlemi uygulanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi, (parametre, elektrot yükü)



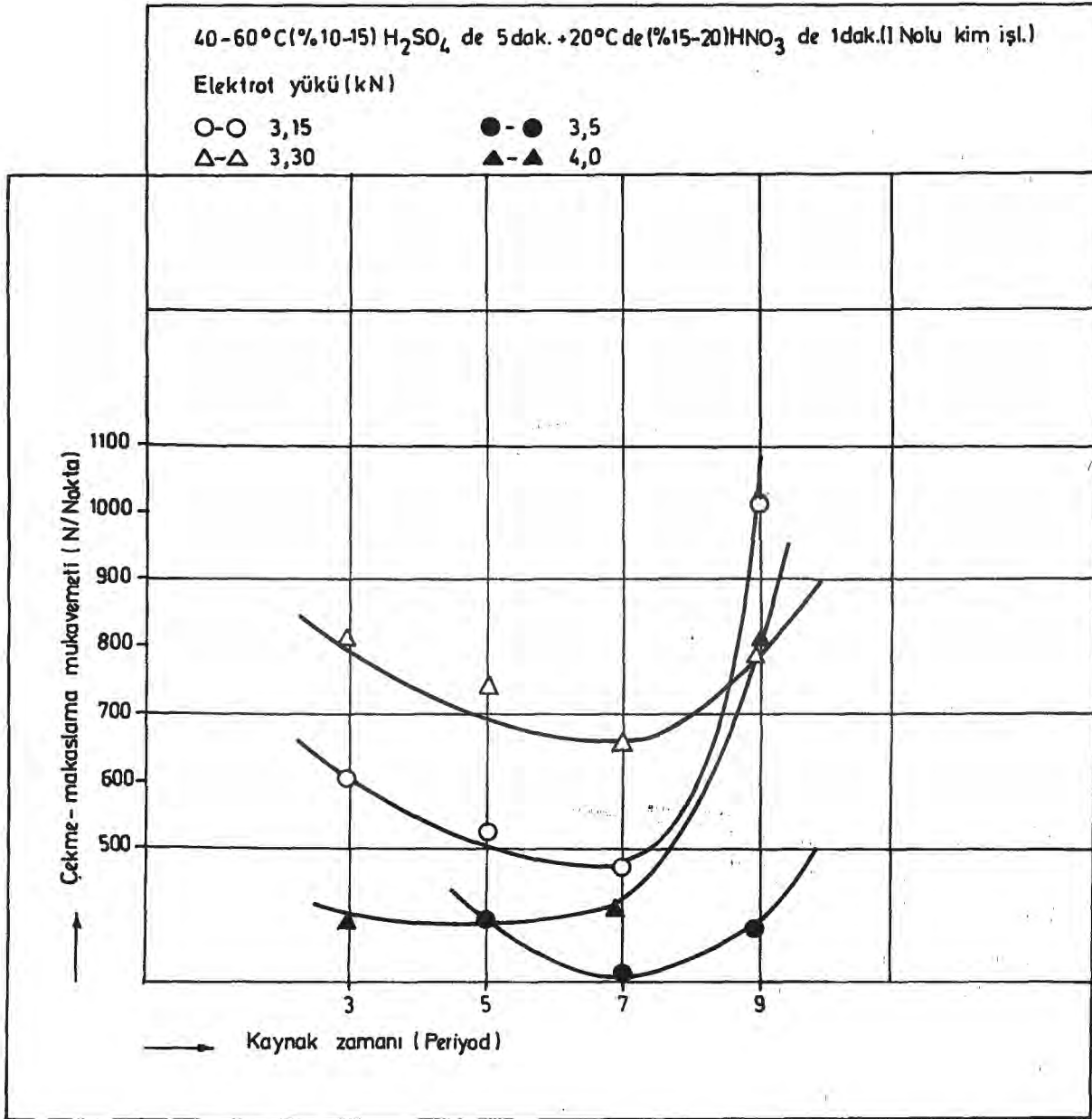
Şekil V-7 Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa durumundaki) yüzeylere ait çekme-makas-
lama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi. (Parametre, elektrot
yükü)

Tablo V-5 I Nolu Kimyasal işleme hazırlanan yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi (Parametre, elektrot yükü-Pe)

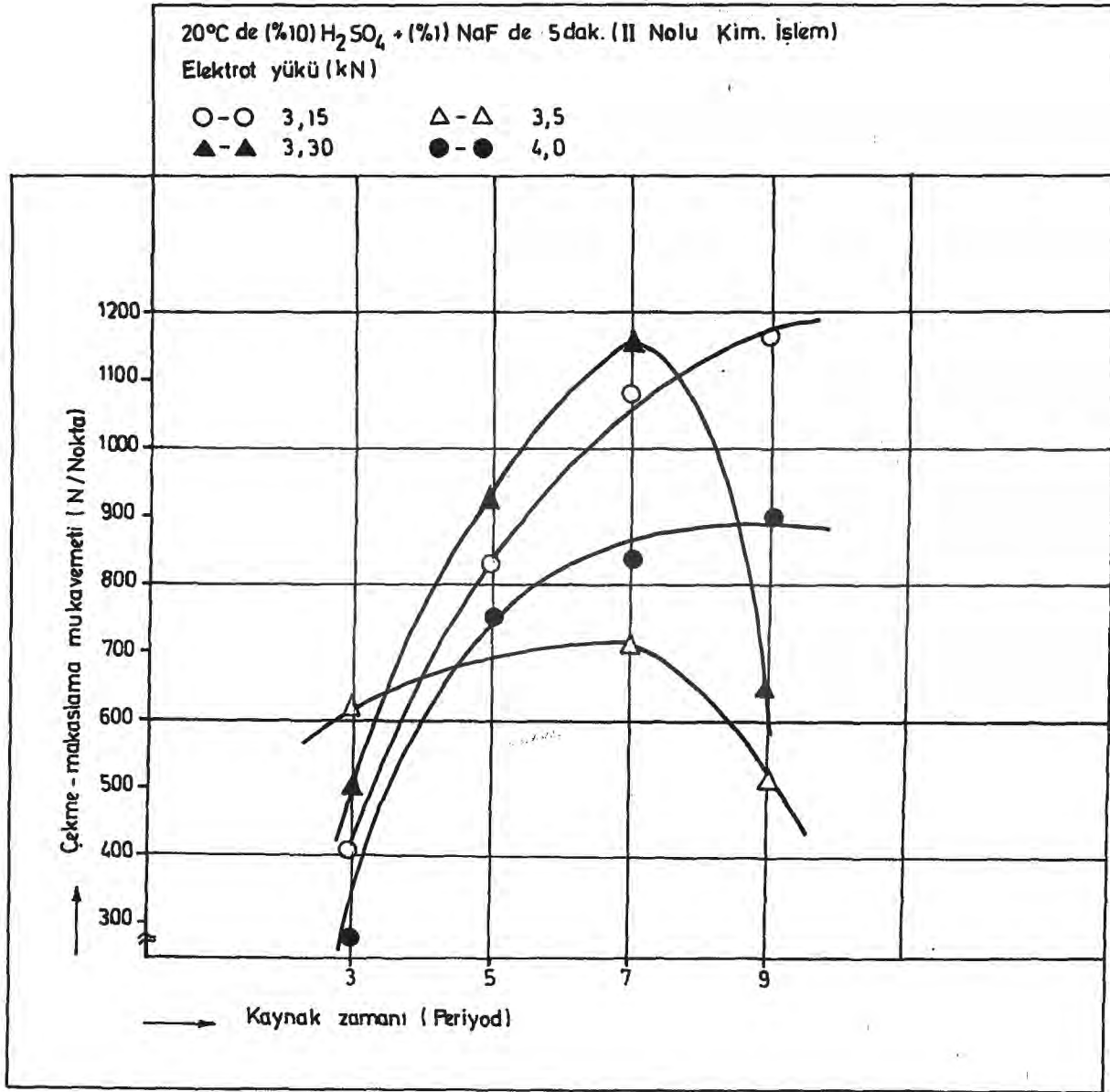
Elektrod Yükü Kaynak zamanı (Periyod)				
	3,15 kN	3,30 kN	3,50 kN	4,0 kN
3	600 (N)	810 (N)	-	390 (N)
5	520 "	740 "	400 (N)	Kendiliğın den koptu
7	470 "	650 "	300 "	400 (N)
9	1010 "	790 "	380 "	800 "

Tablo V-6 II Nolu Kimyasal işleme hazırlanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi (Parametre, elektrot yükü)

Elektrod Yükü Kaynak zamanı (Periyod)				
	3,15 kN	3,30 kN	3,50 kN	4,0 kN
3	410 (N)	500 (N)	610 (N)	140 (N)
5	830 "	920 "	-	750 "
7	1070 "	1150 "	700 "	850 "
9	1170 "	650 "	510 "	900 "



Şekil V-8 I-Nolu Kimyasal işlemle hazırlanan yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi. (Parametre, elektrot yükü).



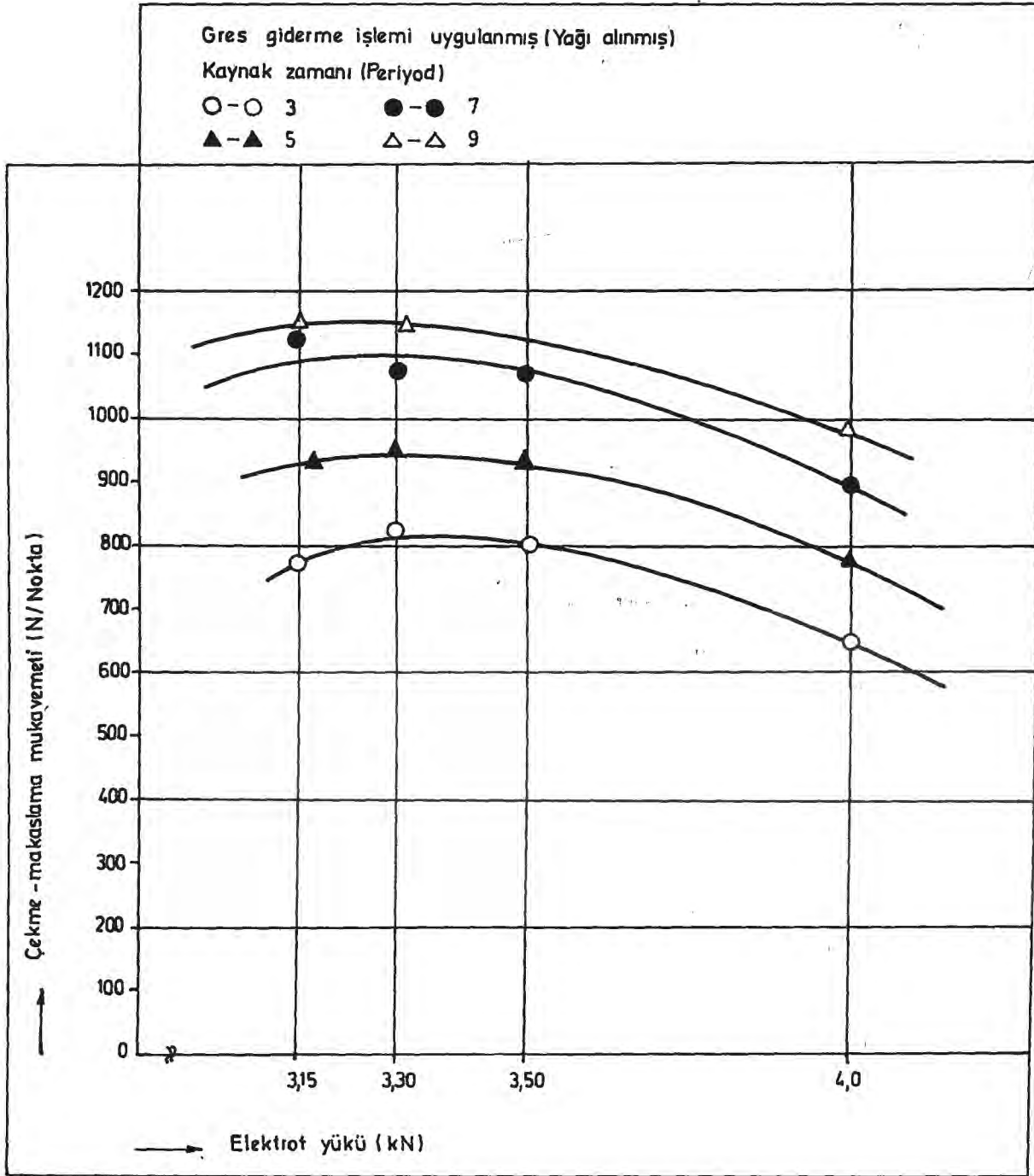
Şekil V-9 II-Nolu Kimyasal işlemle hazırlanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi.
(Parametre, elektrot yükü).

Tablo V-7 Gres (yağ) giderme işlemi uygulanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi (Parametre, kaynak zamanı)

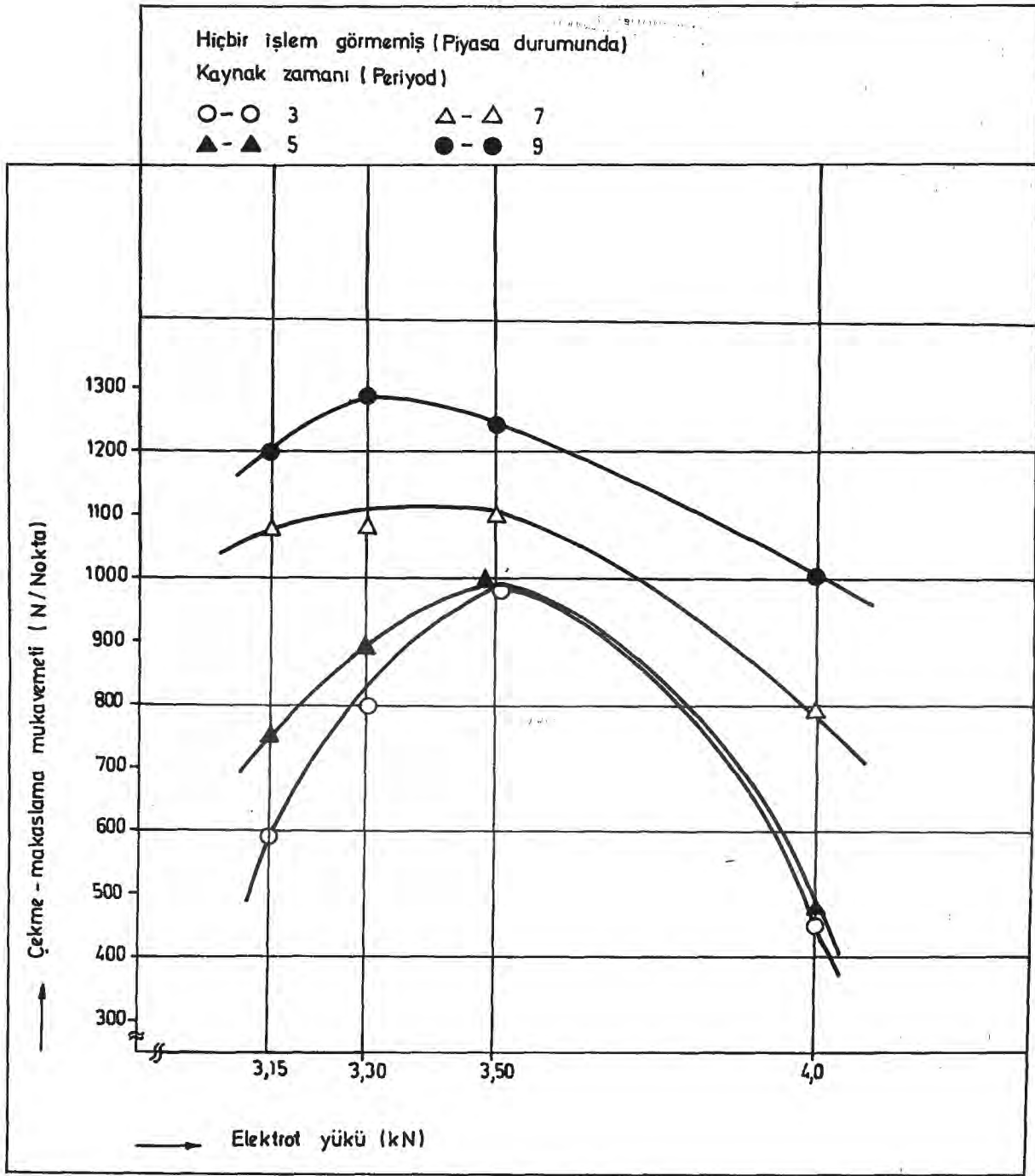
Elektrot Yükü \ Kaynak Zamanı				
	3 (Periyod)	5 (Periyod)	7 (Periyod)	9 (Periyod)
3,15 (kN)	780 (N)	930 (N)	1120 (N)	1150 (N)
3,30 (kN)	820 "	960 "	1080 "	1080 "
3,50 (kN)	800 "	930 "	1070 "	Fıskırdı
4,00 (kN)	650 "	780 "	900 "	980 (N)

Tablo V-8 Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa durumunda) yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi (Parametre, kaynak zamanı)

Elektrot Yükü \ Kaynak Zamanı				
	3 (Periyod)	5 (Periyod)	7 (Periyod)	9 (Periyod)
3,15 (kN)	590 (N)	750 (N)	1080 (N)	1200 (N)
3,30 (kN)	800 "	890 "	1090 "	1290 "
3,50 (kN)	990 "	990 "	1100 "	1240 "
4,00 (kN)	450 "	480 "	790 "	1050 "



Şekil V-10 Gres (yağ) giderme işlemi uygulanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi
(Parametre, kaynak zamanı)



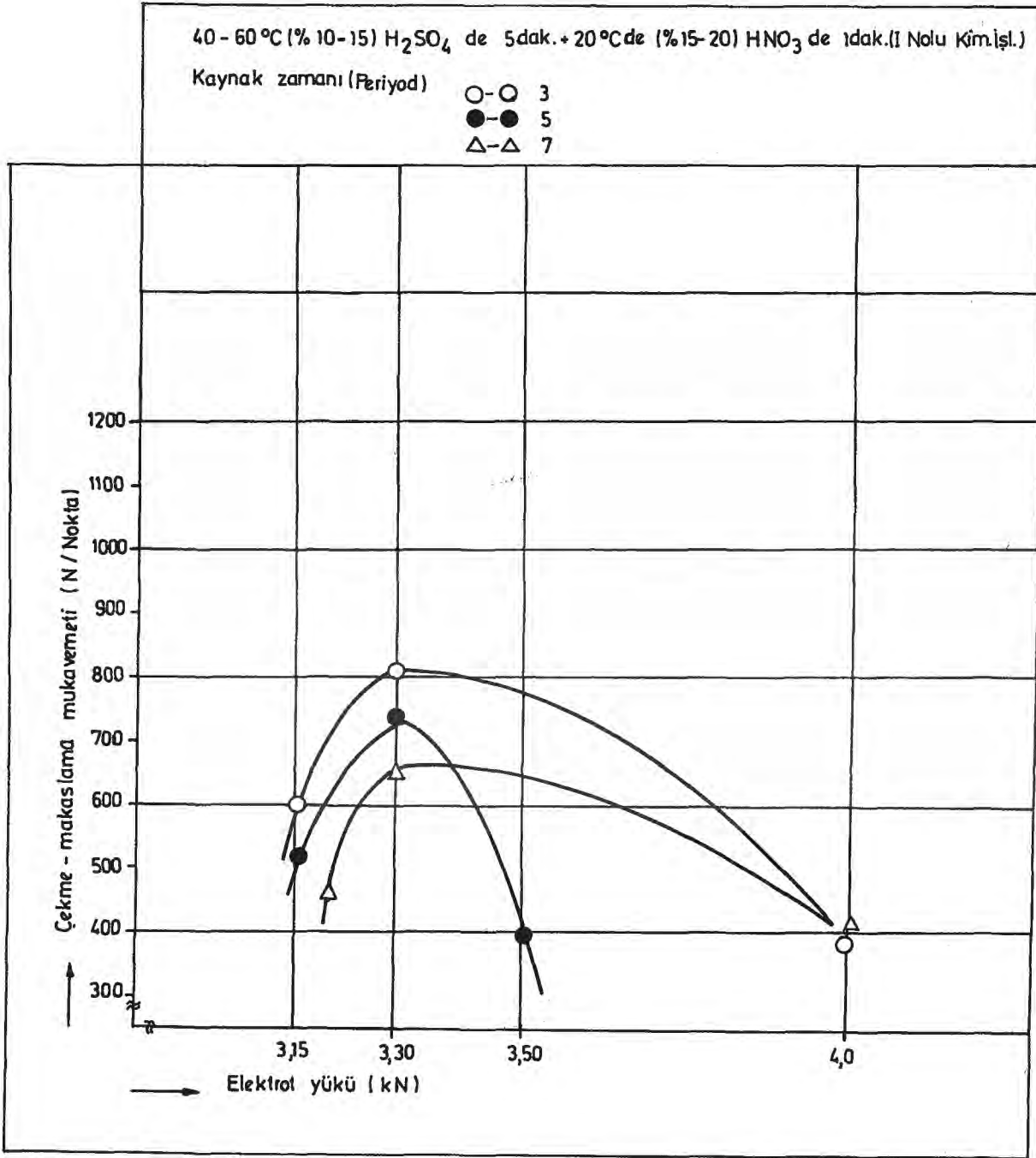
Şekil V-11 Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa durumunda) yüzeylerde çekme-makas-
lama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi
(Parametre, kaynak zamanı)

Tablo V-9 I Nolu Kimyasal işleme hazırlanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi (Parametre, kaynak zamanı)

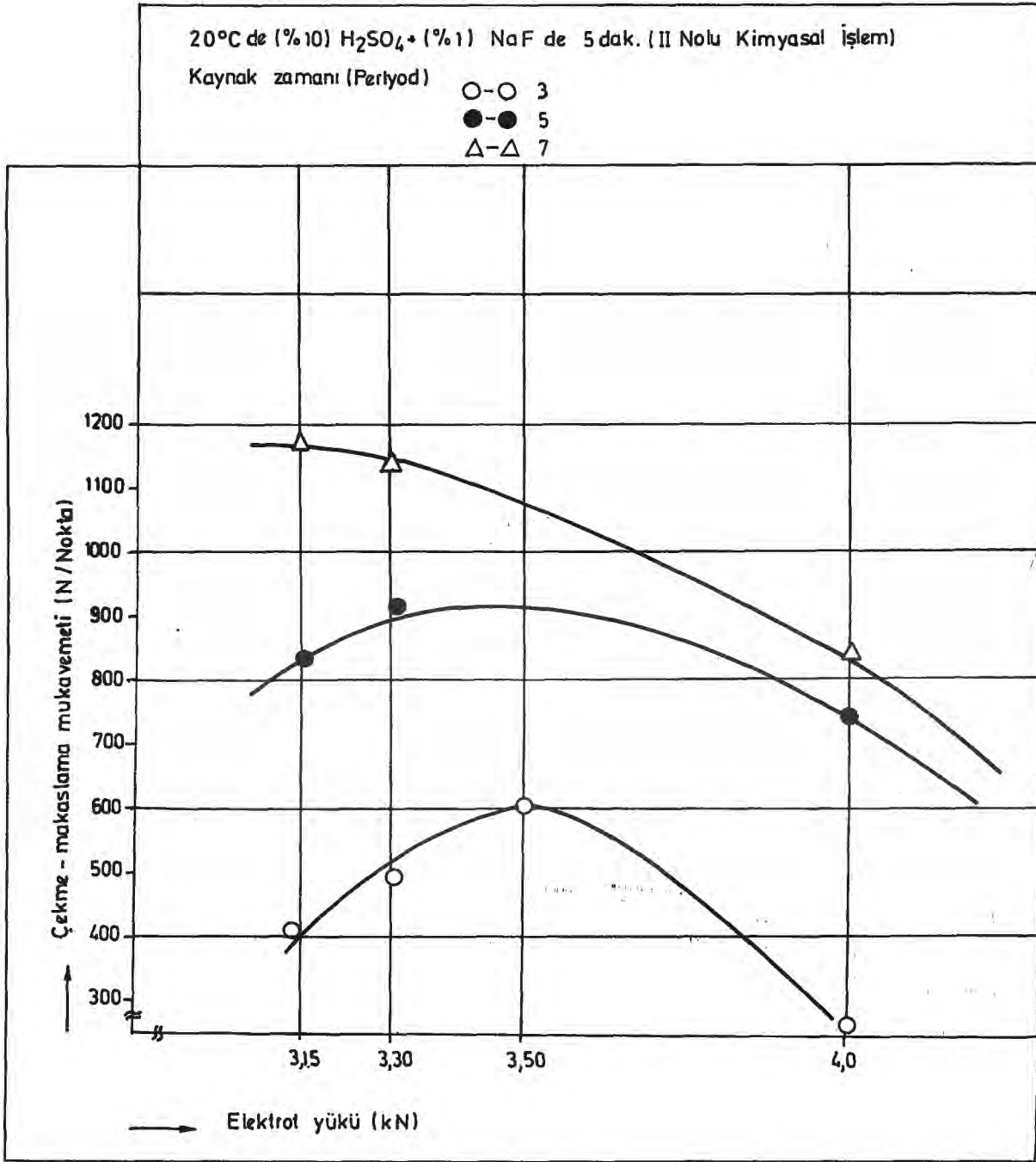
Elektrot Yükü	Kaynak Zamanı			
		3 (Periyod)	5 (Periyod)	7 (Periyod)
3,15 kN		600 (N)	520 (N)	470 (N)
3,30 "		810 "	740 "	650 "
3,50 "		-	400 "	-
4,0 "		390 "	-	400 "

Tablo V-10 II-Nolu Kimyasal işleme hazırlanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi (Parametre, kaynak zamanı)

Elektrot Yükü	Kaynak Zamanı				
		3 (Periyod)	5 (Periyod)	7 (Periyod)	9 (Periyod)
3,15 kN		410 (N)	830 (N)	1070 (N)	1170 (N)
3,30 "		500 "	920 "	1150 "	650 "
3,50 "		610 "	-	-	510 "
4,00 "		140 "	750 "	850 "	900 "



Şekil V-12 I-Nolu Kimyasal işleme hazırlanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi (Parametre, kaynak zamanı)



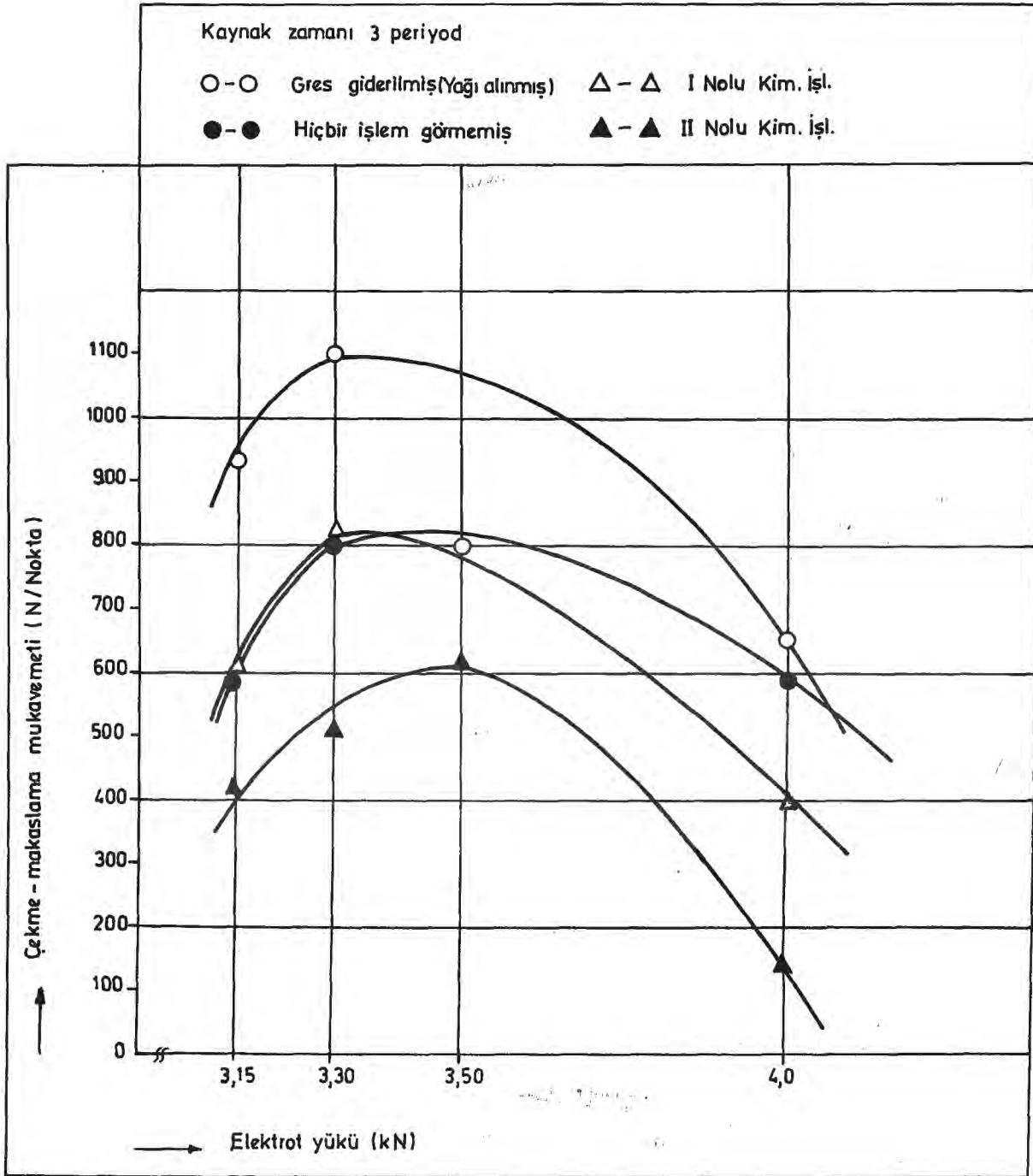
Şekil V-13 II-Nolu Kimyasal işlemle hazırlanan yüzeylerde çekme-makaslama mukavemetinin elektrot yüküne göre değişimi
(Parametre, kaynak zamanı)

Tablo V-11 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimi (Kaynak zamanı, 3 periyod)

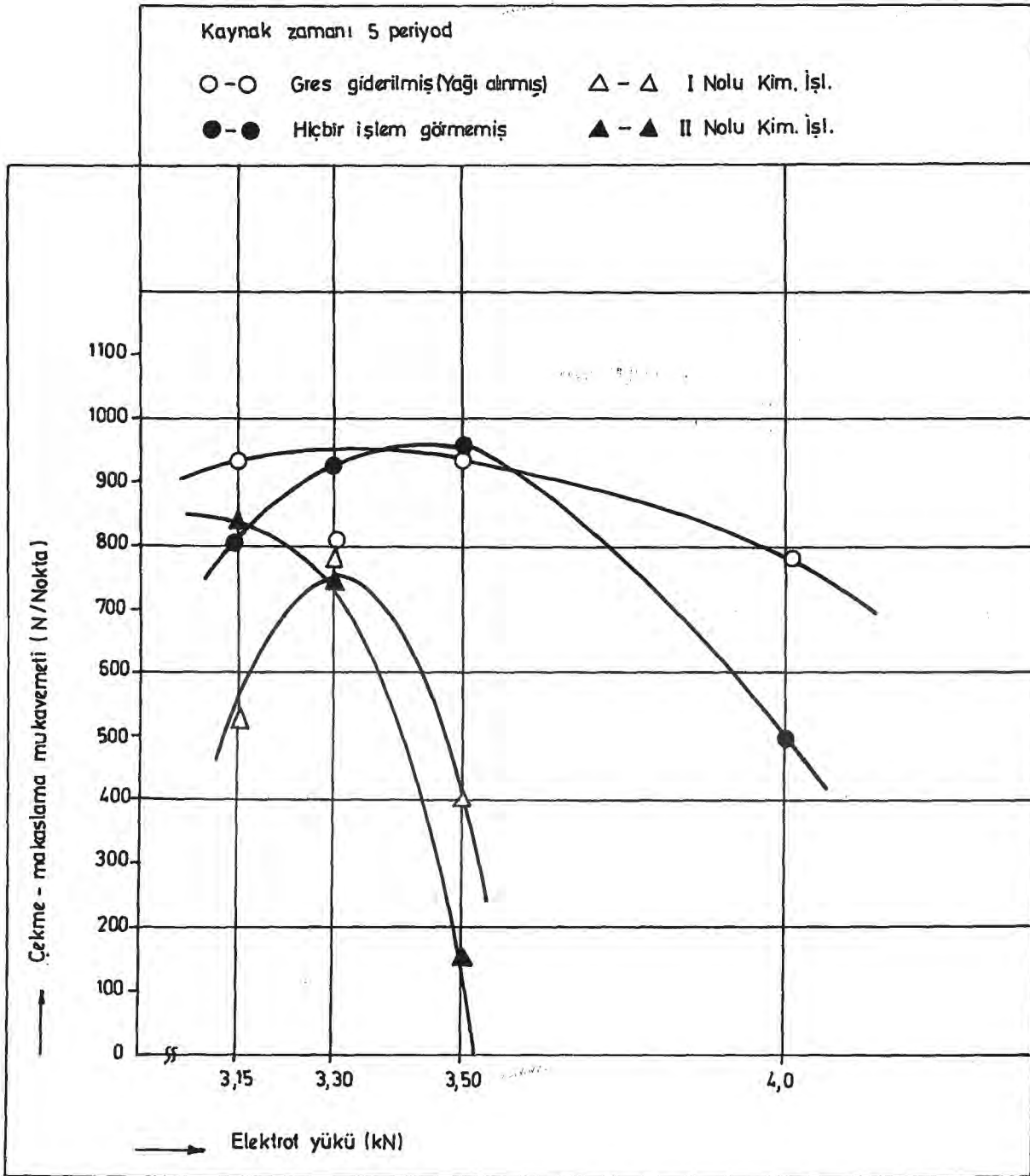
Elektrot Yükü	Yüzey hazır lama tarzı	Hiçbir işlem		
		Gres gideril miş (Yağı alınmış)	görmemiş (Piyasa duru munda)	I-Nolu Kimyasal İşlem II-Nolu Kimyasal İşlem
3,15 kN		930 (N)	580 (N)	610 (N)
3,30 kN		1100 "	800 "	810 "
3,50 kN		800 "	-	610 "
4,00 kN		650 "	590 "	390 "

Tablo V-12 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimi (Kaynak zamanı, 5 Periyod)

Elektrot Yükü	Yüzey hazır lama tarzı	Hiçbir işlem		
		Gres gideril miş (Yağı alınmış)	görmemiş (Piyasa duru munda)	I-Nolu Kimyasal İşlem II-Nolu Kimyasal İşlem
3,15 (kN)		930 (N)	800 (N)	520 (N)
3,30 "		800 "	920 "	790 "
3,50 "		930 "	950 "	400 "
4,00 "		780 "	500 "	Kendili ğinden koptu



Şekil V-14 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimini (Kaynak zamanı, 3 periyod)



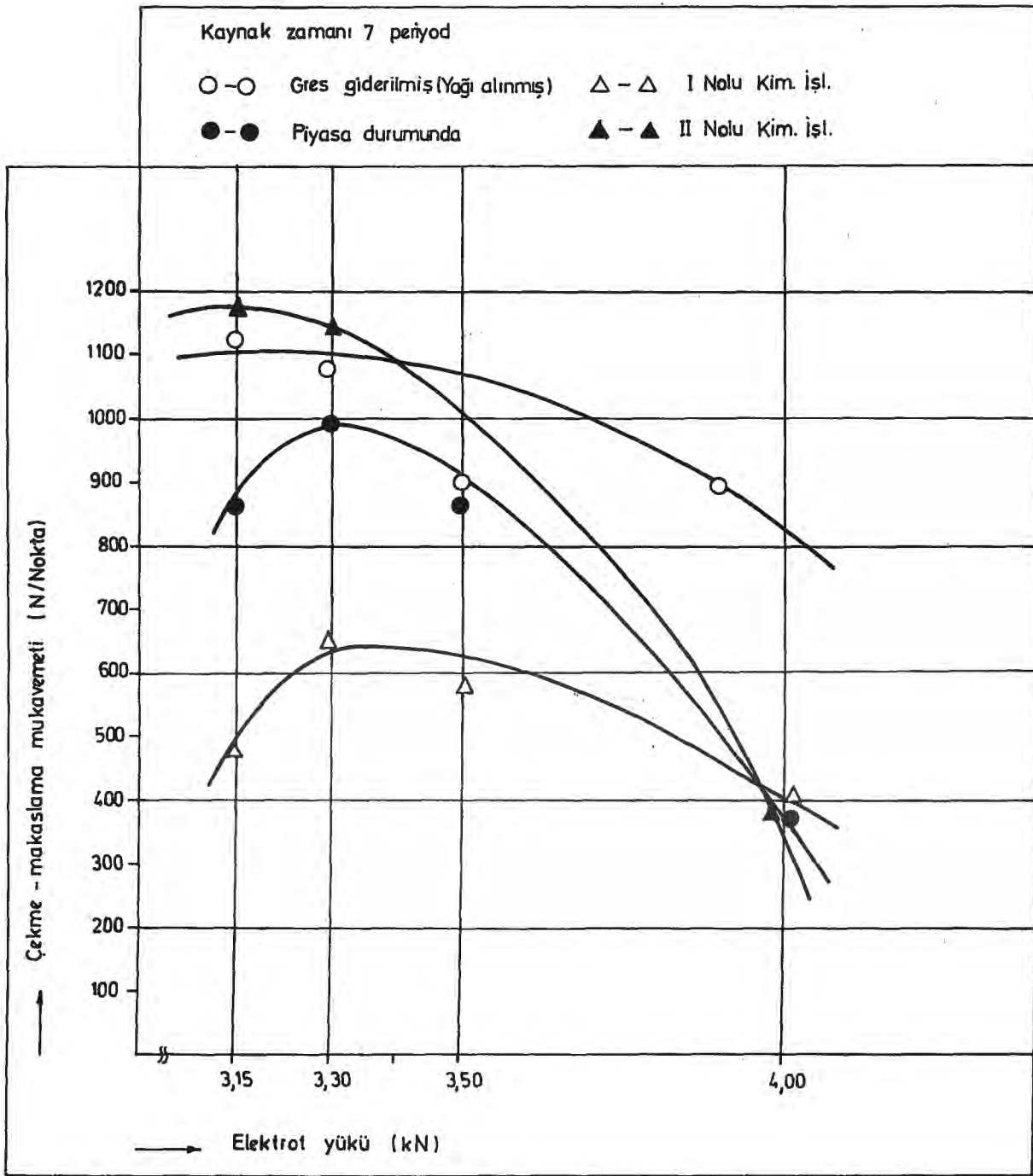
Şekil V-15 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimi (Kaynak zamanı, 5 periyod)

TabloV-13 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimi (Kaynak zamanı, 7 Periyod)

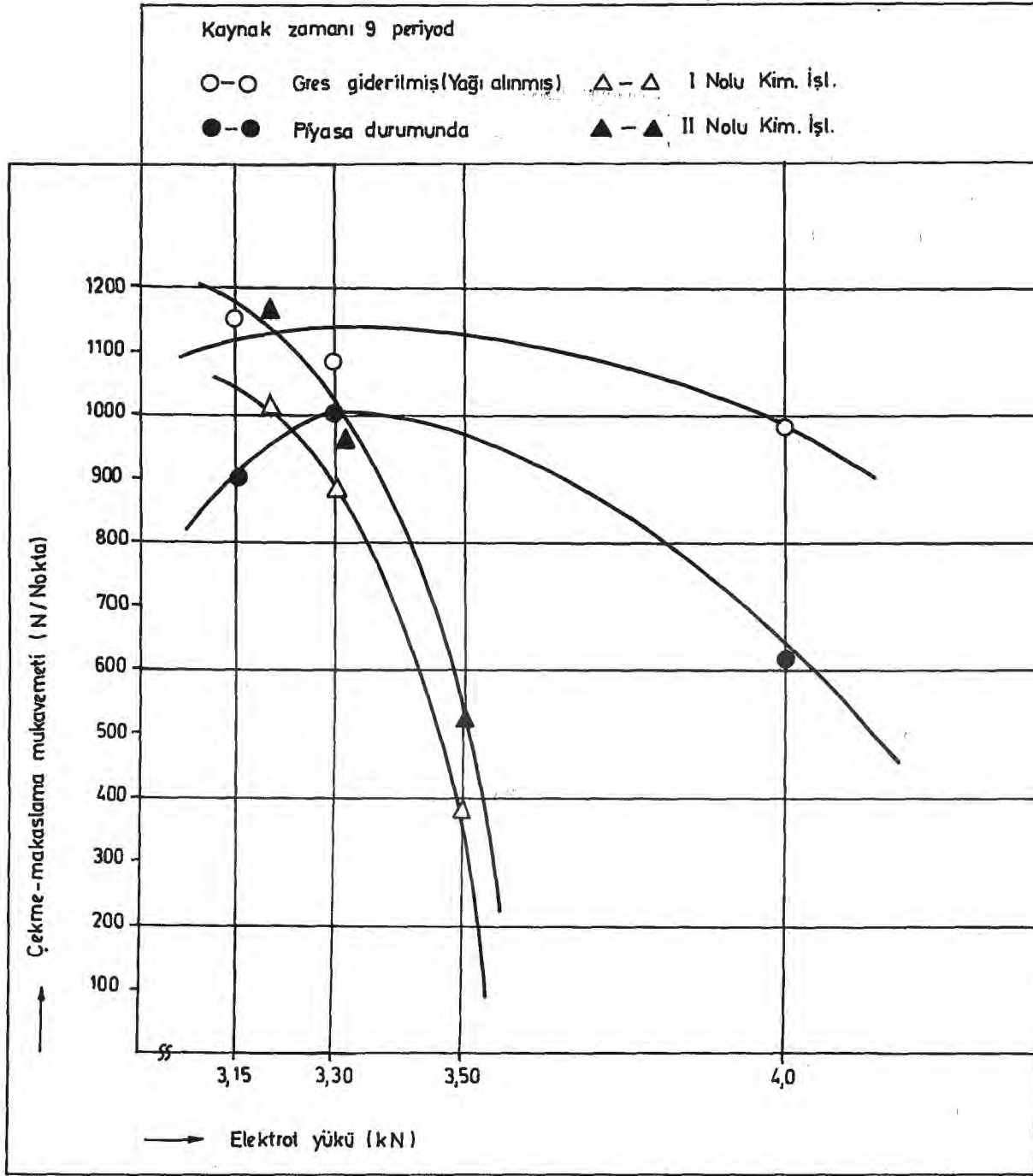
Yüzey hazırlama Elektrot tarzı Yükü	Gres gide- rilmiş (Yağı alın- mış)	Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa duru munda)	I Nolu Kimyasal İşlem	II Nolu Kimyasal İşlem
3,15 (kN)	1120 (N)	860 (N)	470 (N)	1170 (N)
3,30 (kN)	1080 "	1000 "	650 "	1150 "
3,50 (kN)	900 "	800 "	590 "	-
4,0 (kN)	900 "	380 "	400 "	400 "

Tablo V-14 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimi (Kaynak zamanı, 9 Periyod)

Yüzey hazırlama Elektrot tarzı Yükü	Gres gide- rilmiş (Yağı alın- mış)	Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa duru munda)	I Nolu Kimyasal İşlem	II Nolu Kimyasal İşlem
3,15 (kN)	1150 (N)	900 (N)	1010 (N)	1170 (N)
3,30 (kN)	1080 "	1000 "	790 "	650 "
3,50 (kN)	Fıskırdı	-	380 "	520 "
4,00 (kN)	980 (N)	620 "	800 "	900 "



Şekil V-16 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimi (Kaynak zamanı, 7 periyod)



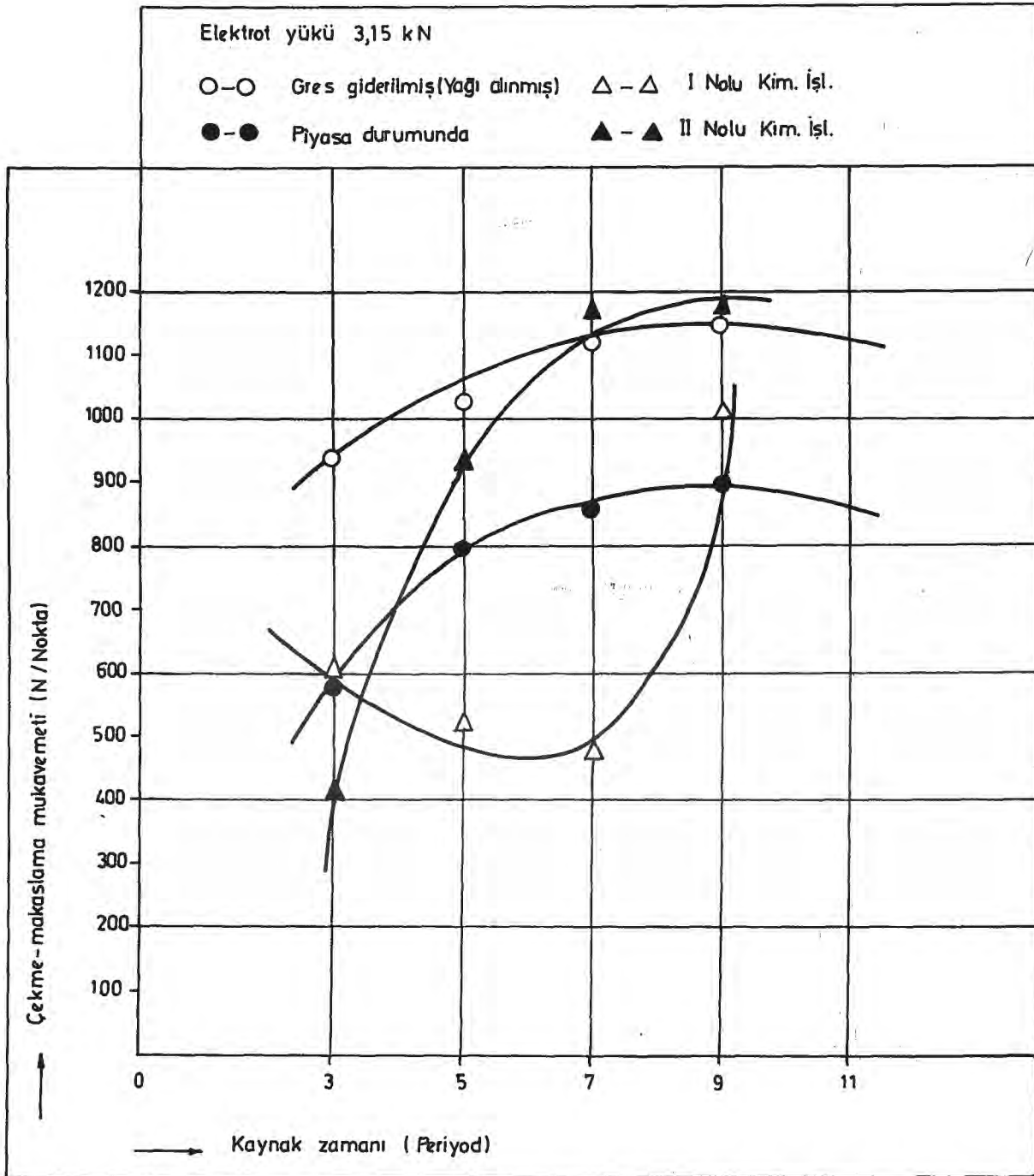
Şekil V-17 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin elektrot yüküne göre değişimi (Kaynak zamanı, 9 periyod)

Tablo V-15: Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin kaynak zamanına göre değişimi (Elektrot yükü, 3,15 kN)

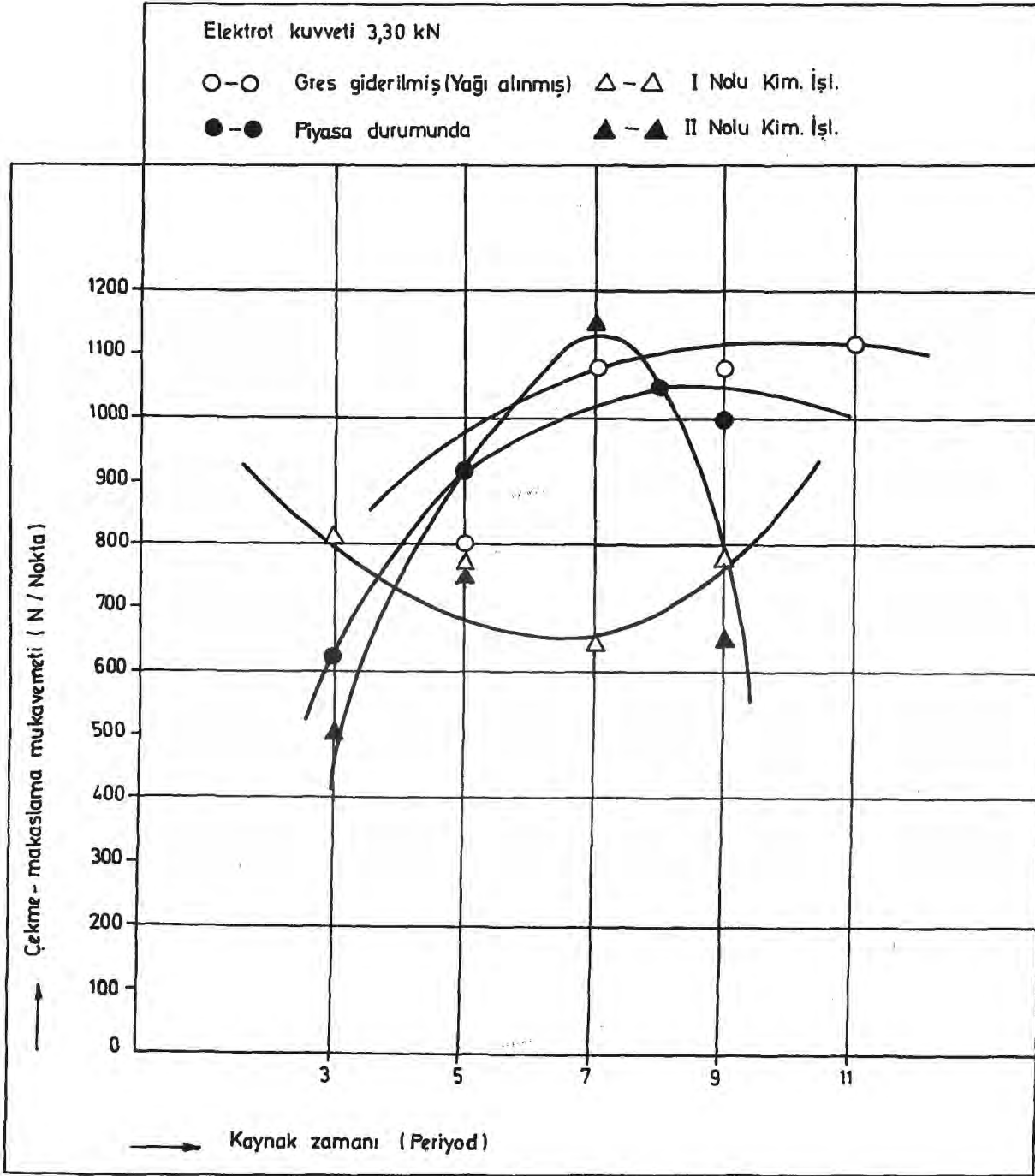
Kaynak Zamanı (Periyod)	Yüzey hazırlama tarzı	Gres giderilmiş (Yağı alınmış)	Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa durumunda)	I Nolu Kimyasal İşlem	II Nolu Kimyasal İşlem
3		930 (N)	580 (N)	600 (N)	410 (N)
5		1020 "	800 "	520 "	930 "
7		1120 "	860 "	470 "	1170 "
9		1150 "	900 "	1010 "	1170 "

Tablo V-16: Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin kaynak zamanına göre değişimi (Elektrot yükü, 3,30 kN)

Kaynak Zamanı (Periyod)	Yüzey hazırlama tarzı	Gres giderilmiş (Yağı alınmış)	Hiçbir işlem görmemiş (Piyasa durumunda)	I Nolu Kimyasal İşlem	II Nolu Kimyasal İşlem
3		-	620 (N)	810 (N)	500 (N)
5		800 (N)	920 "	790 "	750 "
7		1080 "	1150 "	650 "	1150 "
9		1080 "	1000 "	790 "	650 "
11		1120 "	-	-	-



Şekil V-18 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin kaynak zamanına göre değişimi (Elektrot yükü, 3,15 kN)



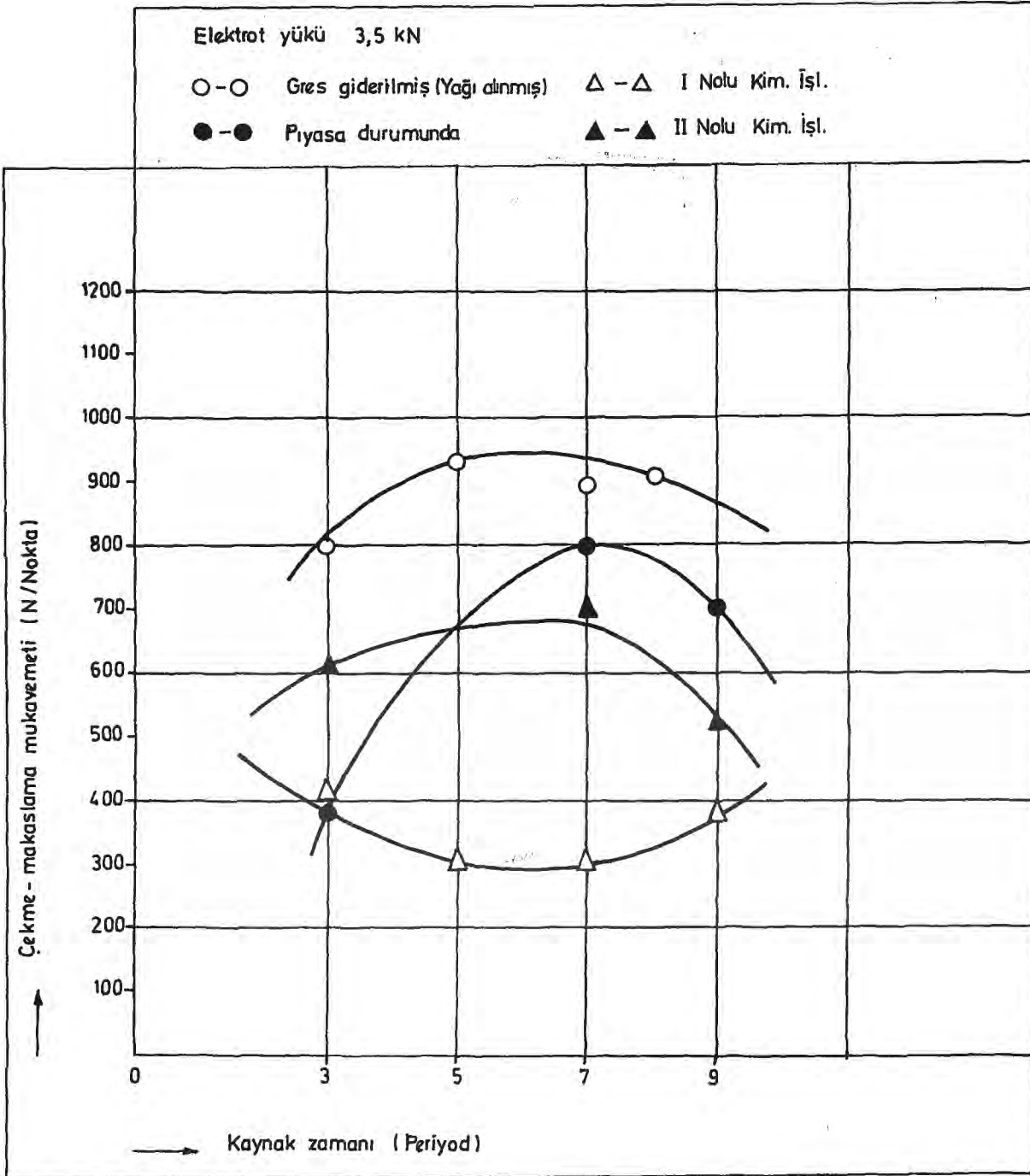
Şekil V-19 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin kaynak zamanına göre değişimi (Elektrot yükü, 3,30 kN)

Tablo V-17:Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi (Elektrot yükü, 3,5 kN)

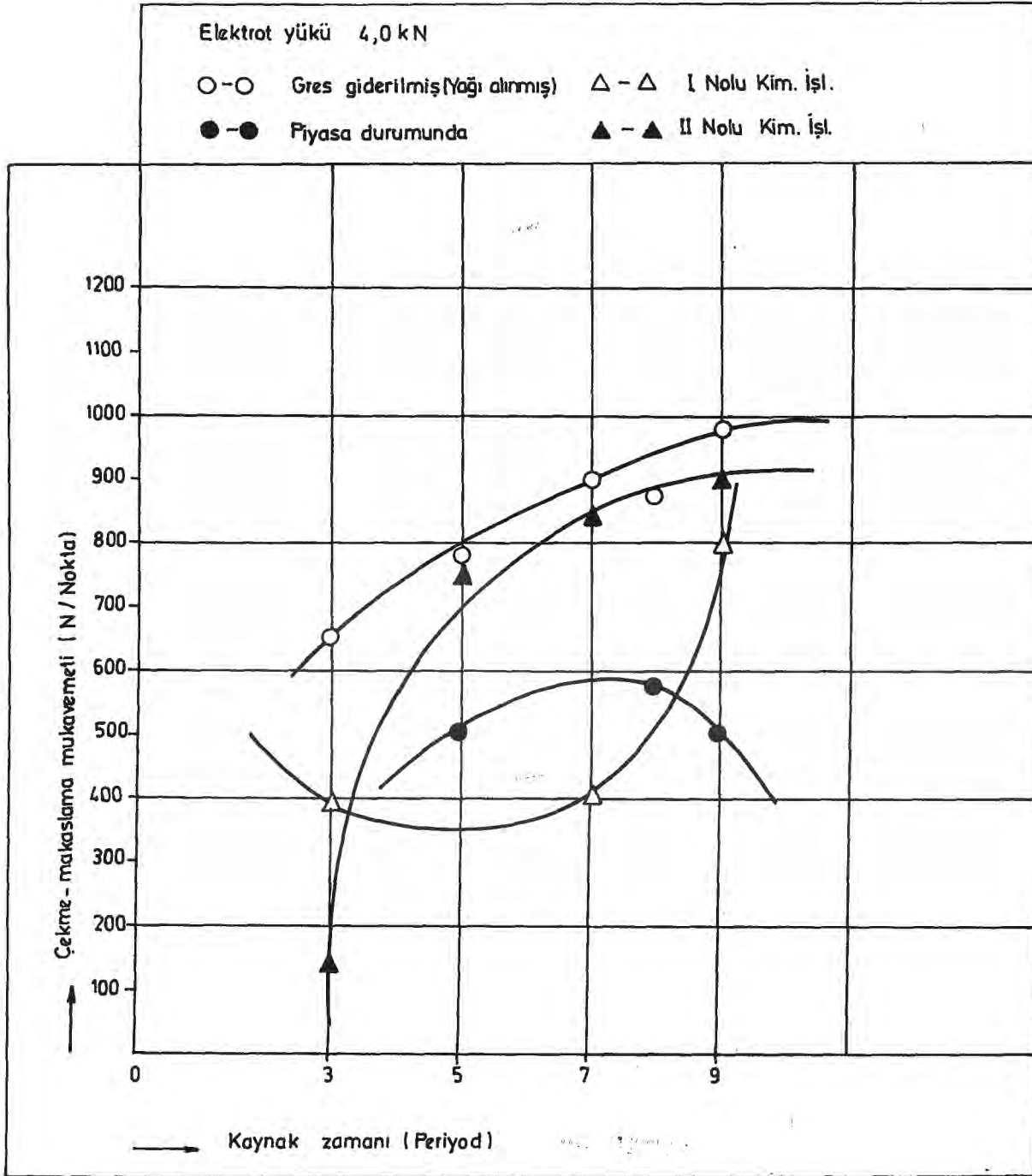
Kaynak Zamanı (Periyod)	Yüzey hazırlama tarzı	Gres gide-rilmiş (Yağı alınmış)	Hiçbir iş-lem görme-miş (Piyasa du-rumunda)	I Nolu Kimyasal İşlem	II Nolu Kimyasal İşlem
3		800 (N)	380 (N)	400 (N)	610(N)
5		930 "	-	300 "	-
7		900 "	800 "	300 "	700 "
9		Fışkırdı	700 "	380 "	520 "

Tablo V-18:Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetinin kaynak zamanına göre değişimi (Elektrot yükü, 4,0 kN)

Kaynak Zamanı (Periyod)	Yüzey hazırlama tarzı	Gres gide-rilmiş (Yağı alınmış)	Hiçbir iş-lem görme-miş (Piyasa du-rumunda)	I Nolu Kimyasal İşlem	II Nolu Kimyasal İşlem
3		650 (N)	-	390 (N)	140 (N)
5		780 "	500 (N)	Kendiliğın den kaptu	750 "
7		900 "	-	400 (N)	850 "
9		980 "	500 "	800 "	900 "
8		-	590 "	-	-



Şekil V-20 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin kaynak zamanına göre değişimini (Elektrot yüklü, 3,5 kN)



Şekil V-21 Çeşitli yüzeylere ait çekme-makaslama mukavemetlerinin kaynak zamanına göre değişimi (Elektrot yükü, 4 kN)

8.- Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

8.1.- Temas Dirençleri

Çeşitli yüzeylerde yapılan araştırmalar sonucunda, II Nolu kimyasal işlemle hazırlanan parçaların en yüksek temas direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunu I-Nolu kimyasal işlemle hazırlanan parçalar izlemektedir. Piyasa durumundaki parçaların temas dirençleri ise daha düşük değerdedir. Bu parçalara yağ giderme işlemi uygulanması durumunda temas direnci bir miktar daha düşmektedir. (Şekil V-4) Azalmanın nedeni, yüzey üzerinde mevcut toz ve pisliklerin işlem sonucu ortadan kalkmasıdır.

8.1.1.- Temas Direnci İle Yüzey Pürüzlülüğü Arasındaki Bağıntı

Metalik temas noktalarının sayısı "n" olarak gösterilirse, yüzeyin oksit ile kaplı olmaması halinde "n" sonsuza diğer bir deyişle, pürüzlülük sıfıra ulaştığında, temas direnci sıfır olmaktadır. Yüzey tamamen pürüzsüz fakat oksit filmi ile kaplı ise, temas direnci çok yüksek olacak, ancak artan pürüzlülük ile temas direnci hızla azalacaktır.

Pürüzlerin plastik şekil değiştirmesi nedeni ile, pürüzlülüğün temas direncine etkisi, artan elektrot yükü ile azalmaktadır. Temas noktası çapının artması temas nokta sayısının etkisini de azaltmaktadır.

8.2.- Kaynak Mukavemeti

8.2.1.- Temas Direnci İle Kaynak Mukavemeti Arasındaki Bağıntı

Yapılan araştırmada temas dirençleri ile kaynak mukavemeti arasında kesin bir bağıntı bulunamamıştır. Örneğin, yüksek direnç değerlerinin elde edildiği I-Nolu kimyasal işlemle hazırlanan parçalarda, düşük mukavemet değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç temas direncinin ısı üretiminde ve kaynak dikişi oluşumunda etkili bir faktör olduğu görüşünü şüpheye düşürmektedir.

Ancak artan pürüzlülük ile ısı gelişimi ve kaynak dikişi oluşumu daha hızlı olmakta sonuç olarak da artan pürüzlülük ile mukavemet

9.- Sonuçlar

Kaynak akımının uygulanması ile birlikte temas direnci ortadan kalkmaktadır. [22] Temas dirençlerinin ısı üretimine etkisi olup olmadığı birçok araştırıcı tarafından incelenmiş ve farklı sonuçlar öne sürölmüştür, bazı araştırıcılar [30] , temas direncinin dikiş oluşumuna etki etmediğini, bazıları [13] ise, kısa zaman süresi içinde direncin etkili olup sonradan bu etkinin yok olduğunu, bazıları [29] da, ısı üretiminin başlangıcında temas direncinin değer taşıdığını ancak daha sonra elektrotlara olan ısı iletiminin önemli olduğunu öne sürmüşlerdir. Bir başka araştırmacı [31] ise kaynak dikişinin oluşması sırasında ortaya çıkan levha ayrılmasının önemli olduğunu, temas direncinin ise kısa sürede ortadan kalkması nedeni ile önemsiz olduğunu, ancak temas yüzeyi durumunun önemli bulunduğunu öne sürmüştür.

Özellikle oksit tabakasının parçalanmasından sonra ortaya çıkan metalik temas noktalarının sayısı önem taşımaktadır. Nokta sayısı fazla ise, nokta başına düşen akım yoğunluğu azalmakta ve ısı birikimi düşmektedir. Tersî durumunda ise, ısı birikimi artar.

Yaptığımız araştırmada çeşitli pürüzlölük değerlerinde dört çeşit yüzey üzerinde incelemeler yapılmış ve malzeme olarak 1,2 mm kalınlığında % 99,5 safiyette ticari alüminyum kullanılmıştır. deneylerde temas yüzeyinin ve temas direncinin etkisini görebilmek için, çeşitli elektrot yüklerinde ve kaynak zamanlarında elde edilen kaynak mukavemeti esas alınmıştır. Yapılan bu araştırmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1- Temas direnci ile kaynak mukavemeti arasında kesin bir bağıntı bulunamamıştır. Çok yüksek direnç değerlerinin elde edildiği I-Nolu kimyasal işlemle (40-60°C(%10-15)H₂SO₄ de 5 dak + 20°C de (%15-20) HNO₃ de 1 dak) hazırlanan parçalar, düşük mukavemet değerleri, hatta bir minimumdan geçen eğriler vermiştir.

2. Buna karşılık artan pürüzlölük ile ısı üretimi ve dikiş oluşumu hızlanmakta ve kaynak mukavemeti de artmaktadır. Bulunan sonuç, yü-

zey üzerinde mevcut metalik temas noktaları sayısı ile ilgili araştırma sonuçlarına uygun düşmektedir.

3- Kaynak zamanı arttıkça mukavemet artmaktadır. Bunu I-Nolu kimyasal işlemle hazırlanmış parçalar hariç diğer bütün yüzeylerde gözlemek mümkündür.

Kaynak zamanının belirli bir süreden sonra artması halinde fışkırmalar oluşmaktadır. Kullandığımız 1,2 mm kalınlığındaki % 99,5 safiyetteki ticari alüminyum için 9 periyoddan daha fazla zamanlarda kaynak noktalarında fışkırmalar gözlenmiştir.

4- Elektrot yükü arttıkça mukavemet değerlerinde düşmeler meydana gelmektedir.

5- Kullandığımız % 99,5 safiyetteki ticari alüminyumu hiçbir yüzey işlemi uygulamadan kaynak yapıp yeterli mukavemet elde etmek mümkündür, ancak bu sırada elektrotların sık sık değiştirilmesi veya temizlenmesi gerekmektedir. Elektrotların temizlenmemesi durumunda kaynak yüzeyi deforme olmakta ve fışkırmalar nedeni ile mukavemet düşmektedir.

6- Kullandığımız yüzeyler içinde I-Nolu kimyasal işlemle hazırlanan yüzeyler, diğerleri için normal olan, tüm bulgulara ters düşmekte ve uygun olmayan eğriler vermektedir. Bundan dolayı, sonuç olarak % 99,5 safiyetteki ticari alüminyum için I-Nolu kimyasal işlemle yüzey hazırlamanın uygun olmadığı söylenebilir.

7- Artan elektrot yükü ile yüzeyler arasındaki mukavemet farkı azalmakta, ancak belirli bir mukavemet elde etmek için geçen zaman da artmaktadır. Nedeni elektrotlara olan ısı iletiminin artmasıdır.

K A Y N A K Ç A

- 1- ANIK, S., "Günümüzde Endüstride Kaynağın Yeri"
1. Ulusal Kaynak sempozyumu (İ.T.Ü.) 13-15 Kasım 1984
- 2- ERYÜREK, B., "Elektrik Direnç Kaynağı"
Makina Mühendisleri Odası Dergisi
Sayı 279 Aralık - 1982
- 3- ERYÜREK, B., "Doktora Tezi" 1976, İ.T.Ü.
- 4- ANIK, S.
Kaynak Teknolojisi El Kitabı 1983
- 5- STANLEY, W.A., "Resistance Welding"
Mc Graw Hill (1950), S.1-3
- 6- HUMPHREY, S.M., "Fundamentals of resistance welding", American
Welding Journal, (1940),
Vol. 19, No.2, 112-113
- 7- GILLETE, R.T. " Latest development in resistance welding", American
Journal, (1940), Vol. 19, No.3, 186-191
- 8- MEDOWCROFT, J.W., "Resistance welding 25 years progress", American
Welding Journal, (1940), Vol. 19, No.5, 362
- 9- WINDRED, G.
"Elektrical contact resistance"
Beama Journal, (April 1938)
- 10- GENGENBAH, O., "Untersuchungen über die Stromverteilung, den Waerme-
fluss und die Temperaturverteilung in der Umgebung von Widerstands -
schweisspunkten", Widerstandsschweissen III, Deutscher Verlag für
Schweisstechnik (DVS) (1965), Band 45, 17-24
- 11- KOTSCHERGIN, K.A.,
"Leitfaden des Widerstandsschweissens",
SVT, (1956)
- 12- NAKANE, K.; TORII, Y., "Study of determination of the optimum
welding conditions in resistance spot Welding", Transaction of
Japan Welding Society, (1974). Vol. 5, No.1

- 13- LHEUREUX, G.E., BLOTTE, E.J.,
"Le Soudage par Resistance", Dunod, (1965)
- 14- MOORE, A.J.,
"Deformation of metals in static and sliding contact",
Proc. Roy. soc., (1948), Vol. 195, 231
- 15- WILLIAMSON, J.B.P., "Cracking of oxide films in spot welding,
Britisch Welding Journal, (1961), Vol. 8, No.8
- 16- WILLIAMSON, J.B.P., Internat. Conf. Electromagn, Relays, Sendai,
Japan, Paper A7 (Oct.1963)
- 17- KOUWENHOVEN, W.B.; TAMPICO, J.,
"Measurement of contact resistance", American Welding Journal,
Research Supplement, (1940), Vol. 19, No.10. 408-413
- 18- KOUWENHOVEN, W.B.; TAMPICO, J.,
"Surface polish and contact resistance", American Welding Journal,
Research Supplement, (1941), Vol. 20, No.10, 468-471)
- 19- HOLM, R., "Electric Contacts, Theory and Application", Springer-
Verlag, (1967)
- 20- CIGANEK, L., Elektroschweissung, (1943), H.5, 57
- 21- KISSLJUK, F.I., "Die Elektrische Widerstandsschweissung", Oborongis,
(1950)
- 22- STUDER, F.J.,
"Contact resistance in spot welding", American Welding Journal,
(1939), Vol. 18, No.10, 374-380
- 23- TYLECOTE, R.F., "Contact resistance", American Welding Journal,
(1941), Vol. 20, No.12, 591-602)
- 24- ROBERTS, W.L., "Resistance variations during spot Welding, American
Welding Journal, (1951), Vol. 30, No.11, 1004-1019
- 25- SIDERENKO, A.M., "Determination of physical properties of contacts
in spot welding of low carbon steels", Academy of Sciences of the
Ukranien, (1938)

- 26- HESS, W.F.; RINGER, R.L., "Studies of the spot welding of low carbon and stainless steels," American Welding Journal, (1938), Vol.17, No.10, 39-48
- 27- HESS, W.F.; RINGER, R.L., Data on the spot welding of low carbon st, American Welding Journal, (1939). Vol.18, No.4, 113-115
- 28- HESS, W.F.; R.A., "Further studies of the spot welding of low carbon and stainless steels", American Welding Journal, (1939), Vol.18, No.10, 348-354
- 29- APPS, R.L., "Heat development and weld nugget formation in mild steel spot welds", Proceedings of the Conference on Advances in Welding Processen, (April 1970), Paper 34.
- 30- DIX, A.F.J., "Metallurgical study of resistance weld nugget formation and stuck welds", Inst. of Welding Autumn Meeting, (1966), 7-13
- 31- SATOH, T.; KATAYAMA, J.; ABE, H., "Temperature distribution and break down oxide layer during resistance spot welding using two dimensional model", International Institute of Welding, (IIW-III-371-69), (1969)
- 32- Demir-Dışı Metallerin Kaynak Teknikleri SEGEM yayın no 80 Mart 1981
- 33- BRUNST, W., "Das Elektrische Widerstandsschweissens", Springer-Verlag (1952)
- 34- Aluminium Taschenbuch
Aluminium, Zentrale Düsseldorf, 1983
- 35- FRITZSCHE, W.; DEUBEL, G.; "Punktschweissen von NE-Metallen und legierten Stählen" Schweisstechnik 13 (1963), Heft 4
- 36- GILDE, W.;
"Das Schweissen von NE-Metallen, Bd. II", Varlag Technik, Berlin 1963)
- 37- HAMAZAKI, M.; YOSETSU, K.;
"Resistance Welding for Aluminium" 1973, 11, (6)

- 38- ANIK, S.; DORN, L.;
Al ve Alaşımlarının Nokta Kaynağı" Gemi Mühendisliği Dergisi"
Sayı 94 Ekim 1984
- 39- ANIK, S.; ÖREN, T.;
"Dövme (Hadde) Aluminium Alaşımlarının Elektrik Direnç Kaynağı,
(1964)
- 40- ANIK, S.; DORN, L.;
"Widerstands-Punktschweissen von Aluminiumwerkstoffen - Teil 1-2"
Verbindungstechnik Heft 10. Oktober 1981 13. Jahrgang
- 41- RUGE, J.; HILDEBRANDT, P.;
"Einfluss von Temperatur Verteilung and Werkstoffeigenschaften
auf das Haften der Elektroden beim Widerstandspunktschweissen von
Aluminium and Aluminiumlegierungen."
Schweissen und Schneiden v 16 n 4 Apr. 1964 p 115-24
- 42- JOHNSON, K.I.; HANNAH, M.D.; ROSWELL, S.L.; DISDALE W.D.;
"Properties of splashed resistance spot welds",
Met Constr Br Weld J.v 5n Nov 1973 p 401-406
- 43- WRANGLER, G., "Introduktion to corresions and protection of Metals",
Institut för Metalskydd, fack 10041 Stockholm 26, 1972
- 44- GEDARD, H.P.; JEPSON, W.P.; BOTHWELL, M.R.; ROBERD, L.K.;
"The Corrosion of light Metals",
John Miley and Sons, Inc, London 1972
- 45- SCHRIER, L.L, "Corrosions"
John Wiley and Sons, Inc, two wolume London, (1963)
- 46- RUGE, J.; "Handbuch der Schweisstecnik", Springer-Verlag,
Berlin-Heidelberg-New York, 1974
- 47- EKHORN, F.; KUNSMANN, A.; LANGHARD, W.;
"Vergleichende Untersuchungen beim Widerstandspunktshweissen mit
Gleich-und 50 Hz-Wechselstrom".
Blech v 18n 3 Mar 1971, p 97-105
- 48- SCHELLPRÜFUNG VON PUNKTSCHWEISSELEKTRODEN
Sitte, Gernot ZIS, Halle, E Ger 215 Mitt v 17 n 8 Aug, (1975),
p 957-960

49- PRISCHMANN, W.;

"Bessere Qualitaet beim Widerstandspunktschweissen durch Regelung der Schweissparameter", Schweisstechnik (East Berlin) v 15 n 9 Sept (1965), p 407-10

50- KRUGER, U.;

"Beitrag zur vergleichbarkeit der Ergebnisse beim Widerstandspunkt_schweissen von Aluminiumwerkstoffen",
Sweissen u Schneiden v 31 n 1 Jan (1979), p 15-20

51- EICHORN, F.; KUNSMANN, A.;

"Untersuchungen über den Einfluss von Punktdurchmesser und-teilung auf das Festigkeitsverhalten von Widerstands-Punktschweisssverbindungen bei statischer und dynamischer Beanspruchung", DPBO Mitt v 21 n 8 Aug.(1970), p 142-53.

52- GÖNER, H., MARX, S.;

"Aluminium Handbuch" VEB Verlag Technik, Berlin, 1971