



**EGE ÜNİVERSİTESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR İÇİN GEREKLİ  
MEKANİK VE METALURJİK ÖZELLİKLERE  
SAHİP TOZALTI KAYNAK TOZU VE ÖZLÜ TEL  
KOMBİNASYONUNUN KARAKTERİZASYONU**

**Erhan ÖZKAN**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vural CEYHUN**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu : 625.02.00**

**Sunuş Tarihi : 05.Haziran.2015**

**E. Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(DOKTORA TEZİ)**

**ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR İÇİN GEREKLİ MEKANİK  
VE METALURJİK ÖZELLİKLERE SAHİP TOZALTI  
KAYNAK TOZU VE ÖZLÜ TEL KOMBİNASYONUNUN  
KARAKTERİZASYONU**

**Erhan ÖZKAN**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vural CEYHUN**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu : 625.02.00  
Sunuş Tarihi : 05.Haziran.2015**

**Bornova-İZMİR**

**2015**

Erhan ÖZKAN tarafından doktora tezi olarak sunulan “*Endüstriyel Uygulamalar İçin Gerekli Mekanik ve Metalurjik Özelliklere Sahip Tozaltı Kaynak Tozu ve Özlü Tel Kombinasyonunun Karakterizasyonu*” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 05.Haziran.2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

<b>Jüri Başkanı</b>	: Prof. Dr. Vural CEYHUN	.....
<b>Raportör Üye</b>	: Doç. Dr. Pınar DEMİRCİOĞLU	.....
<b>Üye</b>	: Prof. Dr. Rasim İPEK	.....
<b>Üye</b>	: Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU	.....
<b>Üye</b>	: Prof. Dr. Erdiñ KALUÇ	.....

# EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “*Endüstriyel Uygulamalar İçin Gerekli Mekanik ve Metalurjik Özelliklere Sahip Tozaltı Kaynak Tozu ve Özlü Tel Kombinasyonunun Karakterizasyonu*” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

05 / Haziran / 2015

Erhan ÖZKAN

## ÖZET

# ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR İÇİN GEREKLİ MEKANİK VE METALURJİK ÖZELLİKLERE SAHİP TOZALTI KAYNAK TOZU VE ÖZLÜ TEL KOMBİNASYONUNUN KARAKTERİZASYONU

ÖZKAN, Erhan

Doktora Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Vural CEYHUN

Haziran 2015, 73 sayfa

Bu doktora tezinin ana amacı, tozaltı kaynak tozu ve özlü tel imalatını optimize etmek ve bu imalatların kombinasyonları ile gerçekleştirilen kaynak metallere mekanik ve metalurjik özelliklerini araştırmaktır.

Aglomerasyon yöntemi ile üretilen tozaltı kaynak tozlarının optimum üretim şartları ve fiziksel özellikleri belirlendikten sonra kenetli özlü teller ile kombinasyonlarını içeren çalışmalar yapılmıştır. Tozaltı kaynak tozunun imalatında her bir girdi detaylı olarak ele alınmış ve bu girdiye ait çıktılar kayıt altına alınarak tozaltı kaynak tozu karakterize edilmiştir. Aynı şekilde özlü tel imalatındaki her bir veri optimize edilerek, tozaltı kaynak tozu kombinasyonu için zemin hazırlanmıştır. İlave ısı işlemler, yerinde faz dönüşümlerinin gerçekleştirilmesi için amaçlanmıştır. Krom matris kompozit kaplamalarda karbür faz dönüşümü üzerine ısı işleminin etkisi ile bunların korozyon ve mekanik davranışları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; krom-karbon kompozit kaplamalar bu teknikte başarılı bir şekilde üretilmektedir ve ilave ısı işlemlerle krom-krom karbür ve/veya krom nitrür kompozit yapıların çelik altlıklar üzerinde oluşturulması mümkündür. Elektrokimyasal davranışları göz önünde bulundurulduğunda; bir anlamda onarılmış, çatlaksız mikro yapıya sahip olan, azot atmosferinde 800 santigrat derecede ısı işlem görmüş krom-karbon siyahı kompozit kaplamaların geleneksel sert krom yapılarına nazaran daha iyi bir korozyon direnç gösterdikleri belirlenmiştir.

Ortaya çıkan test sonuçları analiz edilerek tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyonlarının mekanik ve metalurjik özellikleri detaylı olarak ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tozaltı kaynağı, özlü tel, mekanik ve metalurjik özellikler

## ABSTRACT

# CHARACTERIZATION OF THE SUBMERGED ARC WELDING FLUX AND FLUX CORED WIRE COMBINATION, WHICH FULFILLS THE REQUIRED MECHANICAL AND METALLURGICAL PROPERTIES, FOR THE INDUSTRIAL APPLICATIONS

OZKAN, Erhan

PhD in Mechanical Eng.

Supervisor: Prof. Dr. Vural CEYHUN

June 2015, 73 pages

The main aim of this doctorate thesis is to optimize the submerged arc welding and flux cored arc welding combination, and research the mechanical and metallurgical properties of the combinations, which were welded by these products.

In pursuit of determining the optimum production conditions and physical properties for the submerged arc welding fluxes, which produced by agglomeration technique, the studies including the combinations were carried out with seamed flux cored wires. Each of the inputs about the submerged arc welding flux production was discussed in details and the submerged arc welding fluxes were characterized by recording the outputs. Likewise, the basis was formed for the submerged arc welding flux combinations by optimizing the each input about the flux cored arc welding wires. The heat treatments were aimed to realize in-situ phase transformations. The effect of heat-treatment conditions on the in-situ carbide phase formation in the chromium matrix composite coatings, and their corrosion and mechanical behaviors were investigated. The obtained results showed that the chromium-carbon composite coatings can be fabricated successfully by this technique and with an additional heat-treatment; it is possible to obtain a chromium-chromium carbide and/or chromium nitride composite structure on steel substrates. The coatings were compared with respect to the conventional hard chromium coatings. In regard to the electrochemical behavior, the chromium-carbon black composite coatings heat-treated under nitrogen atmosphere at 800 degree Celsius showing a rehabilitated crack-free microstructure, exhibited better corrosion resistance than the conventional hard chromium structures.

The mechanical and metallurgical combinations of the submerged arc welding fluxes and flux cored arc welding wires were discussed in details by analyzing the obtained test results.

**Keywords:** Submerged arc welding, flux cored wire, mechanical and metallurgical properties

## TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince desteęini esirgemeyen Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ő. Firması'na ve çalıŐanlarına, Ege Ŭniversitesi personeline ve her zaman yanımda olduklarımı hissettiren aileme teŐekkűrlerimi sunarım

Bu doktora tezi, 3130488 numaralı ve "Őzlı Tel ve Tozaltı Tozu Kombinasyonlarında Tozaltı Kaynak Yöntemiyle DűŐk, Orta ve Yűksek AlaŐımlı BirleŐtirme ve Sert Dolgu Kaynak Tűkretim Malzemelerinin Tasarımı ve Prototip İmalatı" baŐlıklı TŬBİTAK-TEYDEB projesi ile destek alınmıŐtır. Bu desteğinden ve sundukları olanaklardan dolayı TŬBİTAK'a teŐekkűrlerimi sunarım.

**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
TABLolar DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Kaynağın Tarihçesi .....	1
1.2 Kaynak Yöntemleri .....	3
1.2.1 Elektrik ark kaynağı .....	4
1.2.2 MIG/MAG kaynağı .....	5
1.2.3 TIG kaynağı .....	6
2. TOZALTI VE ÖZLÜ TEL KAYNAK YÖNTEMLERİ .....	7
2.1 Tozaltı Kaynak Yöntemi .....	7
2.1.1 Tozaltı kaynağının kullanım alanları .....	8
2.1.2 Tozaltı kaynağı ile kaynak edilebilen metal ve alaşımları .....	9
2.1.3 Tozaltı kaynak yönteminin avantajları .....	9
2.1.4 Tozaltı kaynağının dezavantajları .....	11
2.2 Özlü Elektrodlarla Kaynak .....	11



**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
2.2.1 Özlü tel elektrodların üretimi .....	14
2.2.2 Özlü elektrodların avantajları .....	15
2.2.3 Özlü elektrodların dezavantajları .....	15
2.2.4 Özün görevleri .....	16
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	18
3.1 Üretim Tekniği .....	18
3.1.2 Tozaltı kaynak tozu .....	18
3.1.3 Özlü tel .....	18
3.2 Malzeme ve Ekipman .....	19
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR .....	25
5. GENEL SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMA PLANI .....	55
5.1 Çalışmanın Genel Sonuçları .....	55
5.2 Yenilikçi ve Ekonomik Etkiler .....	56
5.3 İleriye Dönük Çalışma Planı .....	57
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	58

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Benardos kaynak yöntemi .....	1
1.2 Zerener kaynak yöntemi .....	1
1.3 Slavianoff kaynak yöntemi .....	2
1.4 Örtülü elektrod ile yapılan kaynak yöntemi .....	2
1.5 Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması .....	3
1.6 Bir ark kaynak yönteminin temel konfigürasyonu ve elektrik devresi .....	4
1.7 MIG - MAG kaynak yönteminde kaynak bölgesi .....	5
1.8 TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi .....	6
2.1 Tozaltı ark kaynağı donanımı .....	8
2.2 Kendi kendini koruyan özlü tel ark kaynağı .....	12
2.3 İlave gaz korumalı özlü tel ark kaynağı .....	13
2.4 Özlü tel üretimi .....	14
2.5 Özlü tel kaynaklarında kullanılan ürünlerin kesit formları .....	15
3.1 Özlü tel üretim hattının şematik gösterimi .....	18
3.2 Özlü tel kenet yapısı ve öz doldurma kademeleri .....	18
3.3 MAGMAWELD GKG 350 kaynak makinesi .....	19
3.4 Çekme ve çentik darbe numunelerinin hazırlanış şeklinin şematik gösterimi ..	21
3.5 İki boyutlu yüzey profilometresi - MITUTOYO SurfTest-S .....	23

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.6 Mikro sertlik test cihazı - SHIMADZU HMV-2 .....	24
4.1 Tozaltı kaynak tozunun özlü tel ve masif tel ile kombinasyonlarına ait akım-zaman grafiği .....	25
4.2 Masif tel ve özlü tel ile gerçekleştirilen kaynaklara ait mikroyapı resimleri ..	27
4.3 Seramik altlık kullanılarak gerçekleştirilen kaynak işlemi .....	27
4.4 Seramik altlık kullanılarak ve seramik altlık kullanılmadan gerçekleştirilen kaynağa ait kesit görüntüleri .....	29
4.5 Seramik altlıklı ve seramik altlıksız kaynak yüzey görüntüleri .....	29
4.6 Fırınlamadan önce ve fırınlamadan sonraki özlere ait XRD sonuçları .....	30
4.7 Tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyonu ile gerçekleştirilen kaynak dikişinin sertlik gradyanı .....	31
4.8 0 çevrim ile 5 çevrim sonrasında toz partikül boyutundaki değişim.....	32
4.9 Partikül boyutunun tek pasoda kaynak dikişi penetrasyonuna, yüksekliğine ve genişliğine etkisi .....	36
4.10 Elektrod örtüsündeki oksijen miktarının kaynak profiline etkisi (Referans)...	36
4.11 Partikül boyutuna bağlı olarak çentik darbe dirençlerindeki değişim .....	37
4.12 İri ve ince partikül ile gerçekleştirilen kaynak metalinin mikroyapı görüntüsü .....	38

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.13 Doldurma oranına bağlı olarak kaynak metalindeki elementlerin değişimi .....	39
4.14 Doldurma oranı-final ürün et kalınlığı eğrisi .....	39
4.15 Doldurma oranına bağlı et kalınlığının değişimi .....	40
4.16 Yüzey ajanlarının korozyon hızları .....	41
4.17 Element miktarının kaynak metalindeki çatlama etkisi .....	42
4.18 Farklı analizlerdeki ürünlere ait sıvı penetrant testi .....	43
4.19 Özlü tel yüzey pürüzlülüğü ölçümü .....	43
4.20 Masif tel yüzey pürüzlülüğü ölçümü .....	44
4.21 Bakır kaplama kalitesi düşük masif tel .....	45
4.22 Bakır kaplama kalitesi yüksek masif tel .....	46
4.23 Özlü tel yüzeyi ve masif tel yüzeyi .....	47
4.24 Kaliteli yüzeye ve kalitesiz yüzeye sahip özlü tellerin stereo mikroskop ile çekilmiş yüzey resimleri .....	48
4.25 Farklı kimyasal analize sahip TKT+ÖT uygulamalarına ait sürtünme-aşınma test sonucu .....	49
4.26 1 numaralı ürünün mikro yapısı .....	50
4.27 2 numaralı ürünün mikro yapısı .....	51
4.28 3 numaralı ürünün mikro yapısı .....	52
4.29 4 numaralı ürünün mikro yapısı .....	53
4.30 5 numaralı ürünün mikro yapısı .....	54

## TABLOLAR DİZİNİ

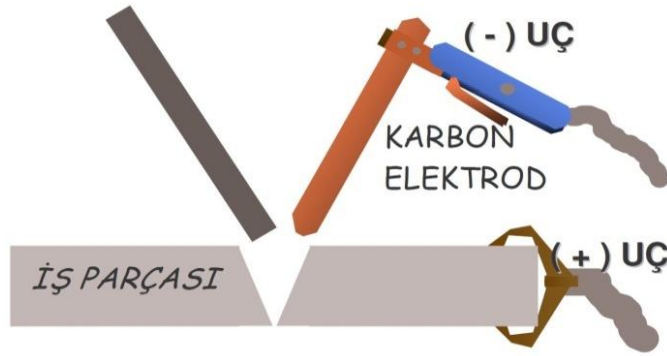
<u>Tablo</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Özlü tel elektrodla kaynak edilebilir metaller .....	16
2.2	MIG / MAG kaynağında kullanılan özlü tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler .....	17
4.1	1,20 mm çaplı özlü tel ve masif telin kaynak dikişinin kimyasal analizi .....	25
4.2	Tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyon türleri ve akım değerleri .....	26
4.3	Özlü tel ve masif tel için % verim ve ergime hızı değerleri .....	26
4.4	Ana malzeme ile seramik altlıklı ve seramik altlıksız kaynak dikişlerinin kimyasal kompozisyonu .....	28
4.5	Tozaltı kaynak tozunun 0 çevrim ve 5 çevrim sonundaki elek analizleri .....	31
4.6	0 çevrim ve 5 çevrim sonundaki tozaltı kaynak tozlarının XRF sonuçları .....	33
4.7	Hammadde tane boyutunun kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi .....	34
4.8	Tozaltı kaynak tozu partikül boyutunun kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi .....	35
4.9	Partikül boyutuna bağlı olarak ölçülen yayınabilir hidrojen değerleri .....	37
4.10	Kaynak dikişinde ölçülen ferrit / perlit oranı, inklüzyon miktarı ve ortalama tane boyutları .....	38
4.11	Yüzde doldurma oranı ve etkileşimleri .....	40
4.12	Özlü tel ile gerçekleştirilen kaynak malzemelerinde elementlerin mekanik özelliklere etkisi .....	42
4.13	Farklı kimyasal analize sahip ürünlere ait sertlik değerleri .....	48
4.14	Çevrim sayısına bağlı kayıp miktarları .....	49

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Kaynağın Tarihesi

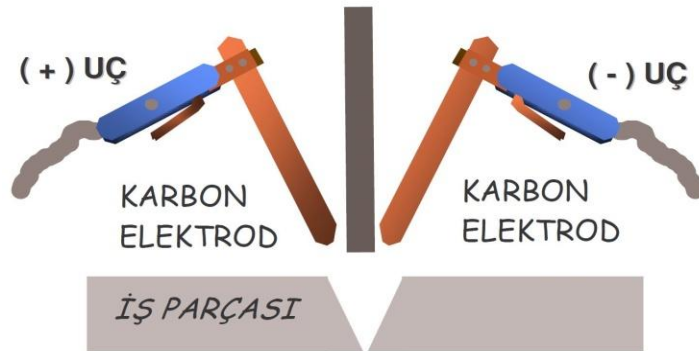
Metalik malzemeleri; ısı, basınç ya da ikisi birden kullanılarak ergitme gerçekleştirilip, çoğunlukla kaynak edilecek metalik malzeme ile aynı ya da metalik malzemeye çok yakın sıcaklıkta eriyebilen, ilave metal kullanılarak veya kullanılmadan yapılan birleştirme veya dolgu işlemine metal kaynağı denir (Komaç, 2009).

El ile yapılan elektrik ark kaynağının tarihçesine göz atıldığında, başlangıçta üç ayrı yöntem karşımıza çıkar. Bunların en eskisi (1885) Benardos kaynak yöntemidir (Şekil 1.1.). Benardos karbon bir elektrod ile iş parçası arasında ark oluşturmuş ve oksiasetlen kaynağında olduğu gibi bir tel elektrod kullanarak kaynak yapmıştır (Gedik Eğitim Vakfı, 1991).



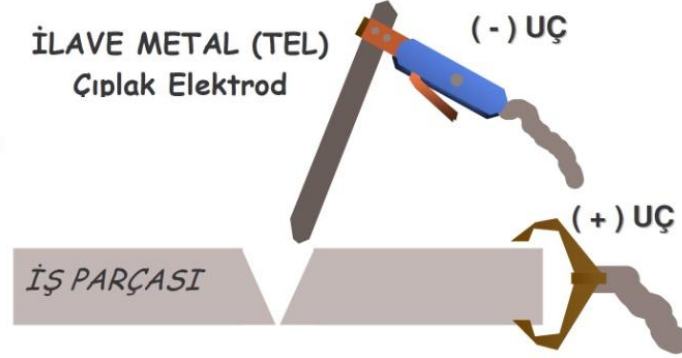
Şekil 1.1. Benardos kaynak yöntemi (Komaç, 2009).

Daha sonraları 1889 yılında Zerener; geliştirdiği yöntemde, Şekil 1.2 'de görüldüğü gibi elektrik arkını iki karbon elektrod arasında oluşturmuş ve iki elektrod arasında bulunan manyetik bir bobin yardımı ile de arkın parçaya doğru üflenmesini sağlamıştır. Bu yöntemde de ayrıca bir kaynak teline gerek duyulmuştur (Gedik Eğitim Vakfı, 1991).



Şekil1.2. Zerener kaynak yöntemi (Komaç, 2009)

1889 yılında Slavianoff günümüzdeki elektrik ark kaynağının temelini oluşturan yöntemi geliştirmiştir. Slavianoff; yönteminde (Şekil 1.3), karbon elektrod yerine çıplak metal bir elektrod ile iş parçası arasında ark oluşturulmakta ve ark sıcaklığında eriyen elektrod kaynak ağzını doldurmaktadır (Gedik Eğitim Vakfı, 1991).



Şekil 1.3.Slavianoff kaynak yöntemi (Komaç, 2009).

Bu yöntemler ile elde edilen kaynak dikişleri atmosferdeki oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korunmadığı için düşük mekanik özelliklere sahip olmaktadır (Gedik Eğitim Vakfı, 1991).

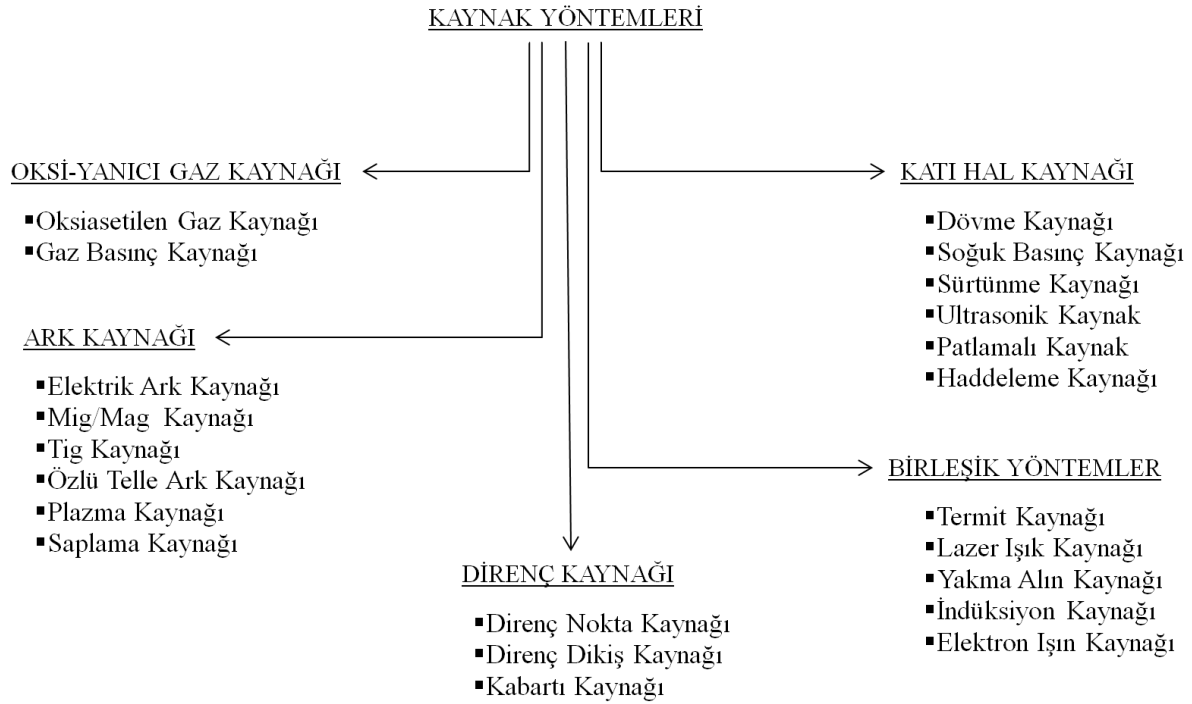
Kaynak banyosunun atmosferin olumsuz etkilerinden korunması, İsveçli Oscar Kjelberg'in 1904 senesinde ilk örtülü elektrodu (Şekil 1.4) geliştirmesi sonucunda mümkün olabilmektedir. Bu büyük buluş, kaliteli ve güvenceli kaynak bağlantılarının yapılabilmesinin zeminini hazırlaması nedeni ile Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra kaynak tekniğinin ilerlemesini sağlamış ve tamir yöntemi olmanın yanı sıra üretim aracı haline de gelmiştir. Bu yıllar, özellikle ark ve gaz kaynağı yöntemlerinin gerek birbirleri ve gerek diğer birleştirme yöntemleri ile mücadele ettiği yıllardır. Bu iki taraflı mücadeleyi kazanma çabası zamanla işbirliğini doğurmuştur (Gedik Eğitim Vakfı, 1991).



Şekil 1.4 Örtülü elektrod ile yapılan kaynak yöntemi (Komaç, 2009).

## 1.2. Kaynak Yöntemleri

Kaynak türlerini; yapılış biçimi, kullanılan elektrodlar ve koruyucu olarak kullanılan materyalleri sebebiyle birçok farklı sınıfa ayırmak mümkündür. Günümüz teknolojisinde çok fazla kaynak türü ile karşılaşmak mümkündür. Başlıca kaynak yöntemleri Şekil 1.5 'de gösterilmiştir (Vural, 2003).



Şekil 1.5. Kaynak yöntemlerinin sınıflandırılması (Vural, 2003).

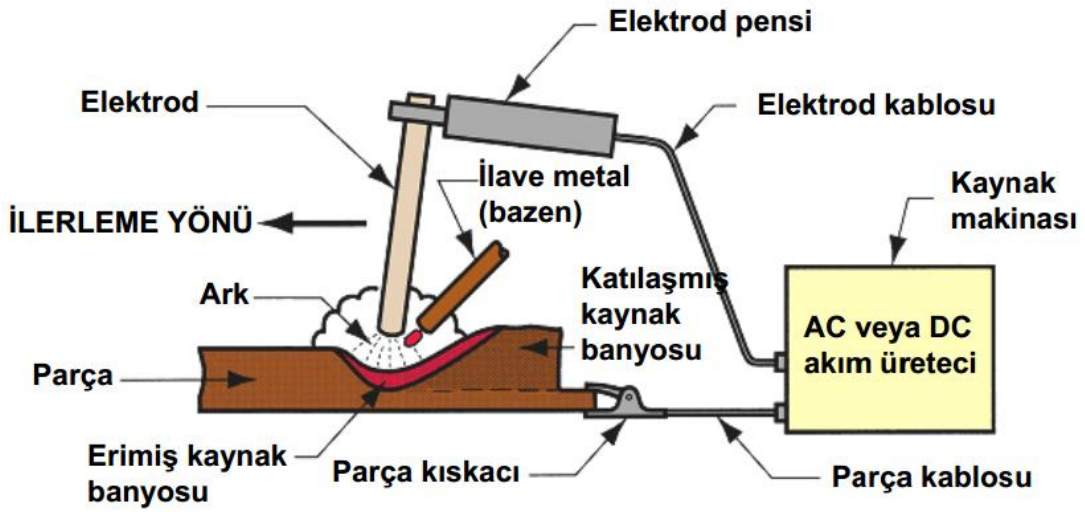
Genelde kaynak yöntemleri, eritme kaynağı ve katı hal (faz) kaynağı olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Eritme kaynağında ısı kullanılarak ana metal eritilir. Çoğu eritme kaynağında, işlemi kolaylaştırmak ve bağlantının dayanımını artırmak için erimiş banyo içerisine dolgu metali ilave edilir. Söz konusu bu yöntem; ark kaynağı, direnc kaynağı, oksiyanıci gaz kaynağı, elektron ışını kaynağı, lazer ışını kaynağı, elektrocuruf kaynağı ve termit kaynağı gibi farklı yöntemleri içermektedir. Katı hal kaynağı ise eritme işlemi yapılmadan ve dolgu metali kullanılmadan, sadece basınç veya ısı ve basınç yardımıyla parçaların birleştirilmesi işlemidir. Eğer bu yöntemde ısı kullanılması gerekiyorsa metal sıcaklığı erime sıcaklığının altında tutulmalıdır. Katı hal kaynağı; difüzyon kaynağı, sürtünme kaynağı, ultrasonik kaynak, haddeme kaynağı ve patlatma kaynak gibi farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir (Özen Makine, 2014).



### 1.2.1. Elektrik Ark Kaynağı

Elektrik ark kaynağında kaynak işlemi için gerekli olan ısı, örtülü elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde elde edilir. Elektrik ark kaynağında genellikle elektrot negatif (katot), iş parçası pozitif (anot) kutbu oluşturur. Bu durumda elektrotun erimesi ve ark sütunu boyunca damlacıklar halinde hareket ederek iş parçasına geçmesi katodik leke tarafından üretilen ısı ile, iş parçasının ısınması ise anodik krater tarafından sağlanır. Elektrik ark kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 1.6 'da gösterilmektedir. Çalışma esnasında etrafa yayılan ve kaynak işlemi için kullanılan ısı ile ark huzmesi tarafından üretilen ısı denge halindedir. %15 oranından ışık enerjisine sahip olan bu arktan yayılan ışınları; parlak ışınlar, ultraviyole ışınları ve enfraruj ışınları (mor ötesi ve kırmızı öncesi) oluşturmaktadır (Sadık, 2010).

Kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, örtü maddesinin yanması ve ayrışması ile oluşan gazlar tarafından atmosferin zararlı etkilerinden korunur. Ergimiş örtü maddesinin oluşturduğu cüruf, kaynak banyosundaki ergimiş kaynak metali için ek bir koruma sağlar. İlave metal (dolgu metali), tükenen elektrotun çekirdek telinden ve bazı elektrotlarda da elektrot örtüsündeki metal tozları tarafından sağlanır. Elektrik ark kaynağı sahip olduğu avantajları nedeniyle metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak yöntemidir (Sadık, 2010).

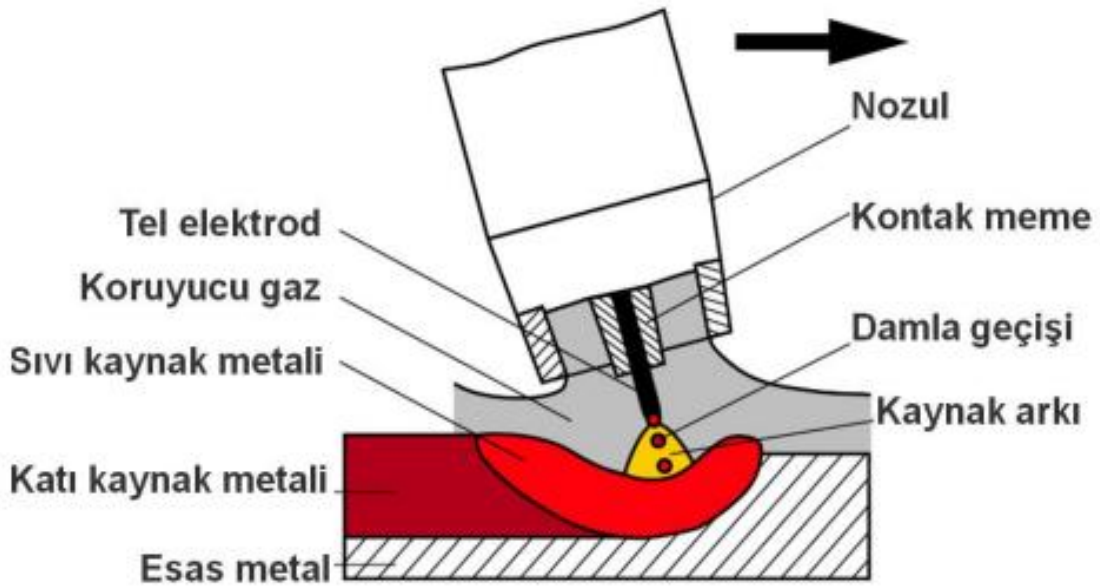


Şekil 1.6. Bir ark kaynak yönteminin temel konfigürasyonu ve elektrik devresi (Vural, 2003).

### 1.2.2. MIG/MAG Kaynağı

MIG kaynağı "Metal Inert Gas", genel olarak argon veya helyum atmosferi altında yapılmaktadır. Bu yöntemde, mükemmel bir ergime özelliğine ancak yüksek akım yoğunluğu ile çalışıldığı zaman erişilir (Sadık, 2010).

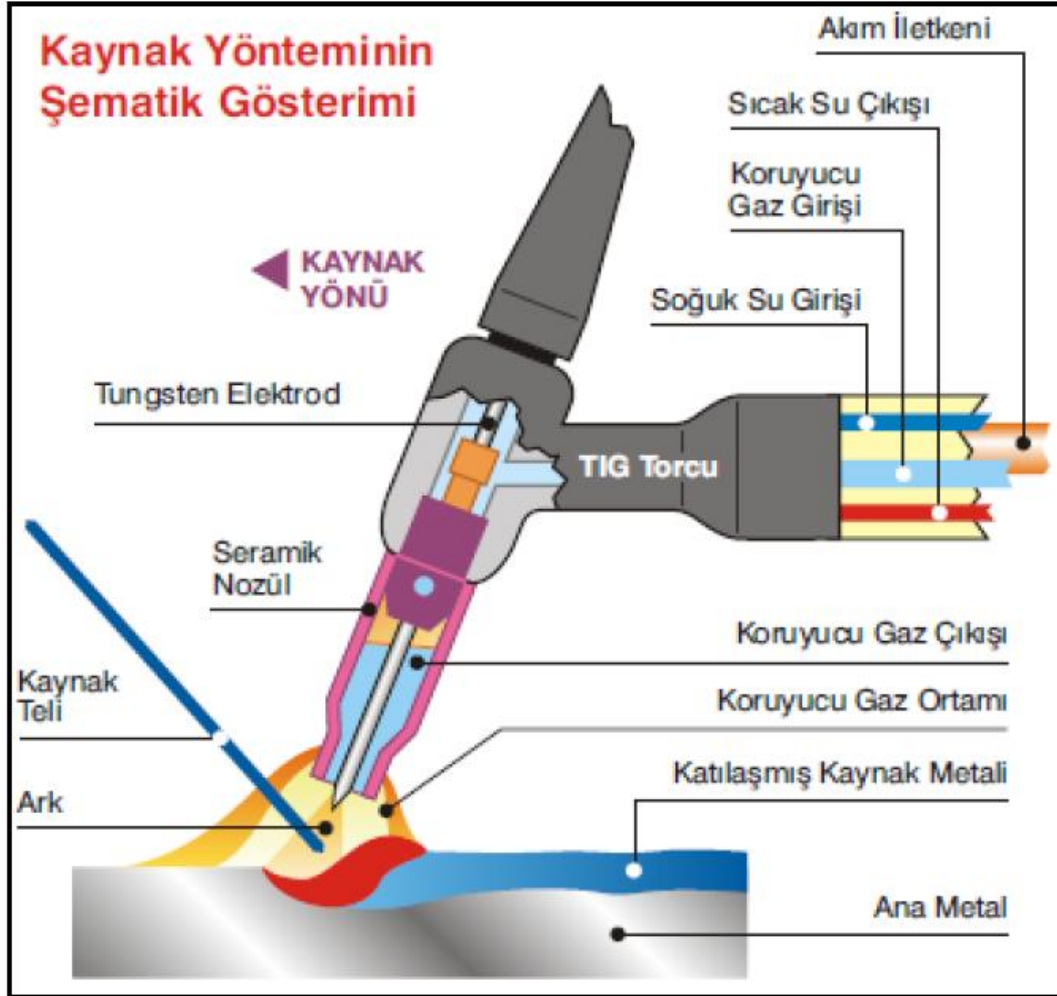
CO<sub>2</sub> atmosferi altında yapılan MAG kaynağının "Metal Active Gas", normal MIG kaynağından farkı sadece kullanılan gazdır. Kısaca, karbondioksit atmosferi altında kaynak gerçekleştirilirken ilave bir kaynak donanımına ihtiyaç yoktur. TIG ve MIG kaynaklarında kullanılan argon gazının pahalı olması, daha dűřük maliyetle elde edilen gazların kullanılması için yapılan araştırmalar sonunda en uygun gazın karbondioksit olduğu tespit edilmiştir (Eryűrek, 2003).



řekil 1.7. MIG - MAG kaynak yönteminde kaynak bölgesi (Tűlbenti, 1990).

### 1.2.3. TIG Kaynağı

TIG kaynak yönteminde ergimeyen tungsten elektrot ile kaynak edilen parça arasında elektrik arkı oluşur. Kaynak banyosu genellikle argon olan bir soy gaz ortamı tarafından korunur. Kaynak işlemi kaynak edilen parçaların sadece kendi aralarında ergitilmesi ya da ana metal ile benzer yapıya sahip çubuk şeklindeki ilave bir katkı metalinin kullanılması ile gerçekleştirilebilir (Modenesi vd Apolinario., Pereira, 2000).



Şekil 1.8. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi (Durgutlu vd Kahraman., Gülenç., Taskın, 2010)

## 2. TOZALTI ve ÖZLÜ TEL KAYNAK YÖNTEMLERİ

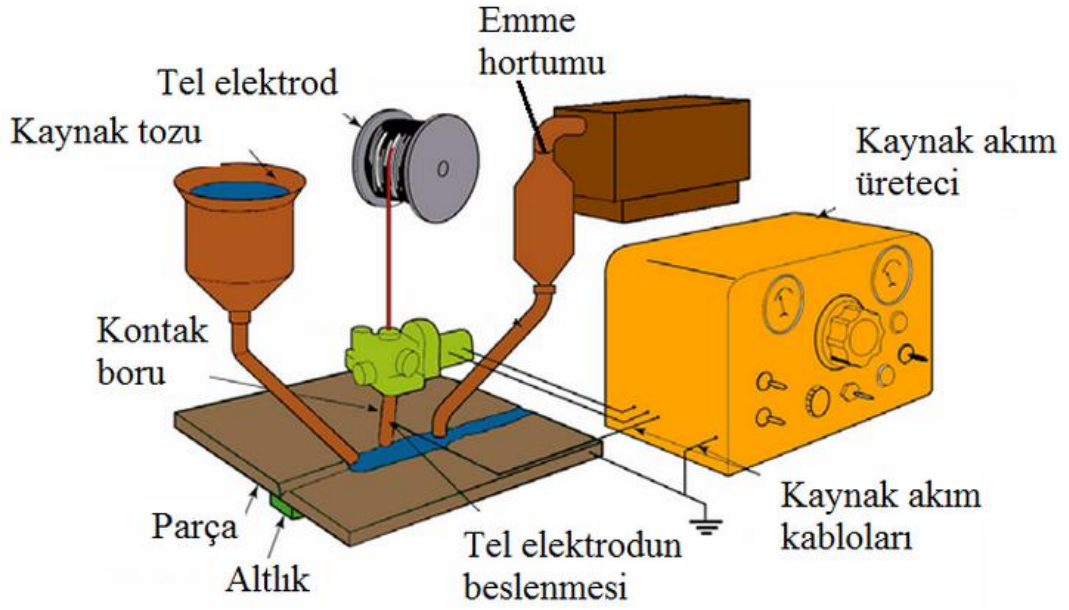
### 2.1. Tozaltı Kaynak Yöntemi

Amerikan Kaynak Topluluğu (AWS) tozaltı ark kaynağını şu şekilde yorumlar: “Tozaltı kaynak yöntemi, iş parçası ile metal tel elektrot / elektrotlar arasında, bir ark / arklar oluşturarak bunların ısıtılmasını sağlayan ve bu suretle birleşmelerini temin eden bir ark kaynağı prosesidir. Ark ve erimiş metal, tanecikli yapıya sahip bir toz örtüsü ile korunur. Basınç kullanılmaz. Dolgu metali, elektrot / elektrotlar ile toz ve metal taneciklerinden elde edilir.” (The Miller Electric MFG, 1982).

Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan arkın sıcaklığından; tel, toz ve esas metalin bir kısmı eriyerek istenilen birleşmeyi sağlarlar. Arkın sürekli olarak toz yığını altında yanması bu yöneme toz altı ark kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Tozaltı kaynak kafası olarak adlandırılan toz hunisi; tel ilerletme mekanizması ve ayar kumanda gurubu, özel raylar ve palet üzerinde hareket eden bir arabaya monte edilmiştir. Arabanın hızı kaynak işlemi boyunca sabit tutulur aksi halde dikiş homojen olmaz. Kaynak hızı ve araba hızı bağımsız parametreler değildir, iyi bir kaynak bağlantısı bunların beraberce ayarlanması sonucunda elde edilir (Tülbentçi, 1985).

Bazı hallerde toz altı kafası sabit tutulur ve parça belirli bir hızda hareket ettirilir. Silindirik kapların çevre dikişlerinde bu yöntem uygulanır. Burada; rulolar üzerinde döndürülen silindirik hale getirilmiş saclar veya spiral dikişli borular, sabit kafa ile sürekli oluk pozisyonunda kaynak edilirler (Tülbentçi, 1985).

Yüksek ergime gücüne ve kaynak hızına sahip olmakla birlikte çeşitli türden çeliklerin kaynağı için de çok uygun olan bu yöntem; kazan, profil, gemi ve basınçlı kap üretimi ile dolgu kaynağı işlemlerinde yoğun bir biçimde kullanılmaktadır (Kaluç, 2004).



Şekil 2.1. Tozaltı ark kaynağı donanımı (Kahraman, 2009).

### 2.1.1. Tozaltı Kaynağının Kullanım Alanları

Tozaltı kaynağının başlıca uygulama alanları şunlardır:

1. Kaynak Otomasyon Sistemleri
2. Çelik Konstrüksiyonlar
3. Gemi İnşaatı
4. Kazan, depo, tank (içten ve dıştan kaynaklar)
5. Açık ve kapalı profiller
6. Ağır makine imalatı
7. Boru kaynakları (yuvarlak, boyuna, içten, dıştan, spiral boru kaynakları)
8. Köprü, kreyn, vinç imalatı
9. Metal kaplama
10. Dolgu kaynakları

Tozaltı ark kaynağı düşük karbonlu çelik (< %0,3 C) varil ve pervazların kaynağı için çok uygundur. Ön ısıtma ve kaynak sonrası ısıl işlem uygulamaları ile orta karbonlu çelikler, alaşımlı çelikler, bazı dökme demirler, bakır alaşımları ve nikel alaşımları kaynaklanabilirler (Işıklar, 2009).

### **2.1.2. Tozaltı Kaynağı İle Kaynak Edilebilen Metal ve Alaşımları**

Normal yapı çelikleri, hafif alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, bakır ve bakır alaşımları bu yöntemle kaynatılabilirler. Alüminyum için uygun kaynak tozu son zamanlarda geliştirilmiş olmakla beraber henüz ticari uygulaması yoktur. Titanyum için de aynı şeyi söylemek mümkündür. Dökme demirin bu yöntemle soğuk kaynağı mümkün değildir. Yüksek ve orta karbonlu çelikler ile alaşımlı çeliklerin kaynağı da bu yöntemle yapılabilir ancak uygulamada tercih edilmemektedir. Deneysel olarak bakır alaşımları, nikel alaşımları ve hatta uranyumun kaynağında kullanılmıştır (Yavuz vd Özcan., Polat, 2005).

### **2.1.3. Tozaltı Kaynak Yönteminin Avantajları**

Tozaltı kaynağının avantajlarını şu başlıklar altında sunulabilir;

1. Yüksek kaynak gücü ve kaynak hızı
2. Derin nüfuziyet
3. Enerji ekonomisi
4. Elektrot ekonomisi
5. Düzgün görünüşlü (estetik) kaynak dikişi
6. Kaynak dikişi kalitesini kaynakçının bir faktör olarak etkimemesi
7. Ark kararlılığının yüksek olması
8. Özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaması
9. Sürekli kaynak yapılabilmesi
10. Birden çok tel ile kaynak yapılabilmesi (Soncu, 2009; Akbaş, 2006).

#### **2.1.3.1. Yüksek Kaynak Gücü ve Kaynak Hızı**

Tozaltı kaynak yönteminde 200 ile 5000 Amper arasında akım şiddeti ve 6 ile 300 m/saat arasında kaynak hızları kullanılır. Bu bakımdan, tozaltı kaynak yöntemi alışılmış kaynak yöntemleri ile karşılaştırılmayacak derecede yüksek bir ergime gücü ve kaynak hızına sahiptir (Anık ve Tülbentçi, 2000).

### **2.1.3.2.Derin Nüfuziyet**

Yöntemin derine işleme kabiliyeti iyi olduğundan daha dar ve daha az derin kaynak ağızları kullanılabilir; bu da, daha az kaynak malzemesi kullanılması anlamına gelir. Kaynak akım şiddetinin yüksek olması nedeni ile bu yöntemde ağız açılmadan bir paso ile 18 mm ve ağız açılarak da iki paso ile 180 mm kalınlığındaki parçalar rahatlıkla kaynak edilebilir (Soncu, 2009).

### **2.1.3.3.Enerji Ekonomisi**

Tozaltı kaynak yönteminde kaynak bölgesini toz tarafından homojen bir şekilde örtülmesi sebebiyle elektrik enerjisi kaybı çok azdır. Örtülü elektrot ile yapılan elektrik ark kaynağında elektrik enerjisinin % 25'i, tozaltı kaynağında ise % 68'i doğrudan kaynak için kullanılmaktadır. Bu nedenle tozaltı kaynak yönteminde büyük bir enerji ekonomisi sağlanmaktadır (Anık ve Tülbentçi, 2000).

### **2.1.3.4.Elektrot Ekonomisi**

Tozaltı kaynak yönteminde sıçrama kaybının olmayışı ve tel şeklinde elektrot kullanılması, koçan kaybını önlemektedir. Tozaltı kaynağında yüksek akım yoğunluğu nedeniyle ergiyen metalin 2/3'ünü esas metal ve 1/3'ünü ilave metal oluşturur. Bu sebepten ilave metal sarfiyatı oldukça azdır (Anık ve Tülbentçi, 2000).

### **2.1.3.5.Yüksek Kaliteli Kaynak Dikişi**

Kaynak bölgesinin düzgün bir şekilde cürufle örtülmesi, emniyetli bir katılaşmayı sağlamaktadır. Kenarlarda yanma olukları görülmemekle birlikte kaynak formu düzgün çıkmaktadır. Kaynak metal, birleşme hatası ve cüruf kalıntıları bakımından da emniyetlidir (Anık ve Tülbentçi, 2000).

### **2.1.3.6.Kaynak Dikişi Kalitesine Kaynakçının Bir Faktör Olarak Etkimemesi**

Tozaltı kaynak yönteminde, elektro-mekanik ayar ve kontrol sisteminin varlığı, kaynakçı faktörünü ortadan kaldırmaktadır (Anık ve Tülbentçi, 2000).

### **2.1.3.7.Yüksek Ark Kararlılığı**

Ark bölgesinde buharlaşan cürufun oluşturduğu atmosfer, arkın sürekliliğinin devamını sağlamakta ve çok yüksek hızlarda dahi yöntemin uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır (Kılınçer,1998).

### **2.1.3.8.Özel Koruyucu Donanımlara Gerek Duyulmaması**

Ark, tozun altında olduğundan zararlı ışınların etkisi olmaz. Gaz ve toz oluşumu da çok azdır. Bu nedenle özel koruyuculara gerek yoktur (Soncu, 2009).

### 2.1.3.9.Sürekli Kaynak Yapılabilmesi

Tozaltı kaynak torcunun özel raylar veya paletler üzerinde hareket eden bir tertibat üzerinde olması sayesinde, hızı istenilen değerde sabit tutulabildiğinden sürekli kaynak yapma imkânı vardır. Ayrıca çevresel kaynak ve helisel kaynak yapılması da mümkündür (Akbaş, 2006).

### 2.1.3.10. Birden Çok Tel ile Kaynak Yapılabilmesi

Tozaltı kaynak yönteminde; paralel, seri ve tandem yöntemiyle veya bant elektrot kullanarak birden çok tel kullanılabilir. Bu sayede kaynak hızını, transfer olan metal miktarını ve kaynak verimini yükseltmek mümkündür (Akbaş, 2006).

### 2.1.3 Tozaltı Kaynağının Dezavantajları

1. Yöntemin ilk yatırım maliyeti yüksektir.
2. Tozaltı ark kaynak tozları havadan nem almaya eğilimlidir, bu da kaynakta gözeneğe neden olur. Bu nedenle tozları kurutma ihtiyacı ortaya çıkar.
3. Tozlar kaynaktan önce 2-3 saat 300 °C 'de ısıtılmalıdır.
4. Yüksek kalitede kaynaklar elde edebilmek için ana metal düzgün olmalı, yüzeyinde yağ, pas ve kirlilikler olmamalıdır.
5. Tozaltı kaynağı 5 mm'den ince malzemelerde yanma yapabileceği için genellikle uygun değildir.
6. Yöntem özel bazı uygulamalar hariç, düz, yatay pozisyondaki alın kaynakları ve köşe kaynakları için uygundur (Kahraman ve Gülenç, 2009).

## 2.2 Özlü Elektrotlarla Kaynak

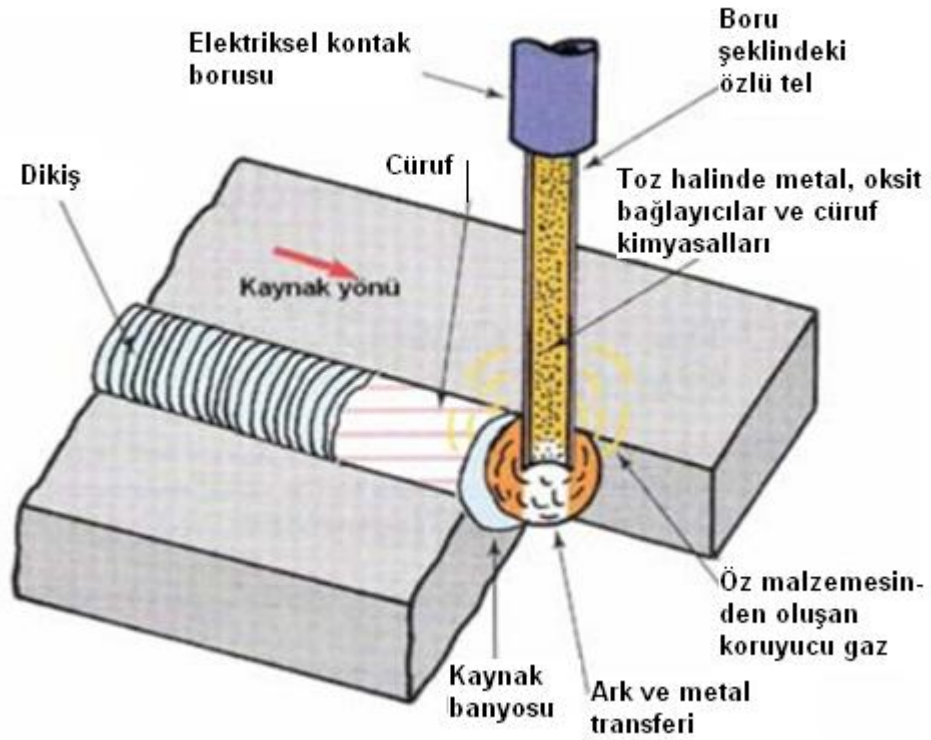
Özlü tel ile kaynak yöntemi, esas olarak normal masif elektrotla MIG/MAG kaynağında olduğu gibi dolu tel yerine; içi, "öz" diye adlandırılan ve örtülü elektrotların örtüsünün görevini gören minerallerle doldurulmuş, boru şeklinde elektrod kullanılan gazaltı kaynak yöntemidir (Ceyhun vd Elöve.,Tatlises., Tunca, 2007).

Özlü tel elektrot ile kaynak uygulamalarında, boru şeklinde ergiyen elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan ark, kaynak için gereken ısıyı sağlar; iyonize olmuş gaz ortamında yol alan elektrik akımı ark oluşturur. Kaynak bölgesinde ergimiş metal ya dışarıdan uygulanan bir koruyucu gaz örtüsü ya da özün kompozisyonu sonucu ortaya çıkan bir koruyucu gaz atmosferi tarafından korunur. Burada öz, örtülü elektrottaki örtünün görevini üstlenmektedir. Ergimiş elektrot metali, ark tarafından kaynak banyosuna taşınır ve katılan banyo üzerinde de kolaylıkla temizlenebilen bir cüruf tabakası oluşur (Tülbentçi, 1990).

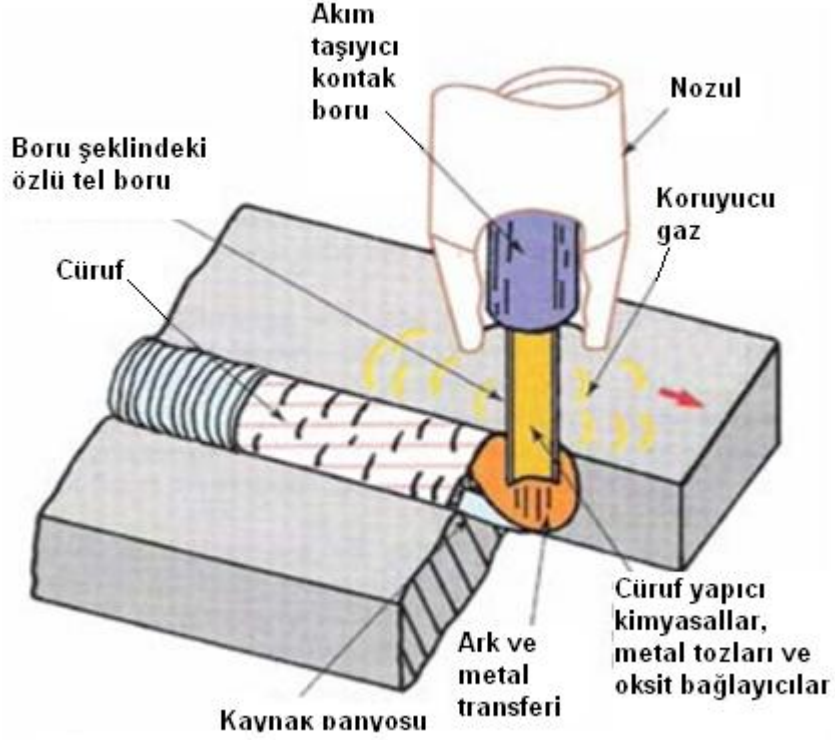


Özlu tel elektrodlar, iç kısımlarına yerleştirilen ve toz halindeki çeşitli bileşenlerden oluşan özün bileşenlerinin amaca göre değiştirilebilmesi sayesinde çok yönlü kullanım özelliklerine sahiptirler. Günümüzde değişik kaynak yöntemleri ve değişik malzemeler için geliştirilmiş olan çeşitli özlu elektrodlar bulunmaktadır (Sönmez, 2009).

Yöntem sadece özlu tel elektrod ile veya elektroda ilaveten koruyucu gaz ile beraber olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Bu noktada örtülü elektrod ile gaz altı kaynak yöntemlerine benzerlik göstermektedir fakat bu yöntemlere karşı sağladığı üstünlükler tercih edilme nedeni olmuştur (Sönmez, 2009).



Şekil 2.2. Kendi kendini koruyan özlu tel ark kaynağı (Burhan, 1989).



Şekil 2.3. İlave gaz korumalı özlü tel ark kaynağı (Burhan, 1989).

Özlü tel elektrodla kaynakta, elektrod seçiminde şu hususlar göz önünde bulundurulur (Tülbentçi, 1990):

- Esas metalin mekanik özellikleri,
- Esas metalin kimyasal bileşimi,
- Kaynak pozisyonu,
- Kaynak akımı,
- Kaynak ağız tasarımı,
- Parça kalınlığı ve geometrisi,
- Kullanma koşulları,
- İmalat ve işletme koşulları,

Özlü tel ile kaynak yöntemi, dolgu ve çok amaçlı kaplamalar için çok uygun özelliklere sahip bulunmaktadır. Kaynak dikişi bileşiminin, öze ilave edilen elementlerle ortaya çıkarılabilmesi; kaynak ilave malzemelerinde üretimden gelen sınırlamaları ortadan kaldırmaktadır.

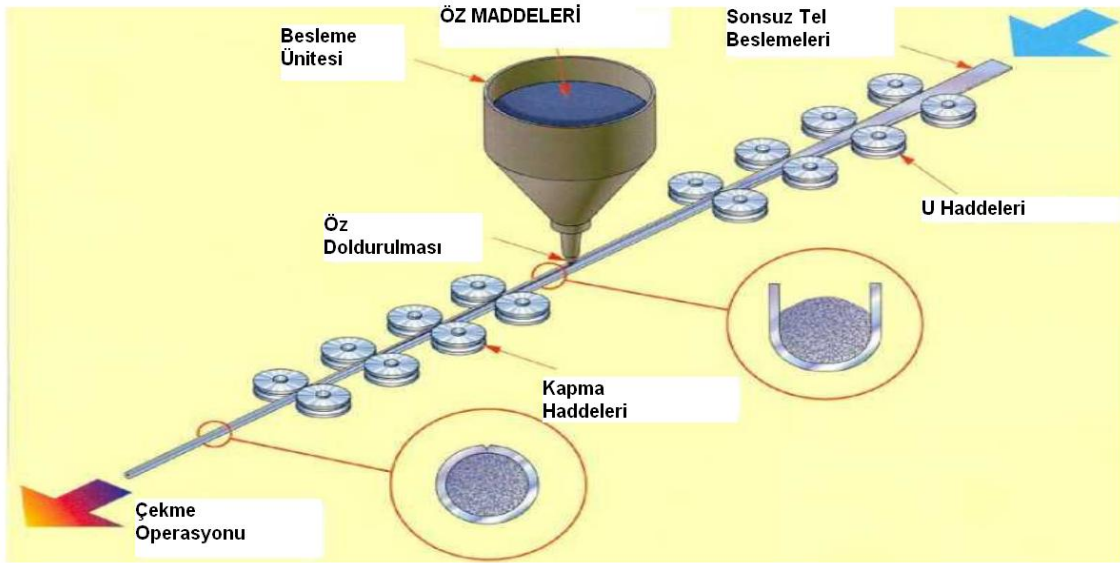
Bu özellik nedeniyle yöntem (Ceyhun vd Elöve., Tatlıses., Tunca, 2007):

- Kimyasal etkilere karşı geniş yüzeylerin kaplanması,
- Aşınmaya karşı sert dolgu tabakaları oluşturulması,
- Aşınmış ya da tahrip olmuş parçaların eski boyut ve özelliklerinin kazandırılması amacıyla yapılan işlemlerde yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bu amaçla hafriyat makineleri kazıcı uçları, kazıcı kepçeler, maden ocakları, çimento fabrikaları, merkezi elektrik santralleri gibi yerlerde kullanılan konveyör vidaları, demir-çelik fabrikaları, maden ve taş işleme tesislerinde kullanılan maden kırıcılar, demir-çelik tesislerinde kullanılan sinter karıştırıcılar gibi malzemelerin sert dolgu kaynağında özlü telle kaynak yöntemi uygulanmaktadır. Genellikle gemi, otomobil ve makine yapımında, çelik yapılarda, köprülerin, boru hatlarının ve küresel gaz depolarının yapımında kullanılmaktadır (Gülsöz, 2000).

### 2.2.1. Özlü Tel Elektrodların Üretimi

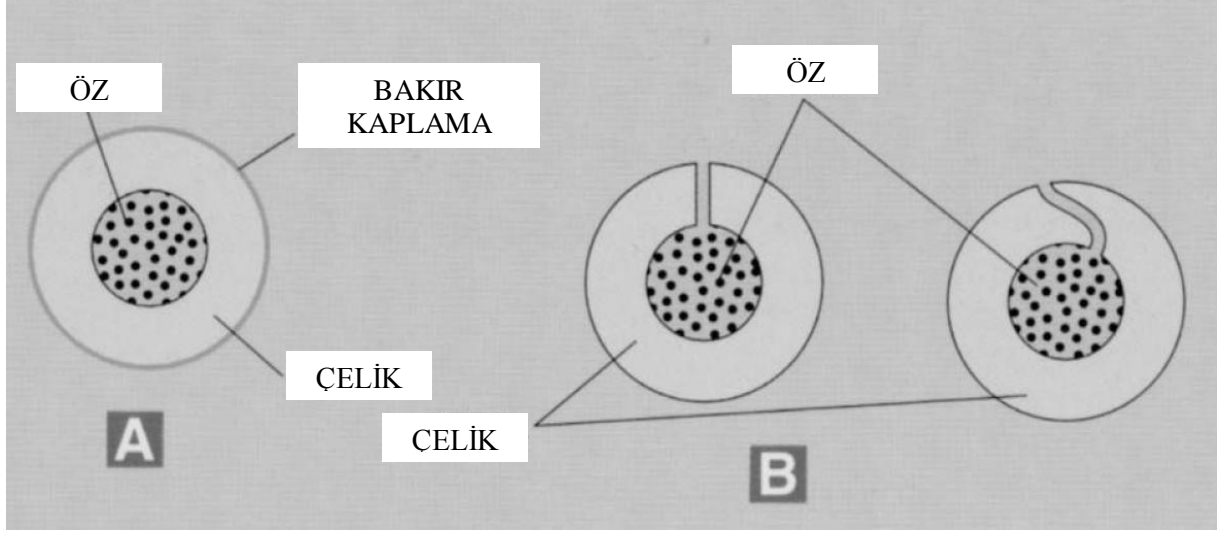
Özlü elektrotların üretimi iki şekilde gerçekleştirilir. Birinci yöntemde; 10 mm kalınlığında 0,4 mm genişliğindeki ince çelik şerit haddelenerek U kesit şeklinde kıvrılır ve içine ölçülen miktarda öz beslemesi yapılır. Özü oluşturan maddelerin homojen olarak karıştırılması yoğunluğun değişmemesi için önemlidir. U formundaki içi öz dolu şerit kapatılarak istenilen ölçülerde üretilir. Genellikle 1,2 mm ile 2,1 mm çapında tel elektrotlar üretilir. Üretim hızı 25m/dak. ya varan özlü tel üretim makineleri bulunmaktadır (Sönmez, 2009).



Şekil 2.4. Özlü tel üretimi (Carry, 1998).

İkinci yöntemde ise; genellikle 25,4 mm çapında bir ucu kapalı boruların içine açık olan ucundan toz beslemesi yapılır. Tozun borunun içinde homojen dağılması, boşluk bırakmaması amacıyla boruya titreşim uygulanır. Boru doldurulduktan sonra açık uç kısmı kapatılarak, istenilen ölçülerde üretilir (Sönmez, 2009). Üretilen bu elektrotlar; kenetsiz tip veya boru tipi olarak isimlendirilir. Kullanılacak şerit ve boru istenilen alaşımdan seçilebilir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında dekaplan ve ferro alaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin deoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilir (Tülbentçi 1990). Kenetli tip özlü elektrotların avantajı içerisinde öz dökülmemesi buna karşın dezavantajı ise karmaşık şekillerinden dolayı üretim maliyetlerinin

yüksek olmasıdır. Kenetli tip elektrotlar daha çok sert dolgu kaynağında tercih edilmektedir (Sönmez, 2009).



Şekil 2.5. Özlü tel kaynaklarında kullanılan ürünlerin kesit formları (Vallant, R. and Cerjak, H., 2014)  
a) Boru tipi özlü tel b) Kenetli tipi özlü tel (solda alın altına, sağda bindirme).

Özlü tel elektrotlar, MIG-MAG donanımı ile gaz kullanarak veya kullanmadan uygulanmaktadır. Son yıllarda bu tür elektrotların tozaltı yönteminde de kullanılan türleri geliştirilmiştir (Tülbentçi, 1998).

### 2.2.2. Özlü Elektrotların Avantajları

- Yüksek bir ergime hızına sahiptirler, dolayısı ile daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler,
- İnce çaplı elektrotlar kullanarak her pozisyonda kaynak yapılabilir,
- Bazı tür özlü elektrotlar koruyucu gaz gerektirmezler, bu da donanımın basitleşmesine olanak sağlar,
- Örtülü elektrotların bütün üstünlüklerine sahiptir buna karşın, koçan kaybı elektrod değiştirme zaman kaybı gibi sınırlamaları yoktur (Tülbentçi, 1998).

### 2.2.3. Özlü Elektrotların Dezavantajları

Tüm bu avantajlarına karşılık özlü elektrotla kaynağın en temel dezavantajı yalnız demir esaslı malzemeler ile nikel esaslı alaşımlarda kullanılmasıdır.

- Temizlenmesi gereken cüruf ayrı işlem gerektirir ve korozyon oluşumunu engellemek için boyamadan önce kaldırılmalıdır (Jeffus, 2004).
- Kaynak donanım ve elektrod fiyatları pahalıdır. Üretim kapasitesi artışına bağlı olarak verim artışı fiyat dengesini sağlar.

Özlü telle ark kaynağı yöntemi; düşük ve orta karbonlu çelikler, düşük alaşımlı yüksek dayanımlı çelikler, tavllanmış ve temperlenmiş çelikler, bazı paslanmaz çelik tipleri ve dökme

demirlerin kaynağında kullanılır. Kaynak edilebilir malzemeler aşağıda gösterilmiştir (Tülbentçi, 1998).

**Tablo 2.1.**Özlu tel elektrodla kaynak edilebilir metaller (Charry, 1998).

<b><u>Ana Metal</u></b>	<b><u>Kaynak Edilebilme Durumu</u></b>
Dökme demir	Özel elektrod ile
Düşük karbonlu çelikler	Evet
Düşük alaşımlı çelikler	Evet
Yüksek ve orta karbonlu çelikler	Evet
Alaşımlı çelikler	Evet
Paslanmaz çelik (Bazı tipleri)	Evet
Nikel alaşımları	Belirli tipleri için evet

#### **2.2.4 Özün Görevleri**

- Kaynak metalinin kimyasal bileşimini ayarlayarak arzu edilen mekanik ve metalurjik özellikleri ve korozyon direncini sağlamak,
- Ekonomik veya teknolojik bakımdan tel haline getirilme olanağı olmayan bileşimlerde kaynak teli üretimine olanak sağlamak,
- Gerekliğinde kaynak banyosunu ve kaynak bölgesini atmosferin olumsuz etkilerinden korumak,
- İçerdiği dekapanlar yardımı ile kaynak banyosunda reaksiyonlar oluşturarak istenmeyen katışıkları (gayri safiyetlerin) miktarını en aza indirmek,
- Dikiş üzerinde bir cüruf oluşturarak, kaynak dikişine uygun bir biçim vermek ve soğuma sırasında kaynak dikişini korumak,
- Arkı dengeleyerek, sakın yanmasını sağlamak ve sıçrantıyı en aza indirmek (Tülbentçi, 1998).

Özlu elektrodları oluşturan öz maddeleri ve alaşım birleşimleri, örtülü elektrodun farklı olarak elektrodun iç kısmında yer alır. Özün kullanım amacı örtülü elektrodteki örtü ile aynıdır (Vaidya, 1989).

Öz bileşenleri fonksiyonel olarak 5 sınıfa ayrılır (Vaidya, 1989):

1. Arkı stabile edenler
2. Deoksidasyonu sağlayanlar
3. Gaz oluşturanlar
4. Cüruf oluşturanlar
5. Alaşımlama yapanlar

İstenilen kaynak özellikleri ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişik öz maddeleri, gerekli oranlarda karıştırılarak toz halinde öz maddesi oluşturulur. Öz hazırlanırken içeriğini oluşturan maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önüne alınmalıdır. Özü oluşturan maddelerin detaylı içeriğini üretici firmalar gizli tutarlar. Farklı elektrodlar

farklı öz içeriklerine sahiptir. Kendinden korumalı elektrodlar ile gaz korumalı elektrodları oluşturan öz maddeleri miktar olarak farklılık gösterir. Kendinden korumalı elektrodlarda öze daha fazla deoksidasyon ve gaz oluşturuucu madde katılır (Tülbentçi, 1998).

Özlu tel elektrodlar Tablo 2.2 'de görüldüğü gibi kullanılan özün türüne göre rutil, bazik ve metal özlu olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir (Tülbentçi, 1998).

**Tablo 2.2.** MIG/MAG kaynağında kullanılan özlu tel elektrod tipleri ve öz kısımlarını oluşturan bileşenler.

<b>Özlu Tel Elektrod Tipi</b>	<b>EN 758'e Göre Tanıtım Harfi</b>	<b>Mineral Bileşenler</b>	<b>Metalik Bileşenler</b>
Rutil tip, yavaş katılan cüruf	R	SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , MgO	Fe, FeMn
Rutil tip, hızlı katılan cüruf	P	SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , FeO, TiO <sub>2</sub>	Fe, FeMn, FeSi, FeTi
Bazik tip	B	TiO <sub>2</sub> , CaO,	CaF <sub>2</sub> , Fe, FeMn, FeSi
Metal tozu dolgulu tip	M	-	Fe, FeMn, FeSi

Rutil öz, aynen rutil örtülü elektrodlarda olduğu gibi sakin ve yumuşak bir ark, daha akışkan bir kaynak banyosu sağlar ve düşük yüzey gerilimi nedeni ile tüm akım aralığı boyunca kaynak metali elektrod ucundan kaynak banyosuna spreyci arkı andıran biçimde ince damlacıklar durumunda geçer. Sıvı kaynak metali üstün bir ıslatma özelliğine sahiptir ancak bu akışkanlık tek taraftan kaynak durumunda kök paso çekimini zorlaştırdığından bu gibi durumlarda metal veya seramik altlık kullanılmasına gerek vardır (Tülbentçi, 1998).

Bazik özlu elektrodlar kaynak metalinin özellikle düşük sıcaklıklardaki gerek kaynak edildiği durumda ve gerekse de ısı işlem sonrası üstün tokluk özellikleri nedeni ile tercih edilirler (Tülbentçi, 1998).

Metal özlu elektrodların özünde arzulanan alaşımlamayı sağlayacak miktar ve türde metal tozları ile çok az miktarda arkı dengeleyen maddeler bulunur. Bu tür özlu elektrodlar ile kaynak sonrası dikiş üzerinde cüruf oluşmadığından pasoları üst üste çekmek olasıdır ve -40 °C' ye kadar tokluğunu koruyan kaliteli kaynak dikişleri elde edilmektedir. Metal özlu elektrodlar son yıllarda alaşımlı çıplak tel elektrodlara ciddi bir rakip haline gelmişlerdir (Tülbentçi, 1998).

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Üretim Tekniği

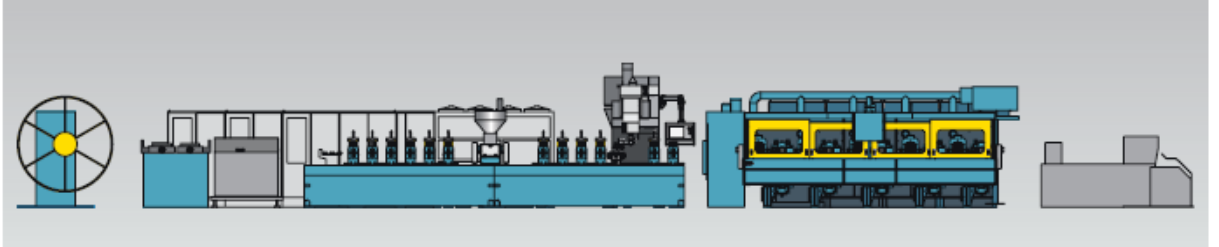
Bu başlıkta; kaynak sarf malzemelerinin hazırlanış şekilleri, farklı kriterlere göre bileşimi belirlenen kaynak tozlarının hazırlanması, özlü tel üretiminin genel şartları ve yüzey işlemlerinin detaylarına yer verilmiştir.

##### 3.1.1 Tozaltı Kaynak Tozu

Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş. bünyesinde yer alan 10 ton/gün kapasiteli Tozaltı Kaynak Tozu Üretim Hattı'nda üretimler gerçekleştirilmiş olup, imalatta aglomerasyon yöntemi tercih edilmiştir. Bu hatta; reçetesi hazırlanan kuru karışımlar önce karıştırılıp daha sonra 100 °C'de 2 saat kurutulduktan sonra reçetenin cinsine bağlı olarak 400-850 °C'de, yine reçetenin cinsine bağlı olarak 2-5 saat pişirilir. Pişirilen ürünlerin fiziksel, kimyasal ve metalurjik özellikleri kontrol edilip onaylandıktan sonra 25 kg'lık ambalajlar halinde paketlenerek depoya teslim edilir.

##### 3.1.2 Özlü Tel

Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş. bünyesinde yer alan 15 ton/gün kapasiteli Özlü Tel Üretim Hattı'nda üretimler gerçekleştirilmiştir. Özlü tel üretim hattı Şekil 3.1 'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.1. Özlü tel üretim hattının şematik gösterimi

Bu doktora tez çalışmasında ise kenetli özlü tel ürünleri ile testler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2, özlü tel kenet yapısı ve öz doldurma işleminin kademelerini göstermektedir.



Şekil 3.2. Özlü tel kenet yapısı ve öz doldurma kademeleri.



### 3.2 Malzeme ve Ekipman

Özlu tel, tozaltı kaynak tozu ve bu ikilinin kombinasyonlarının kimyasal analiz dolgularında, mekanik ve metalurjik testlerinde altlık malzeme için yaygın olarak tercih edilen St-52 (S355) kalite 300x180x20 mm ve St-37 (S235) kalite 300x70x10 mm ebatlarındaki düşük karbonlu çelik malzemeler kullanılmıştır. 300x180x20 mm 'lik malzemeler ile birleştirme kaynağı yapılmış olup; çekme, çentik darbe, mikro yapı ve kaynak metalinin kimyasal bileşim özellikleri incelenmiştir. 300x70x10 mm ebatlı malzemelere ise tek pasolu kaynak yapılmış olup dikiş yüksekliği, denişliği ve penetrasyon değişimleri, ısı tesiri altında kalan bölgedeki (ITAB) ve kaynak metalindeki özellikleri incelenmiştir.

Kaynak işlemleri; özlu teller için MAGMAWELD GKG 350 kaynak makinesi, tozaltı kaynağı için, OERLIKON SG 100 üç ünitesi ve Solid State LT toz altı kaynak traktörü kullanılmıştır. Özlu tel kaynağında kullanılan kaynak makinesi Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. MAGMAWELD GKG 350 kaynak makinesi.

Ana malzeme ve kaynak dikişlerinin kimyasal kompozisyonları ARL 4460 Optik Emisyon Cihazı ile ölçülmüştür.

Aglomerasyon analizleri, özlu tel kuru karışım analizleri ve kaynak metalindeki oksit analizleri ARL ADVANTX XRF Cihazı ile tespit edilmiştir.

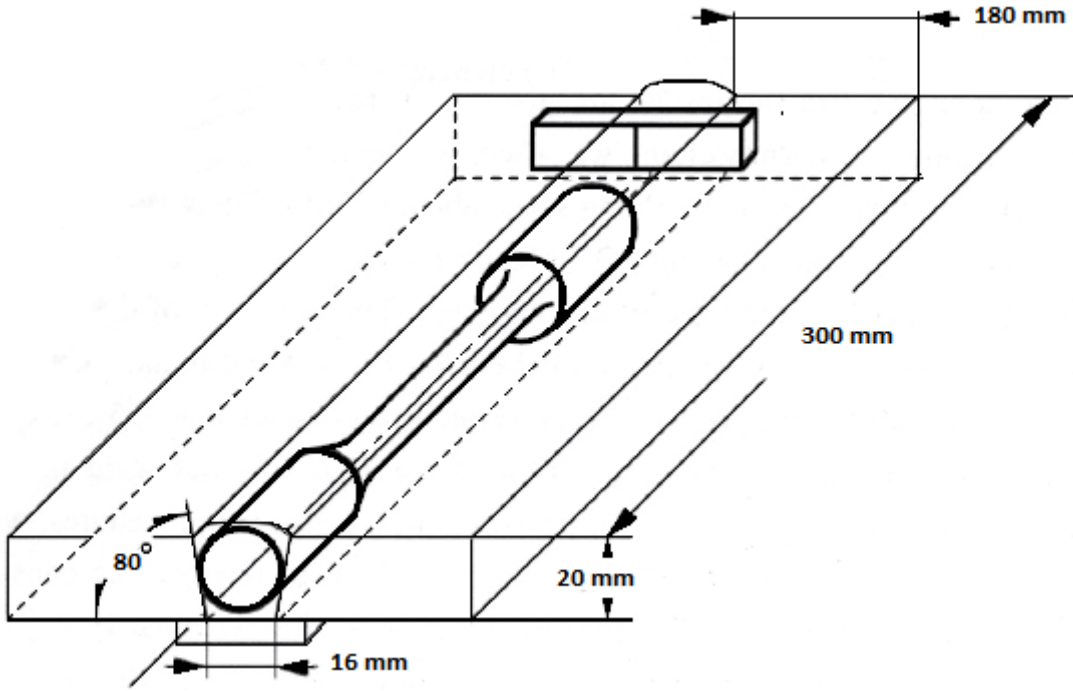


Aglomerasyon ve özlü tel kuru karşıma ait elek analizleri Kaltest AG070 marka motorlu elek analiz cihazı ile belirlenmiştir. Yine aynı girdilere ait karbon ve kükürt değerleri METLAB C-S DETERMINATOR cihazı ile karakterize edilmiştir.

Kaynakların makro resimleri Nikon SMZ 1000 ve mikro resimleri Nikon LV 150 cihazı ile çekilmiştir. Kuru karışım ve kaynak metallerine ait nem değerleri Sortorus MA 30 Moisture Analyzer ile tespit edilmiştir.

Yayınabilir hidrojen miktarları EN ISO 3690 standardına uygun olarak yapılmıştır. Yayınabilir hidrojen testi yapılmadan önce testi yapılacak tozlar 350°C' de 2 saat kurutulmuştur. Hazırlanmış olan üçlü deney parçası EN ISO 3690'da belirtildiği gibi hazırlık yapılarak kaynatılmıştır. Kaynak işlemi esnasında kaynak hızı, merkez deney parçası üzerine yığılmış kaynak metali ağırlığı ~4 gr. olacak şekilde ayarlanmıştır. Kaynak işlemi tamamlandığında deney parçası buzlu suda soğutulduktan sonra sıvı azotun içerisinde bekletilmiştir. Kaynak dikişinin yüzeyindeki cüruflar temizlendikten sonra merkez deney parçası diğerlerinden kırılarak ayrılmıştır. Kaynaklı merkez deney parçası tekrardan sıvı azotun içerisinde alınarak analiz için bekletilmiştir. Daha sonra da BRUKER G4 PHOENIX yayınabilir hidrojen tayin cihazı ile analizler gerçekleştirilmiştir.

Mekanik testler için, kaynak yapılacak malzemeler arasında 16 mm boşluk bırakılıp parçaların altında 10 mm kalınlığında S355 kalite metal altlık yerleştirilmiştir. Birleştirme kaynak işlemleri 29 Volt gerilim, 460 Amper akım, 450 mm/dk kaynak hızı, 1,75 kJ/mm ısı girdisi ve 30 mm serbest tel boyu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi tamamlanan numunelerin her birinden bir adet çekme ve altışar adet çentik darbe numunesi hazırlanacak şekilde kesilmiştir. Çekme parçasından da çekme işleminden sonra mikro yapı incelemesi için iki adet numune hazırlanmıştır. Çekme numuneleri EN ISO 5178'e göre hazırlanmıştır. Çentik darbe numuneleri ise EN ISO 9016'ya göre 55x10x10 mm ebatlarında olacak şekilde torna ve freze tezgâhlarında işlenerek hazırlanmıştır. Şekil 3.4'de, kaynak metalinden çekme ve çentik darbe numunelerinin hazırlanışının şematik gösterimi verilmiştir (Keehan, 2006).



Şekil 3.4. Çekme ve çentik darbe numunelerinin hazırlanış şeklinin şematik gösterimi (Keehan, 2006).

Çentik darbe deneyi için hazırlanan numuneler OTTO WOLPERT WERKE PW 30/15 marka makine ile  $-20^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında, çekme deneyi için hazırlanan numuneler ise OTTO WOLPERT U-40 tipi çekme cihazı ile oda sıcaklığında teste tabi tutulmuştur.

Mikro yapı numuneleri, çekme testi yapıldıktan sonra çekme parçalarının uç kısmından ve kopma yüzeylerinden alınmıştır. Polyester kalıba alınan numuneler STRUERS Tegrapol-21 marka zımparalama ve parlatma cihazı ile başta 600 grade SiC zımpara olmak üzere sırasıyla 220 grade  $9\ \mu\text{m}$ ,  $3\ \mu\text{m}$  ve  $1\ \mu\text{m}$  keçe ve elmas pastalar ile her seferinde  $90^{\circ}$  derece döndürülerek zımparalanmış ve parlatılmış olup dağlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Hazırlanmış mikro yapı numuneleri %3 Nital ile dağlanmıştır. Numuneler 1000 büyütme kapasiteli NİKON ECLIPSE LV 150 marka optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Bu incelemelerde her numunenin ferrit – perlit oranları, inklüzyon miktarları ve ortalama tane boyutları incelenmiştir. Ferrit – perlit oranları 200x, inklüzyon miktarları ve tane boyutu incelemesi de 100x büyütmede EN ve ASTM standartlarına uygun olarak hazırlanmış ve incelenmiştir.

Mikro yapı, penetrasyon ve mikro sertlik testleri için;  $300 \times 70 \times 10$  mm ebatlı parçalara 28 Volt gerilim, 500 Amper akım, 420 mm/dk kaynak hızı, 2,0 kJ/mm ısı girdisi ve 30 mm serbest tel boyu kullanılarak tek pasoda kaynak yapılmıştır. Daha sonra bu parçalar makro inceleme için  $20 \times 70 \times 10$  mm ebatlarında kesilmiş ve zımparalama, parlatma işlemine tabi tutularak %3 Nital ile dağlanmıştır. Numuneler 40 büyütme kapasiteli NİKON SMZ 1000 marka stereo optik mikroskop ile incelenmiştir. Daha sonra ise bu numunelerin her birinin ITAB ve kaynak metali bölgelerinden sertlik değerleri Vickers uca sahip ALBERT GNEHM marka universal sertlik ölçme makinesi ile oda sıcaklığında teste tabi tutulmuştur.

Aşınma kaybı değerleri, ASTM G133-05 standardında belirtildiği üzere altlık malzemede ve karşı sürtünme elemanında gerçekleşen aşınma kayıplarının hesaplanması ile tespit edilmiştir. Aşınma miktarları, beş farklı ürün ile 10 mm yüksekliğinde ve 40 mm çapında hazırlanan kaynak metali numuneleri; Tribo Tester Marka sürtünme aşınma cihazı ile teste tabi tutularak belirlenmiştir. Testler 10N yük altında 25000, 50000, 75000 ve 100000 çevrimlerde yapılmıştır. Testlerde karşı sürtünme elemanı (aşındırıcı) olarak 6mm çapında 100Cr6 malzemesinden üretilmiş çelik bilyeler kullanılmıştır. Her test kademesinden önce ve sonra çelik bilyeler ve kaynak metal numunesi hassas terazi ile tartılıp aşınmaya ait bilgiler kaydedilmiştir.

Kaplamalı malzemelerde, yüzey pürüzlülük değerlerinin bilinmesi ve morfolojik kalitenin tespiti önemlidir. Bu bakışla, kaplamaların genel yüzey profilleri iki boyutlu yüzey profilometresi kullanılarak incelenmiştir. Bu teknikte atomik kuvvet mikroskobundakine (AFM) benzer şekilde, yine bir batıcı uç yüzeyi taramakta iken farklı olarak daha büyük bir alandan veri toplaması ile yüzeylere ait daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi mümkündür. Tekniği AFM'den ayıran bir diğer özellik ise batıcı uçların eğrilik yarıçaplarının birbirlerinden farklı olmasıdır. Belirtilen testte, 4 mm uzunluğunda beş farklı bölge (hat) Mitutoya Marka cihaz (bkz: Şekil 3.5) ile incelenerek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. İki boyutlu yüzey profilometresinde bu değer birkaç mikron olabilirken testte kullanılan batıcı eğrilik yarıçapı 2 mikrondur.



**Şekil 3.5.** İki boyutlu yüzey profilometresi - MITUTOYO SurfTest-S (TribolojiLab., DEÜ)

Tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyonları ile gerçekleştirilen saha uygulamalarına ait sertlik ölçümleri Shimadzu HMV-2 Mikrosertlik cihazı ile 0,2 kg yük altında gerçekleştirilmiştir. Ölçülen sertlikler HV cinsinden her bölgeden 3'er adet alınarak tespit edilmiştir. Numuneler; kesilip, epoksi kalıba alınıp, markalandırıldıktan sonra % 3 Nital ile dağlanarak ana metal, ITAB ve kaynak metali bölgeleri belirginleştirilmiştir. Şekil 3.6 'da mikro sertlik ölçümlerinin yapıldığı cihaz gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Mikro sertlik test cihazı - SHIMADZU HMV-2

Tozaltı kaynak tozunda kullanılan kaynak telinin yüzeyi Ambios Xi-100 Non-Contact Optical Profiler ile karakterize edilmiştir.

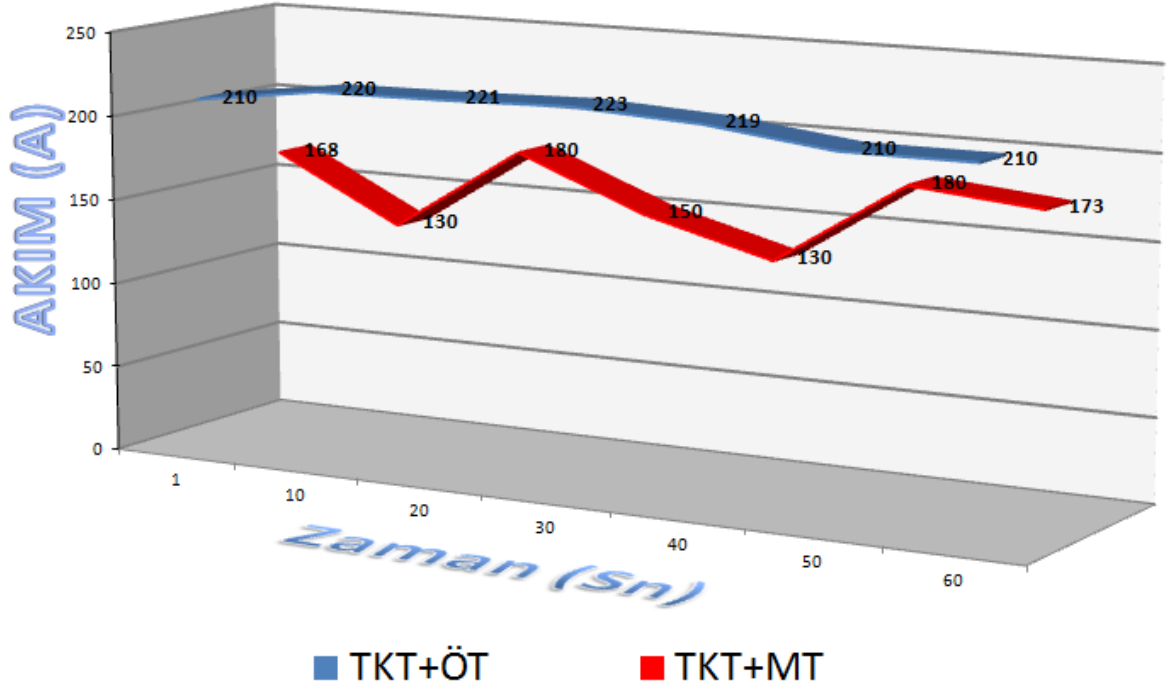
#### 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Alümina bazik karakterli tozaltı kaynak tozu ile Ø1,20 mm çaplı alaşımsız özlü tel ve alaşımsız masif tel ile gerçekleştirilen kaynak metaline ait kimyasal analizler Tablo 4.1 'de gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, özlü tel ve masif tel ile gerçekleştirilen kaynak metalinin kimyasal analizlerinde çok büyük farklılıklar görülmemekle birlikte yaklaşık olarak aynı değerleri verdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 4.1.** 1,20 mm çaplı özlü tel ve masif telin kaynak dikişinin kimyasal analizi

Element (%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Ti	B
Özlü Tel	0,07	0,55	1,25	0,007	0,006	0,04	0,0001	0,0050	0,0030
Masif Tel	0,07	0,65	1,30	0,008	0,007	0,03	0,0002	0,0040	0,0020

Yine aynı kombinasyonlara ait akım-zaman grafiği Şekil 4.1 'de verilmiştir. Buna göre özlü tel ile gerçekleştirilen kaynaklarda akım değerleri daha homojen bir seyir gösterirken, masif tel ile gerçekleştirilen kaynakların akım değerlerinde bir heterojenlik söz konusudur. Bunun sebebi; özlü tellerin içerisinde yer alan metal tozlarının arkın iyonizasyonunu kolaylaştırmasıdır. İyonizasyon farkından kaynaklanan bu heterojenlik, Tablo 4.2 'deki yüzdeler ile daha net ortaya konulmuştur.



**Şekil 4.1.** Tozaltı kaynak tozunun özlü tel ve masif tel ile kombinasyonlarına ait akım-zaman grafiği

**Tablo 4.2.** Tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyon türleri ve akım değerleri

<b>Türler</b> <b>Değerler</b>	AB Karakterli Tozaltı Kaynak Tozu 1,20mm Özlü Tel	AB Karakterli Tozaltı Kaynak Tozu 1,20mm Masif Tel
Minimum Amper	210	130
Maksimum Amper	223	180
Minimum Maksimum Farkı (%)	6,19	38,46

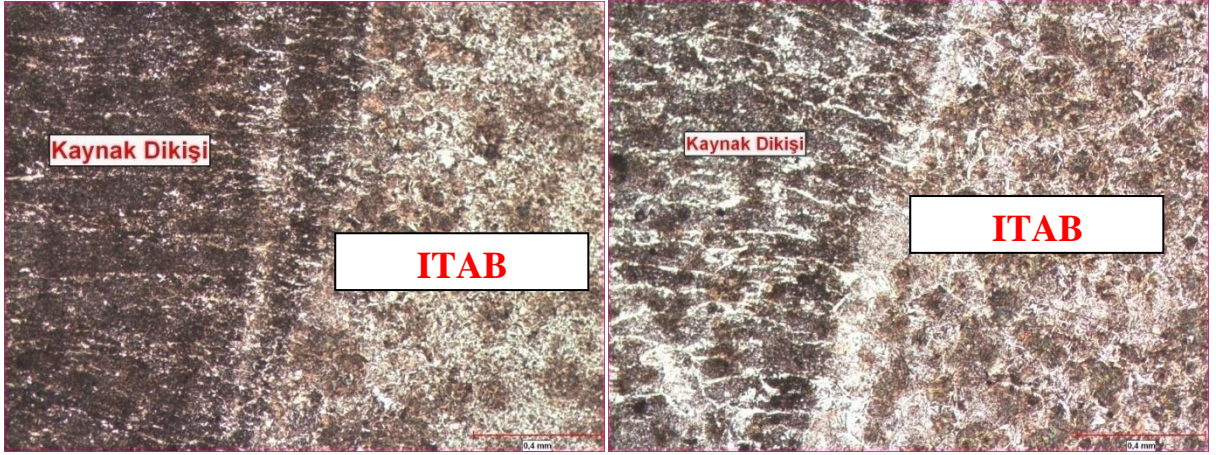
Tozaltı kaynak tozu ile gerçekleştirilen kombinasyonlarda; öz içerisindeki metal partiküllerinin iyonizasyonu hızlandırması, özlü tel ile sprej arka geçilmesini kolaylaştırıp çok daha yüksek akım değerlerinde kaynağın yapılmasını sağlarken, masif tellerde maksimum amper değerinin özlü tele kıyasla daha düşük mertebelerde kalmasını beraberinde getirmektedir. Tablo 4.3 'de aynı çaptaki özlü telin masif tele kıyasla daha yüksek ergime hızına, daha yüksek bir verimle ulaştığı görülmektedir. Masif tellerde verimin daha düşük olma nedeni, özlü tele kıyasla daha fazla alaşım elementinin cürufa geçmesidir.

**Tablo 4.3.** Özlü tel ve masif tel için % verim ve ergime hızı değerleri

	<b>Özlü Tel</b>	<b>Masif Tel</b>
<b>Ø (mm)</b>	1,20	1,20
<b>Verim (%)</b>	99,02 (0,98 Cüruf)	97,02 (2,98 Cüruf)
<b>Ergime Hızı (gr/sn)</b>	1,41	1,30

Özlü tel ve masif tel ile gerçekleştirilen kaynakların mikro yapıları kontrol edildiğinde; özlü tel ile gerçekleştirilen kaynaklardaki ITAB geçişi daha belirgin iken, masif tel ile gerçekleştirilen kaynaklarda ITAB geçişi çok belirgin bir şekilde tespit edilememektedir (Şekil 4.2). Bu farkın sebebi; masif tel ile gerçekleştirilen kaynaktaki akım değerlerinin dalgalanması ve bu dalgalanmanın ısı girdilerini etkilemesidir. Isı girdilerinin homojensizliği, ITAB'ın ana metalden heterojen geçişine paralel olarak belirgin bir sınır çizmemesine sebep olmuştur.





**Şekil 4.2.** Masif tel (Solda) ve özlü tel (Sağda) ile gerçekleştirilen kaynaklara ait mikroyapı resimleri

Özlü tellerin bir avantajı da seramik altlık uygulamalarına olan yatkınlıklarıdır. Yüksek refrakter özelliğine sahip seramik kaynak altlıklar; kaynak metalini alttan destekler, kaynak metaline form verir ve kaynak banyosunu atmosferden korur. Şekil 4.3 'de seramik altlık kullanılarak gerçekleştirilen kaynağa ait resim görülmektedir (Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., 2014)



**Şekil 4.3.** Seramik altlık kullanılarak gerçekleştirilen kaynak işlemi (Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., 2014)



Seramik altlıkların başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir:

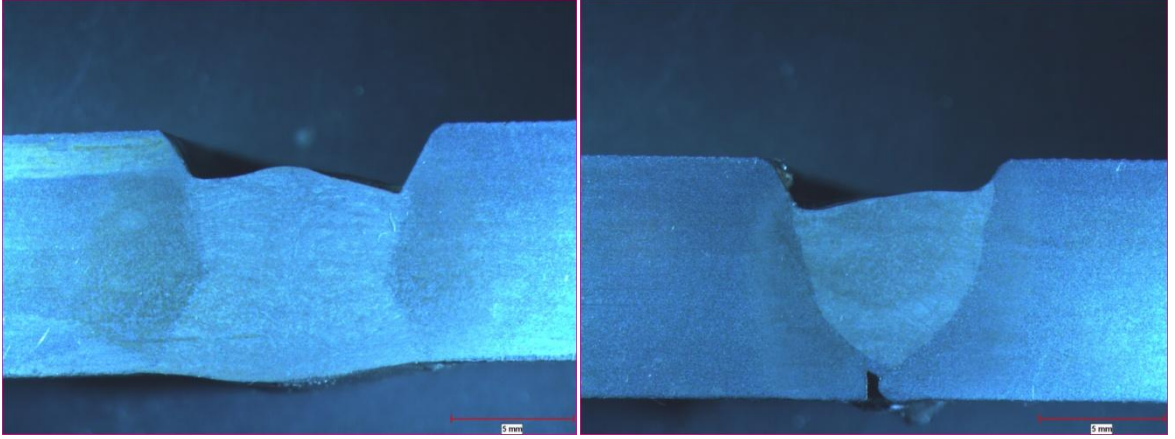
- Kaynak yüzeylerinde ve kök bölümünde yüzey hazırlığını kolaylaştırır.
- Kök pasonun taşla veya oyma elektrodları ile alttan kazınarak tekrar kaynak yapılması işlemi için harcanan işçilik ve kaynak bağlantılarını ortadan kaldırdığı için toplam maliyetleri düşürür.
- Endüstriyel veriler, seramik altlıkların gazaltı ve özlü tel kaynağında %55 zaman tasarrufu sağladığını göstermiştir.
- Yüksek ısı girdilerinde çalışma olanağı sağladığı için ilk pasoda yüksek metal yığıma hızına sahip kaynak yöntemlerinin kullanımına imkan sağlar.
- Tam penetrasyonlu kaynaklar için iş parçasını döndürmeye gerek kalmaz.
- Alüminyum yapışkanlı bandı sayesinde kullanımı çok kolaydır, kaynak geometrisine uyması için şekil verilebilir.
- Her tür kaynak ağzı şekli için uygun seramik altlık mevcuttur (Raj B., 2008).

Seramik altlıklar kimyasal olarak reaksiyona girmeyip, sadece ısıyı dengeleme görevini üstlenirler. Tablo 4.4 'de seramik altlık kullanılarak ve seramik altlık kullanılmadan gerçekleştirilen kaynakların kimyasal kompozisyonlarında bir fark olmadığı gösterilmiştir.

**Tablo 4.4.** Seramik altlıklı ve seramik altlıksız kaynak dikişlerinin kimyasal kompozisyonu

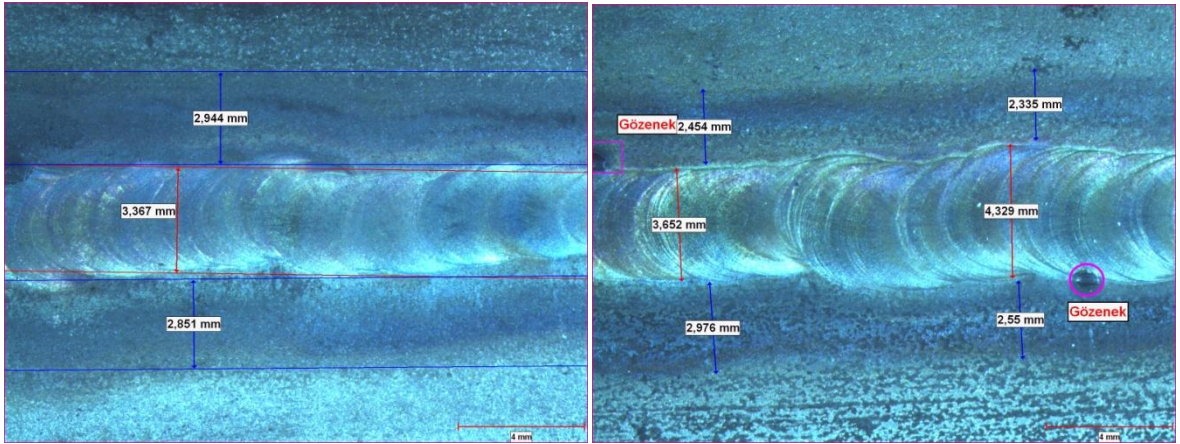
Malzemeler	Elementler (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al
Seramik Altlıklı Kaynak Dikişi	0,08	0,46	1,13	0,01	0,02	0,15	0,03
Seramik Altlıksız Kaynak Dikişi	0,08	0,50	1,15	0,01	0,01	0,13	0,04

Şekil 4.4 'de ise seramik altlık kullanılarak ve kullanılmadan gerçekleştirilen kaynaklara ait mikro yapılar yer almaktadır ve seramik altlıkların penetrasyona olan olumlu etkisi görülmektedir.



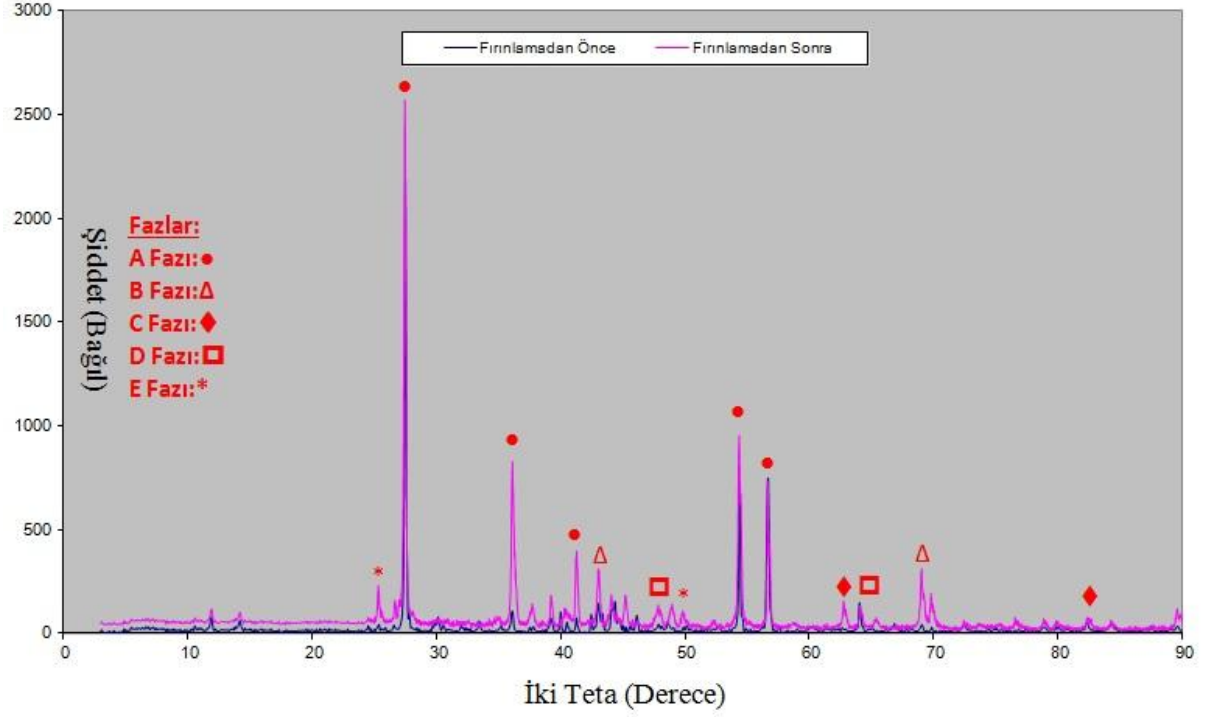
**Şekil 4.4.** Seramik altlık kullanılarak (Solda) ve seramik altlık kullanılmadan (sağda) gerçekleştirilen kaynağa ait kesit görüntüleri

Şekil 4.5 'de, seramik altlık kullanılmadan gerçekleştirilen kaynak dikişlerinde ITAB'ın daha dar olduğu ayrıca kaynak yüzeyinde gözeneklerin de tespiti gösterilmektedir. Bunun sebebi, seramik altlıklı kaynakların kaynak hatalarını örtecek mertebede ergimeye yardımcı olması ve kaynak banyosunu atmosferin korozif etkisinden korumasıdır.



**Şekil 4.5.** Seramik altlıklı (Solda) ve seramik altlıksız (sağda) kaynak yüzey görüntüleri

Özlu tel ile tozaltı kaynak tozunun ortak noktası; kaynak banyosunu atmosferin etkisinden koruma, gerektiğinde alaşımlandırma görevini üstlenen ve "Flux" olarak adlandırılan karışımlardır. "Flux", örtülü elektrodlardaki örtünün de teknik ve ticari ismidir. Her türlü kaynak malzemesinin imalatında en önemli adımlardan bir tanesi Flux'ın hazırlanmasıdır. Flux'da meydana gelecek olan faz değişimleri, kaynak esnasında ve sonrasındaki tüm reaksiyonları doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, hazırlanan kuru karışımın fırınlamadan önceki ve sonraki fazların kantitatif analizleri yapılmış ve Şekil 4.6 'da XRD paternleri verilmiştir.

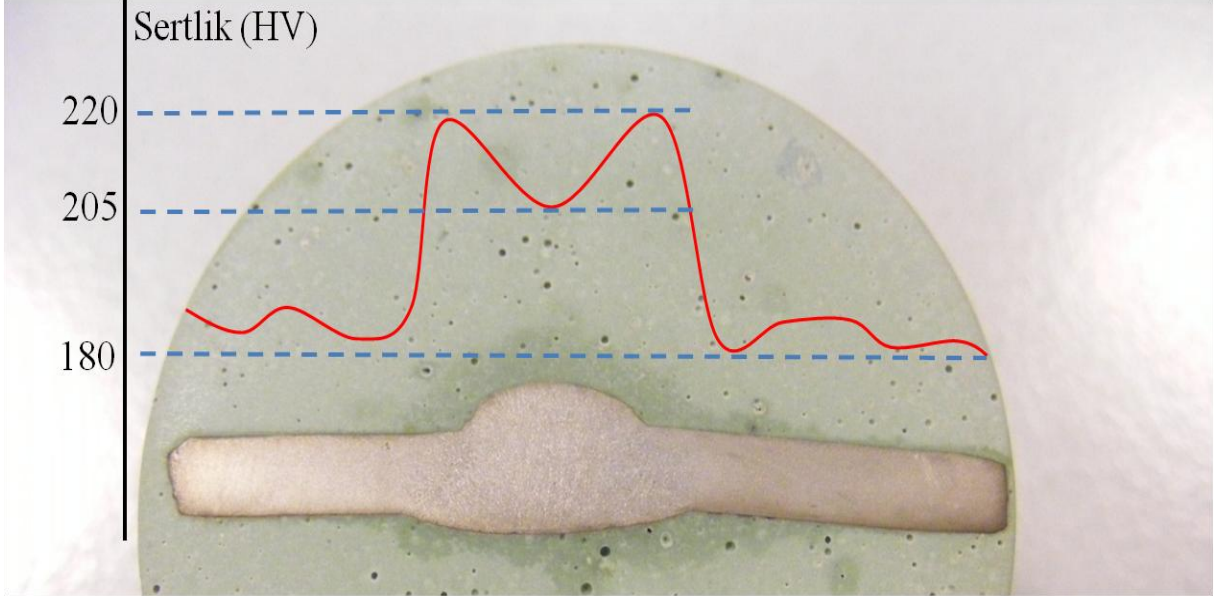


Şekil 4.6. Fırınlamadan önce ve fırınlamadan sonraki özlere ait XRD sonuçları

Şekil 4.6 'da verilen analiz sonuçları fırınlama sonrasında herhangi bir faz dönüşümü olmadığını açıkça göstermektedir. Fırınlandıktan sonra piklerin şiddetlerinin artması kalıntı gerilmelerinin giderilmesinden, genişlemesi ise tane boyutunun küçülmesinden kaynaklanmaktadır.

Üretim esnasında faz dönüşümlerinin olmaması, nihai üründe herhangi bir olumsuzluğun olmamasını beraberinde getirir. Tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyonunda herhangi bir faz dönüşümü gerçekleşmediği takdirde, kaynak metali yüzey sertliklerinin dağılımda herhangi bir olumsuzluk gözlenmemesi beklenir. Bu da mesafeye bağlı sertliğin değişim grafiği yani sertlik gradyanı ile tespit edilir.

Tozaltı Kaynak Tozu ve özlü tel ile gerçekleştirilen kaynak dikişine ait sertlik gradyanı Şekil 4.7 'de verilmiştir. Bu kombinasyondan beklenen; kaynak metalinin ana metale yakın, ITAB bölgesinin ise daha düşük sertlik değerlerine sahip olmasıdır. Buna göre elde edilen sertlik gradyanında herhangi bir olumsuzluk görülmemiştir.



**Şekil 4.7.** Tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyonu ile gerçekleştirilen kaynak dikişinin sertlik gradyanı

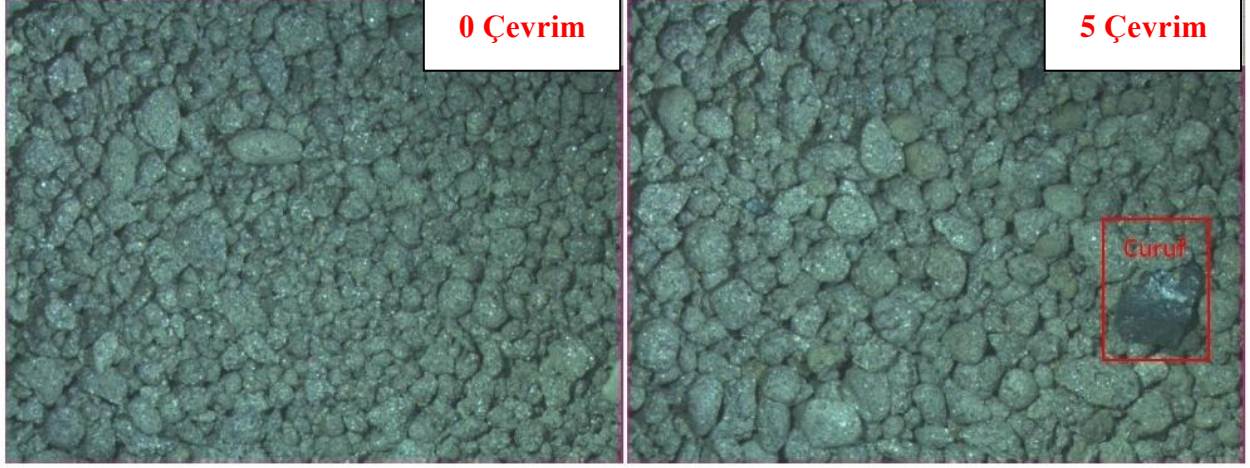
Tozaltı kaynak tozunun önemli özelliklerinden bir tanesi yeniden kullanım anlamına gelen çevrim sayısıdır. Çevrim sayısı ne kadar fazla ise elde edilen tasarruf o kadar fazladır.

**Tablo 4.5.** Tozaltı kaynak tozunun 0 çevrim ve 5 çevrim sonundaki elek analizleri

Elek No ( $\mu\text{m}$ )	0 Çevrim	5 Çevrim
1750-1500	5	15
1500-1250	10	20
1250-1000	20	35
1000-750	35	15
750-500	15	10
500-250	10	5
250-0	5	0
<b>Taban</b>	100,0	100,0



Tablo 4.5 'deki değerlerden, küçük partikül boyutlarındaki tozların öncelikle reaksiyona girdiği ve 5 çevrim sonunda tozun partikül boyutunun arttığı tespit edilmiştir. şekil 4.8 'deki makro resimde ise bu büyüme net bir şekilde görülmektedir.



şekil 4.8. 0 çevrim ile 5 çevrim sonrasında toz partikül boyutunda meydana gelen değişim

0 evrim ile 5 çevrim sonrasında toz analizlerinin karşılaştırması Tablo 4.5 'de gösterilmiş ve çok radikal değişikliklerin olmadığı tespit edilmiştir ancak şekil 4.8 'de grldğu üzere toz içerisine cüruf parçalarının karışması ve iri tanelerin artması kullanıcılar için bir olumsuzluk meydana getirmektedir. İri partiküllerin reaksiyona girme zorlukları nedeni ile 5 çevrimden sonra tozlar kullanılamaz hale gelmektedir.

Tablo 4.6 'da 0 ve 5 çevrim sonundaki tozaltı kaynak tozları ile gerçekleştirilen XRF sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre; partiküllerin boyutlarında meydana gelen değişim, kimyasal bileşimi etkilememiştir. Partiküller, dıştan içeriye doğru homojen bir şekilde reaksiyona girmiş ve sadece partikül boyutları azalmıştır.

**Tablo 4.6.** 0 çevrim ve 5 çevrim sonundaki tozaltı kaynak tozlarının XRF sonuçları

<b>Elementler, Oksitleri ve Ateş Kaybı (%)</b>	<b>0 Çevrim</b>	<b>5 Çevrim</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	32,16	32,02
<b>SiO<sub>2</sub></b>	19,52	19,03
<b>MnO</b>	13,16	12,85
<b>CaO</b>	8,12	8,37
<b>TiO<sub>2</sub></b>	7,73	7,64
<b>F</b>	7,12	7,52
<b>MgO</b>	5,71	6,18
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,15	3,16
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,43	1,38
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,12	1,10
<b>A.K.</b>	+ 1,79	+ 1,66

Partikül boyutu, çevrim sayısının yanında mekanik ve metalurjik özelliklerin belirlenmesinde de etkindir. Partikül boyutunu incelerken, bu partikülü meydana getiren hammaddelerin tane boyutlarını içeren çalışmaların da mutlaka yapılması gerekmektedir. Bu gerekliliğe istinaden, aglomerasyon esnasındaki hammaddelerin tane boyutlarının mekanik özelliklere etkisi ile ilgili sistematik bir çalışma yapılmış ve bu çalışma Tablo 4.7 'de özetlenmiştir. Buna göre; hammadde olarak kullanılan tanelerin boyutlarının, tozaltı kaynak tozu partiküllerini ve buna bağlı olarak bu partiküller ile üretilen tozaltı kaynak tozu ile gerçekleştirilen kaynak metallere mekanik özelliklerini doğrudan etkilemediği tespit edilmiştir.

**Tablo 4.7.** Hammadde tane boyutunun kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi

Hammaddelerin Tane Boyutları ( $\mu\text{m}$ )	Akma Mukavemeti ( $\text{N/mm}^2$ )	Çekme Mukavemeti ( $\text{N/mm}^2$ )	Çentik Darbe Direnci ( $\text{J}, -20^\circ\text{C}'\text{de}$ )
10	492	578	60
50	495	577	57
100	493	581	66
250	496	575	59
350	494	576	61

Kullanılan hammaddelerin tane boyutunun, kaynak metalinin mekanik özelliklerini etkilemediğinin tespitinin ardından, partikül boyutlarının kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi kademeli olarak test edilmiş ve sonuçlar Tablo 4.8 'de belirtilmiştir.

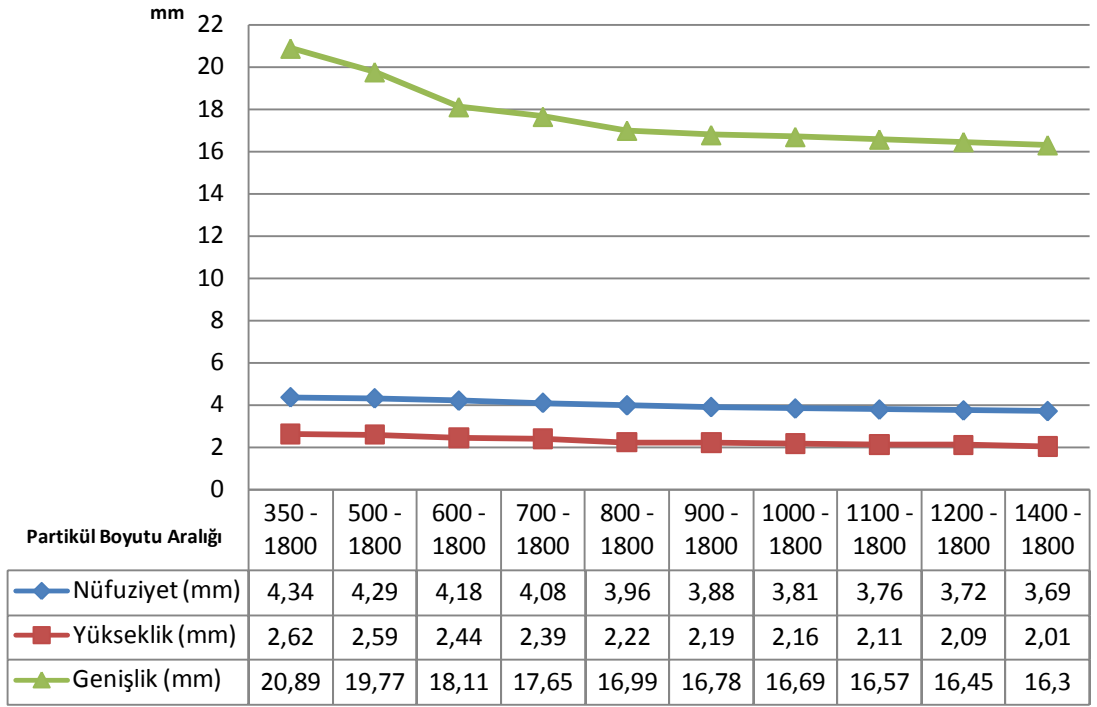
Partikül aralığının artması, akma mukavemetinde azalmaya neden olurken yine aynı şekilde çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerlerinin de azalmasına sebep olmuştur. Çok iri tanelerin kaynak dikişlerinde meydana gelen gözenekler ise testlerin gerçekleştirilmesine engel olmuş ve bu testlerin kabul edilmemesi ile sonuçlanmıştır.

**Tablo 4.8.** Tozaltı kaynak tozu partikül boyutunun kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi

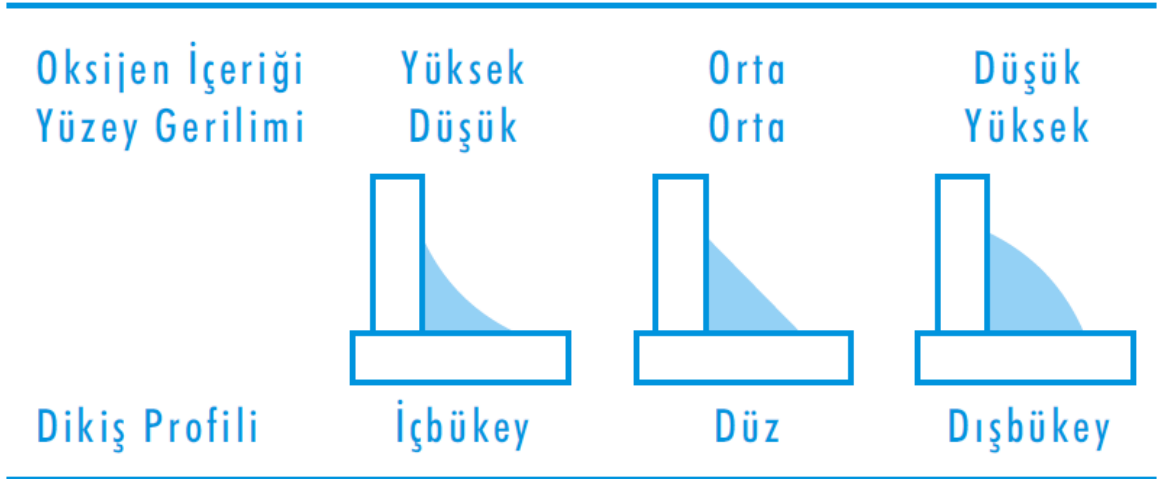
<b>Partikül Aralığı (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Akma Mukavemeti (<math>\text{N}/\text{mm}^2</math>)</b>	<b>Çekme Mukavemeti (<math>\text{N}/\text{mm}^2</math>)</b>	<b>Uzama (%)</b>
<b>350 – 1800</b>	490	580	35
<b>500 – 1800</b>	483	571	35
<b>600 – 1800</b>	482	569	34
<b>700 – 1800</b>	479	561	34
<b>800 – 1800</b>	474	550	33
<b>900 – 1800</b>	468	543	31
<b>1000 – 1800</b>	462	541	31
<b>1100 – 1800</b>	460	538	30
<b>1200 – 1800</b>	458	526	29
<b>1300 – 1800</b>	455	519	29
<b>1400 – 1800</b>	454	506	28
<b>1500 – 1800</b>	<b>Gözenekten Dolayı Kaynak Malzemesinin Testleri Gerçekleştirilemedi</b>		
<b>1600 – 1800</b>	<b>Gözenekten Dolayı Kaynak Malzemesinin Testleri Gerçekleştirilemedi</b>		
<b>1700 – 1800</b>	<b>Gözenekten Dolayı Kaynak Malzemesinin Testleri Gerçekleştirilemedi</b>		
<b>1800 (%100)</b>	<b>Gözenekten Dolayı Kaynak Malzemesinin Testleri Gerçekleştirilemedi</b>		

Partikül boyutunun penetrasyona etkisi ise Şekil 4.9 'daki grafikte belirtilmiştir. Bu grafiğe göre partikül boyutu arttığında penetrasyonda azalma meydana gelmektedir. Bunun sebebi ise partikül boyutlarındaki artma daha fazla boşluk meydana getirip, kaynak metalinin daha fazla oksijen ile temas etmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.9 ' un daha anlaşılır hale gelmesi için Şekil 4.10 'da (Eryürek, 2004) elektrod örtüsündeki oksijen miktarının kaynak profiline etkisi gösterilmiştir. Tozaltı kaynak tozundaki Flux'ın da örtü ile aynı özelliklere ve göreve sahip olmasından dolayı bu bilginin tozaltı kaynak tozu için kullanılmasında bir sakınca görülmemektedir.



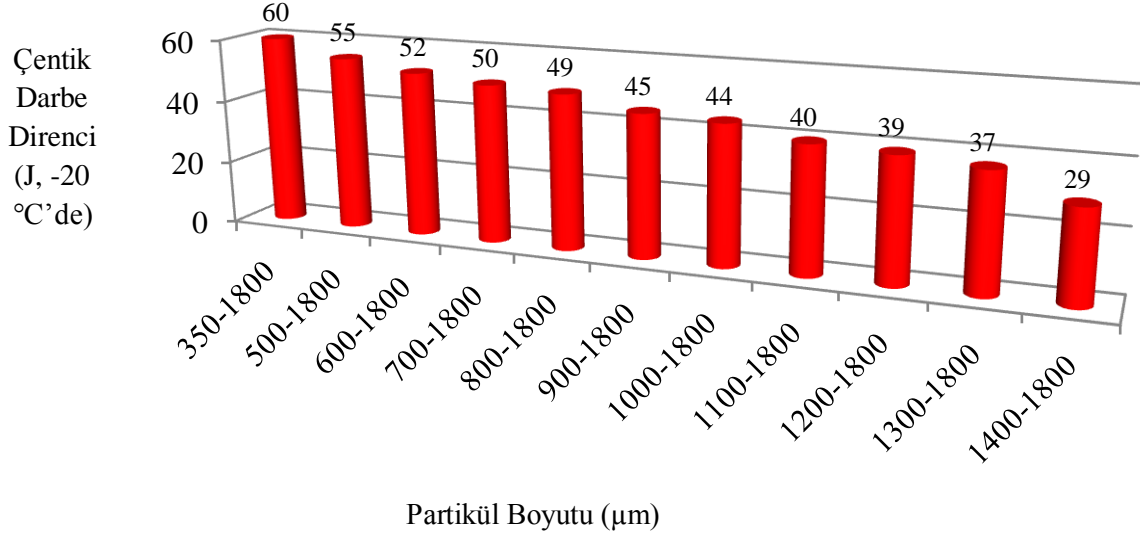


Şekil 4.9. Partikül boyutunun tek pasoda kaynak dikişi penetrasyonuna, yüksekliğine ve genişliğine etkisi



Şekil 4.10. Elektrod örtüsündeki oksijen miktarının kaynak profiline etkisi (Eryürek, 2004).

Partikül boyutlarının, kaynak metalinin çentik darbe direncine de etkisi olduğu ve partikül boyutunun artmasının çentik darbe direncini düşürdüğünü Şekil 4.11 'de görmek mümkündür.



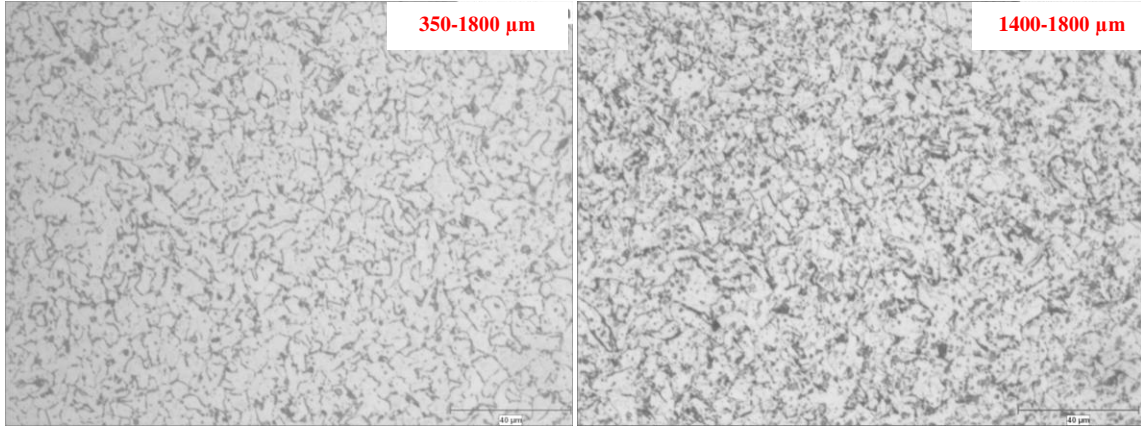
Şekil 4.11. Partikül boyutuna bağlı olarak çentik darbe dirençlerindeki değişim

Tablo 4.9 'da farklı partikül boyut aralığındaki tozaltı kaynak tozları ile yapılmış olan yayınabilir hidrojen test sonuçları verilmiştir. Partikül boyutu arttıkça toz içerisindeki boşlukların artması, daha fazla oksijen ve hidrojenin kaynak metalinde hapsolmesini beraberinde getirmektedir. Bu sebeple partikül boyutu arttıkça, yayınabilir hidrojen değeri artmıştır.

Tablo 4.9. Partikül boyutuna bağlı olarak ölçülen yayınabilir hidrojen değerleri

<b>Partikül Boyut</b>	<b>Yayınabilir Hidrojen</b>
<b>Aralığı (µm)</b>	<b>(ml/100 gr kaynak metali)</b>
350 – 1800	3,52
500 – 1800	3,68
600 – 1800	3,97
700 – 1800	4,11
800 – 1800	4,29
900 – 1800	4,35
1000 – 1800	4,90
1100 – 1800	5,87
1200 – 1800	7,09
1400 – 1800	8,00

Şekil 4.12 'de 350-1800  $\mu\text{m}$  ve 1400-1800  $\mu\text{m}$  partikül boyut aralıklarında tozaltı kaynak tozu kullanılarak gerçekleştirilen kaynak metaline ait mikro yapı görüntüleri verilmiştir. Bu mikro yapıların açıklamaları ve karşılaştırması Tablo 4.10 'da detaylı olarak sunulmuştur.



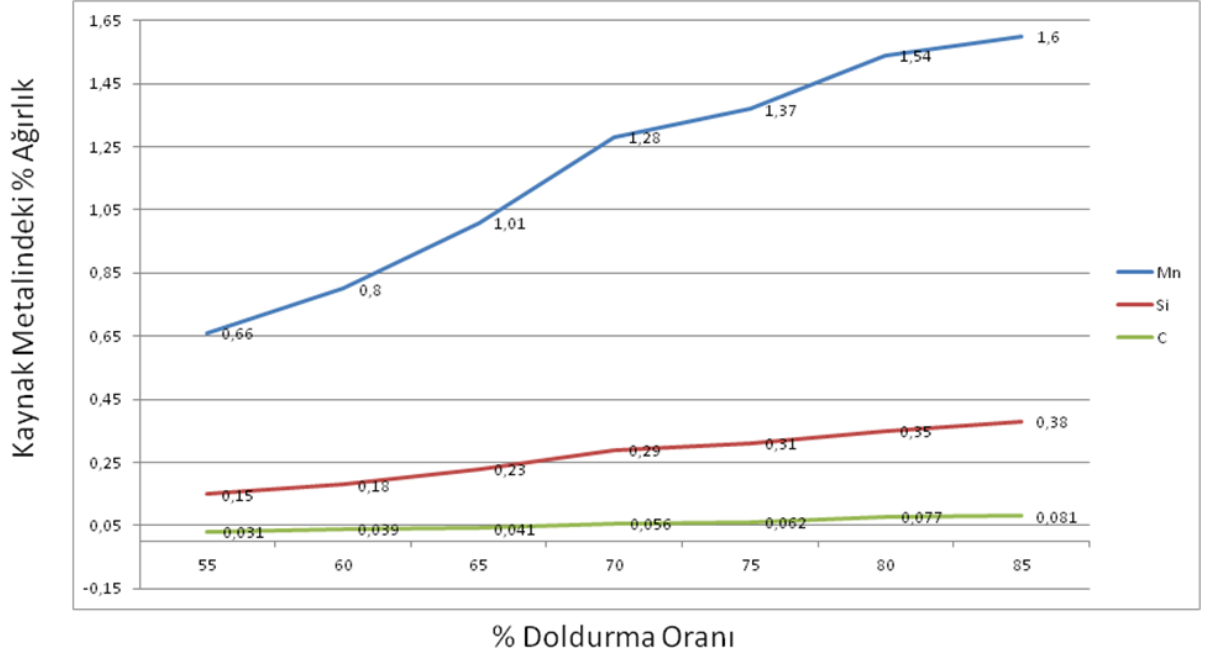
Şekil 4.12. İri (solda) ve ince (sağda) partikül ile gerçekleştirilen kaynak metalinin mikro yapı görüntüsü

Tablo 4.10. Kaynak dikişinde ölçülen ferrit / perlit oranı, inklüzyon miktarı ve ortalama tane boyutları

Partikül Boyut Aralığı ( $\mu\text{m}$ )	Ferrit / Perlit Oranı	İnklüzyon Miktarı (%)	Ortalama Tane Boyutu( $\mu\text{m}$ )	ASTM No
350 – 1800	85/15	0,56	13	9,5
1400 – 1800	85/15	0,77	13	9,5

Tablo 4.10 'daki veriler ışığında, iri partiküller kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklarda inklüzyon miktarı daha fazla olmaktadır. Bunun sebebi iri partiküllü tozlar ile gerçekleştirilen kaynakların atmosferin korozif etkisine daha fazla maruz kalarak daha fazla oksit kalıntılarını bünyesinde barındırmasıdır. Kaynak prosesi aynı parametrelerde gerçekleştirildiği için ısı girdilerinin farklı olması engellenerek farklı tane boyutlarına sahip mikro yapıların elde edilmesinin de önüne geçilmiştir. Ferrit/Perlit oranlarının aynı olması ve kaynak prosedürünün aynı sıcaklıklarda yapılması, kimyasal analiz olarak birbirine yakın değerlerin elde edildiğini işaret etmektedir.

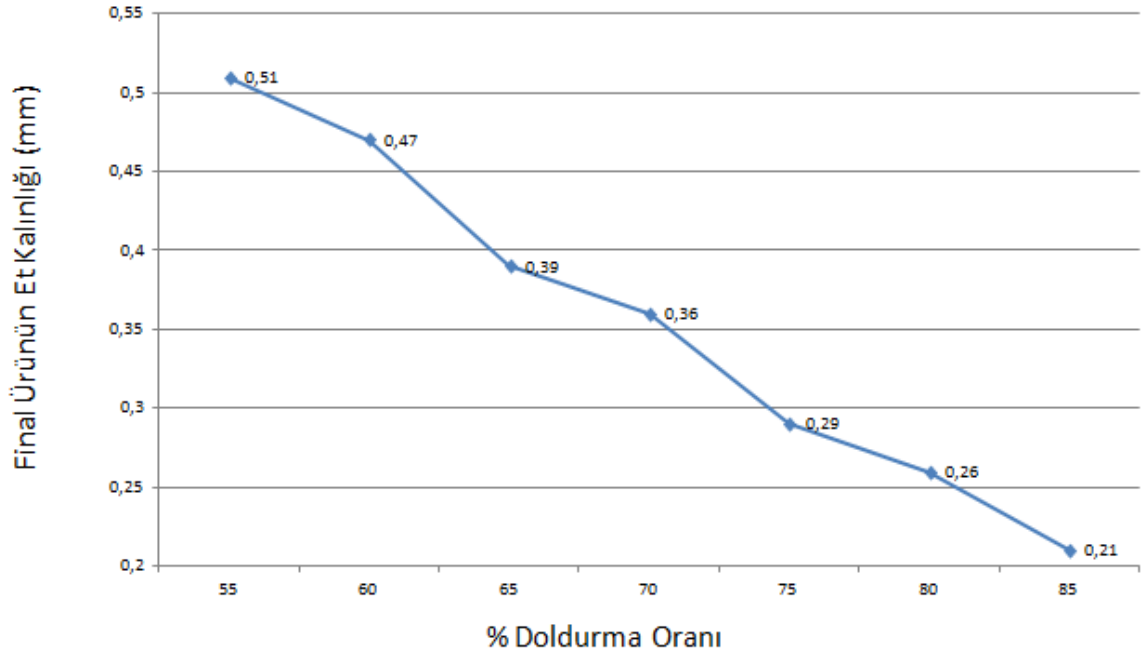
Tozaltı kaynak tozundaki partikül boyutunun etkisi, özlü teldeki doldurma oranının bir fonksiyonudur. Özlü telde doldurma oranının kaynak metalindeki elementlere etkisi Şekil 4.13 'deki grafikte gösterilmiştir. Doldurma oranı ile elementlerin yüzdesel dağılımlarında doğrusal bir orantı açıkça görülmektedir.



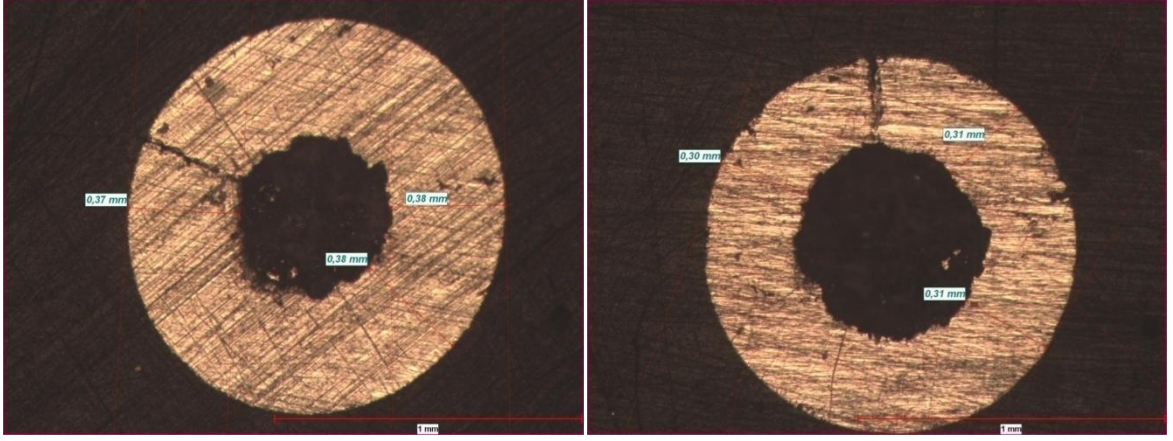
Şekil 4.13. Doldurma oranına bağlı olarak kaynak metalindeki elementlerin değişimi

Bu grafikte manganda %41,25, silisyumda %39,47 ve karbonda %38,27'lik bir değişim görülmektedir.

Doldurma oranına bağlı olarak nihai ürünün et kalınlığı değişimi Şekil 4.14 'de gösterilmiştir. Buna göre artan doldurma oranı ile azalan bir et kalınlığı gözlenmektedir. Diğer Şekil 4.15 'de ise nihai ürün kesit resimleri görülmektedir.



Şekil 4.14. Doldurma oranı-final ürün et kalınlığı eğrisi



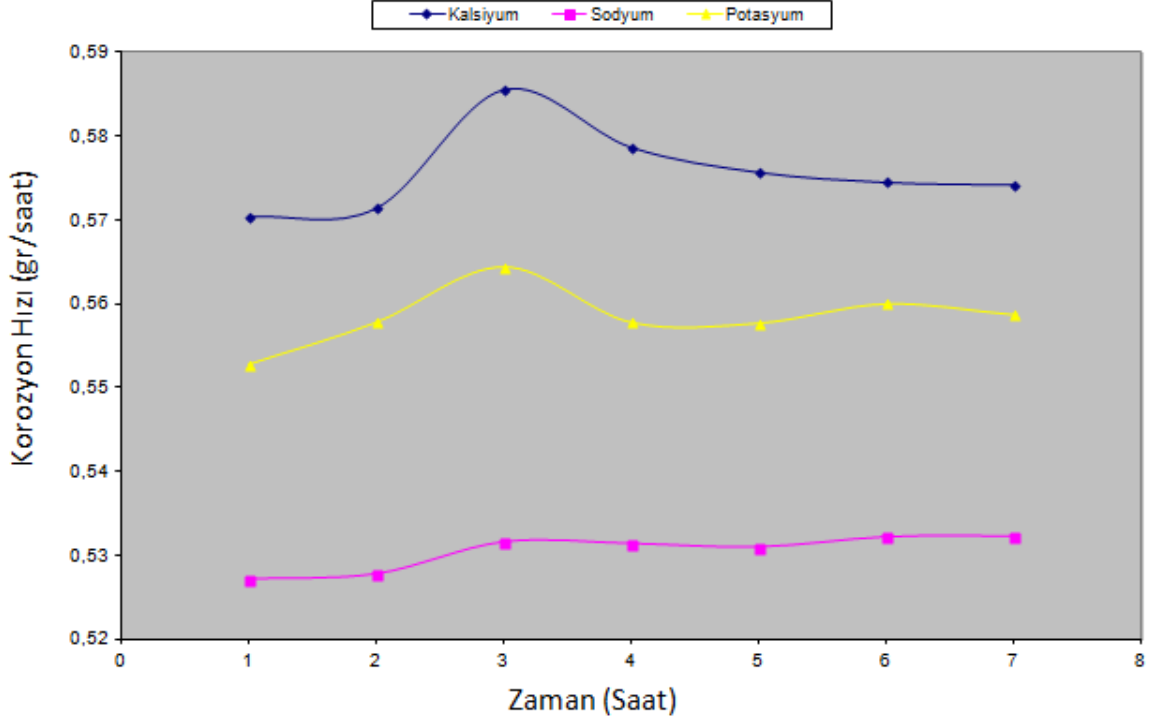
**Şekil 4.15.** Doldurma oranına bağlı et kalınlığının değişimi. Solda %65'lik doldurma oranı, sağda ise %75'lik doldurma oranı.

Tablo 4.11 'de doldurma oranına bağlı olarak nihai üründeki değişimler gösterilmektedir. Buna göre doldurma oranı arttıkça et kalınlığı azalır ve buna bağlı olarak taşınabilir akım kapasitesi de artar.

**Tablo 4.11.** Yüzde doldurma oranı ve etkileşimleri

% Doldurma Oranı	Et Kalınlığı (mm)	Akım Yoğ (A/mm <sup>2</sup> )	Direnç (Ω)	Öz Alanı (mm <sup>2</sup> )
55	0,51	309,46	0,094	0,025
60	0,47	291,77	0,100	0,053
65	0,39	274,09	0,106	0,138
70	0,36	265,25	0,110	0,181
75	0,29	256,41	0,113	0,301
80	0,26	238,73	0,122	0,363
85	0,21	212,20	0,137	0,477

Özlu tel imalatında kullanılan yüzey ajanlarının korozyon dirençleri Şekil 4.16 'da belirtilmiştir. Sodyum yüzey ajanında açık devre potansiyeli daha düşük olup, korozyon direnci kalsiyum ve potasyuma göre daha yüksektir.



Şekil 4.16. Yüzey ajanlarının korozyon hızları

Özlü tel ile gerçekleştirilen kaynak malzemelerindeki element miktarlarının mekanik özelliklere etkisi Tablo 4.12 'de gösterilmiştir. Buna göre mangan artışı akma ve çekme mukavemetini etkilemezken  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  'deki çentik darbe dirençlerinin artmasına sebep olmuştur. Yine aynı mangan değerindeki silisyum miktarının artması, akma ve çekme mukavemetinin gözle görülür bir şekilde artmasına sebep olmuş ancak çentik darbe dirençlerinin azalmasını beraberinde getirmiştir. Karbon değerindeki artışlar ise kaynak metalinde çatlama hasarı meydana getirmiş ve mekanik testlerin gerçekleştirilmesine engel olmuştur.

**Tablo 4.12.** Özlü tel ile gerçekleştirilen kaynak malzemelerinde elementlerin mekanik özelliklere etkisi

C (%)	Mn (%)	Si (%)	Akma (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Çentik J (@-20 °C)
0,039	1,33	0,39	425	492	29	79
0,041	1,59	0,38	430	500	28	110
0,040	1,60	0,52	532	616	29	76
0,039	1,33	0,53	487	569	26	70
0,040	2,13	0,68	485	560	30	181
0,070	2,11	0,65	<b>HASAR!!!</b>			

Karbon elementinin çatlama karşı olan hassasiyetinin tespitinin ardından, karbon elementi için eşik değeri tespiti için çalışılmıştır. Şekil 4.17 'de karbon elementinin, kaynak malzemesindeki çatlama direncine etkisi gösterilmiş ve Şekil 4.18 'de bu malzemeler üzerinde gerçekleştirilen Penetrant Testi sonuçları resmedilmiştir. Buna göre kaynak metalindeki % 0,05 'lik karbon değeri sınır değer olarak belirlenmiş ve bu değer üzerindeki değerlere sahip olan kaynak metalinde çatlama riski tedbiri alınmıştır. Karbon eşdeğeri baz alındığında %0,3 ve üzeri karbon eşdeğerine sahip konstrüksiyonlar için ön tavlama gerek duyulmamasına rağmen çatlama riski ile karşı karşıya kalmaktadırlar.



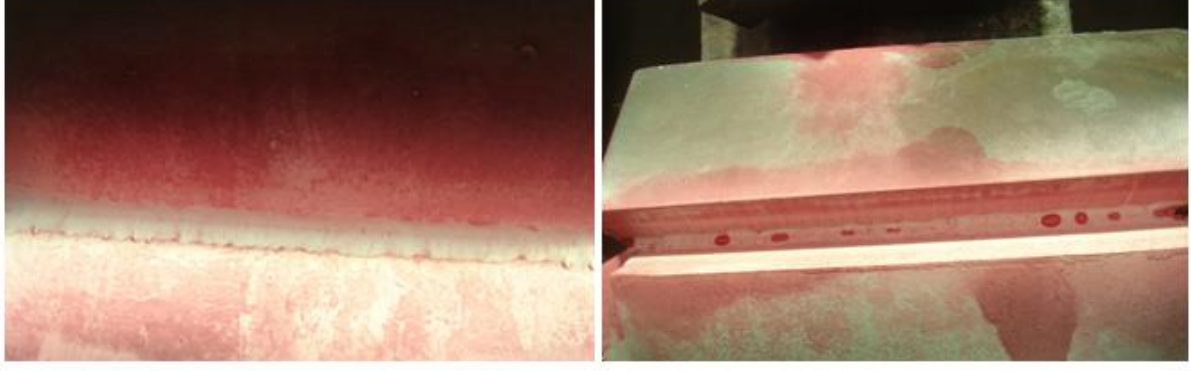
C: % 0,05  
Mn: % 1,33  
Si: % 0,41

C: % 0,06  
Mn: % 1,39  
Si: % 0,43

C: % 0,07  
Mn: % 1,37  
Si: % 0,42

**Şekil 4.17.** Element miktarının kaynak metalindeki çatlama etkisi



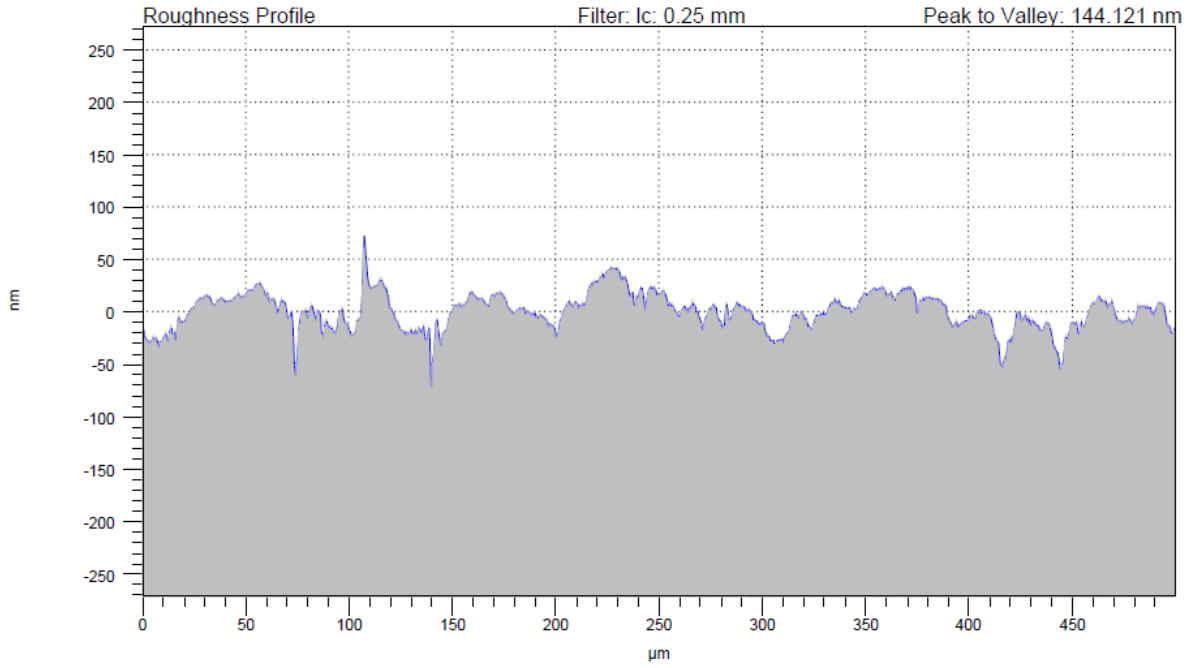


C: % 0,05  
Mn: % 1,33  
Si: % 0,41

C: % 0,07  
Mn: % 1,37  
Si: % 0,42

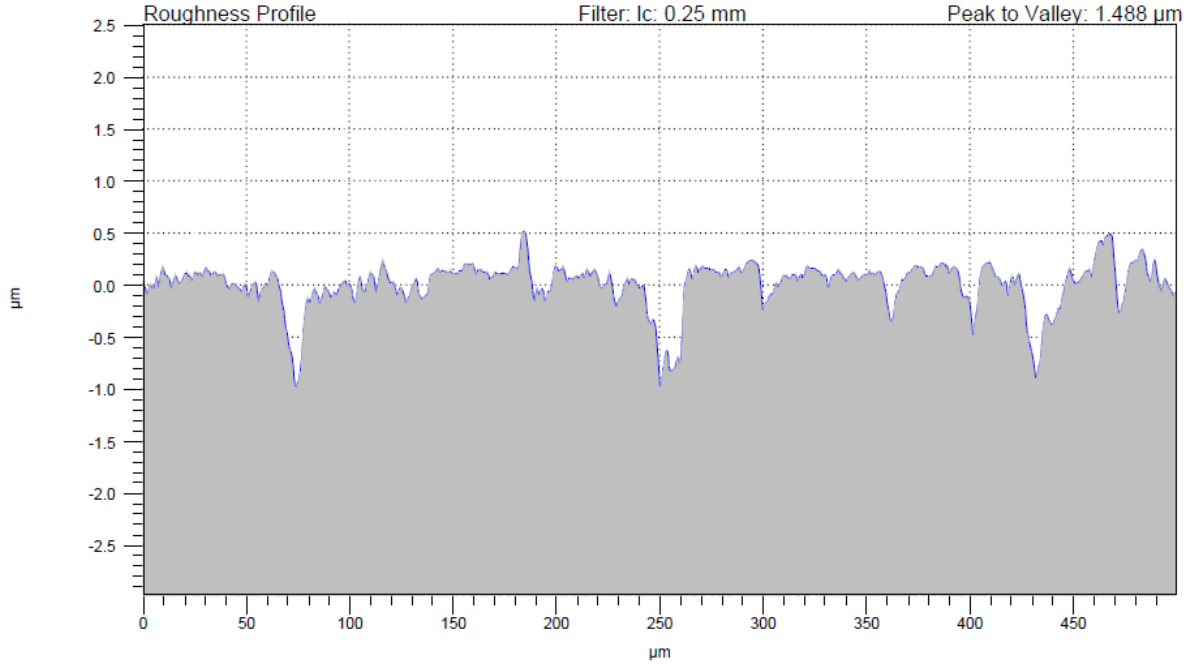
**Şekil 4.18.** Farklı analizlerdeki ürünlere ait Sıvı Penetrant testi

Tel sınıfındaki kaynak sarf malzeme ürünlerinin yüzey kalitesi, kaynak esnasındaki tel sürme hızını ve homojenliğini etkilemesine bağlı olarak kaynak metalinin özelliklerini de doğrudan etkilemektedir. Özlü telin yüzey pürüzlülüğü Şekil 4.19 'da ve masif telin yüzey pürüzlülüğü Şekil 4.20 'de gösterilmiştir. Buna göre masif tel, özlü tele kıyasla daha pürüzlüdür.



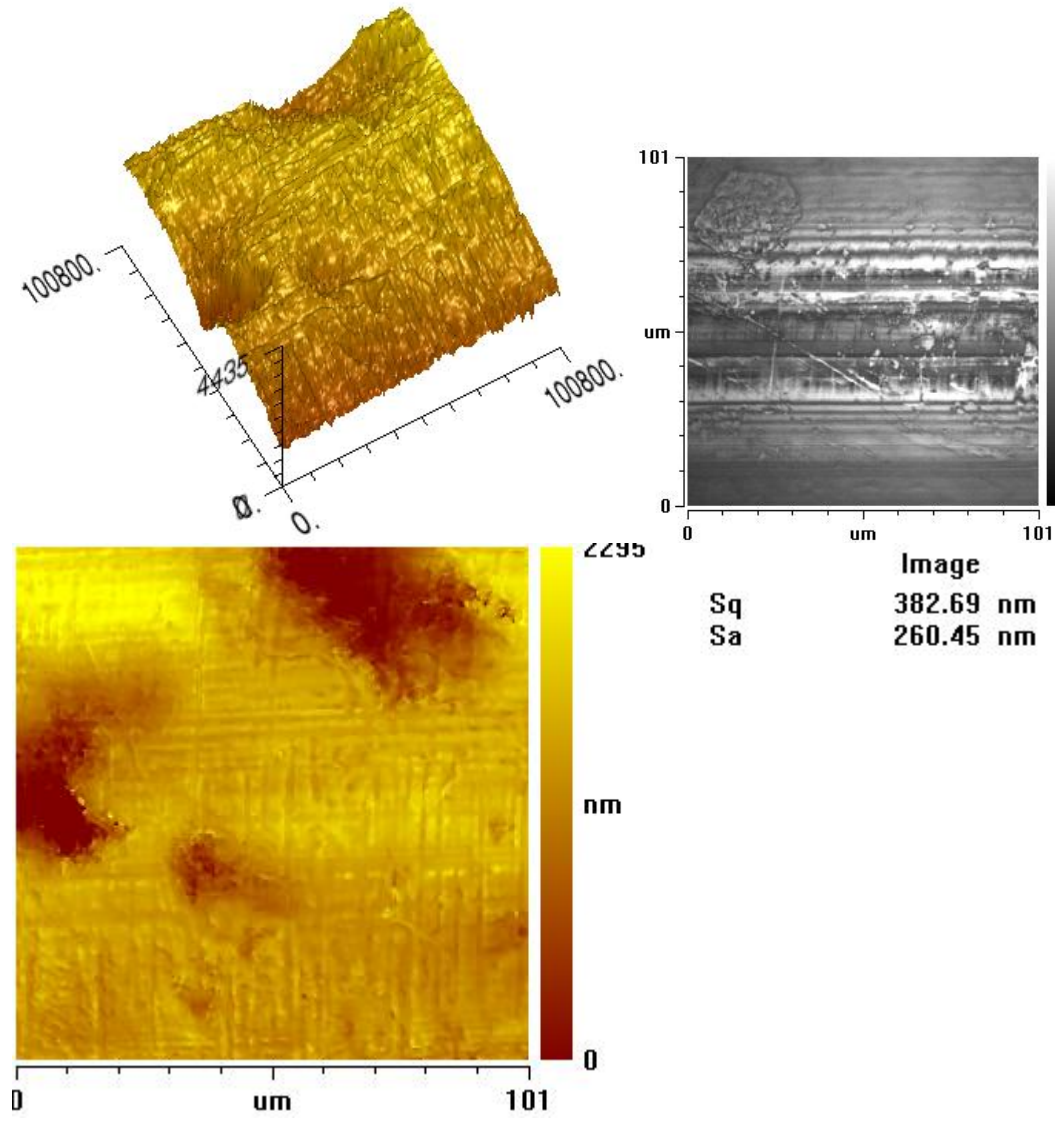
**Şekil 4.19.** Özlü tel yüzey pürüzlülüğü ölçümü



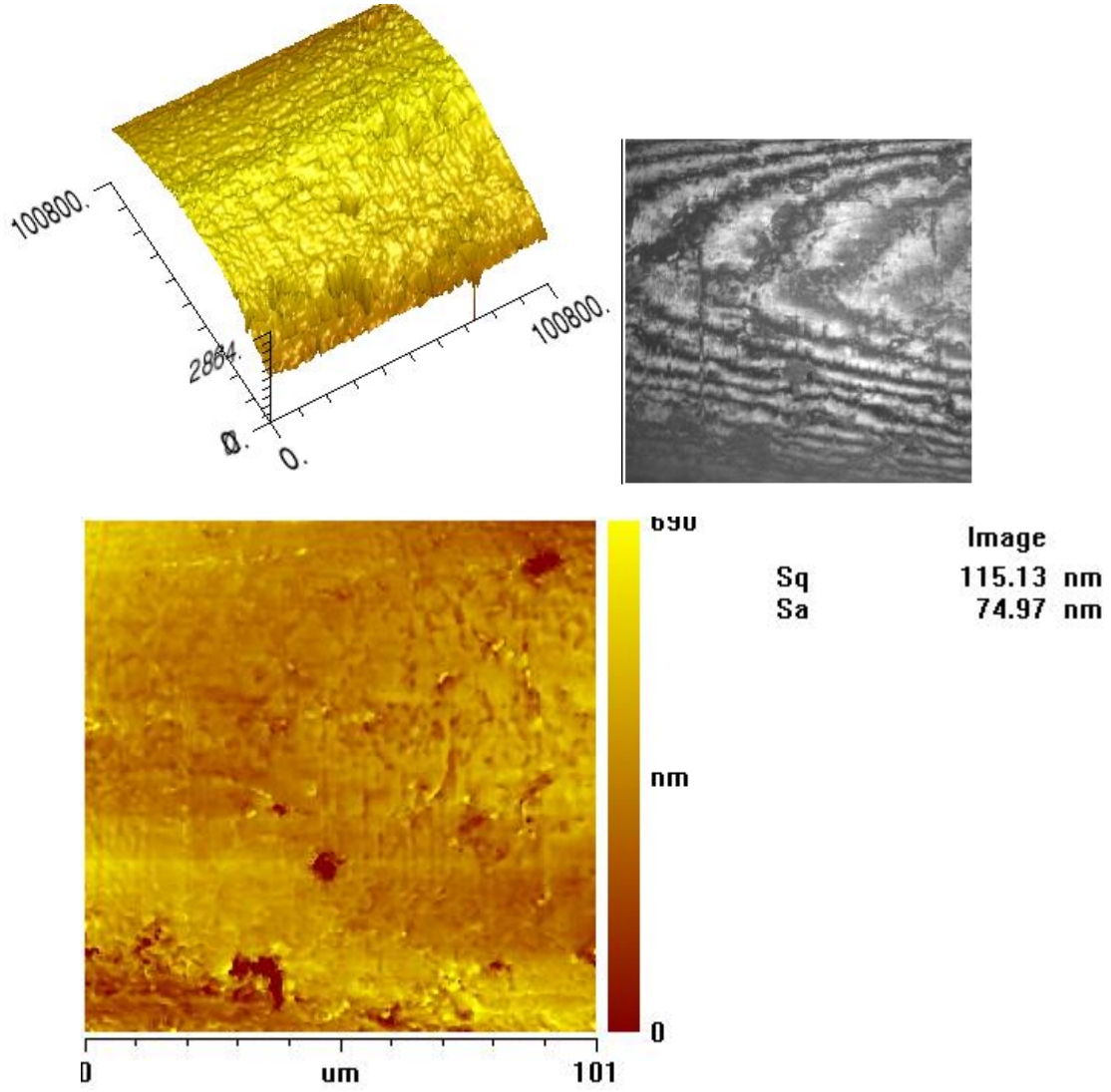


Şekil 4.20. Masif tel yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Özlü tel ürünlerinin sertliğinin; öz miktarı ile değişmesi ve bu değişimin kontrol edilebilmesi, yüzey kalitesi bakımından masif tel karşısında özlü teli daha avantajlı hale getirir. Masif teldeki en büyük problem, yüzeyi korozyondan koruma amaçlı gerçekleştirilen bakır kaplamadır. Şekil 4.21 'de bakır kaplama kalitesi düşük bir masif telin yüzey profilometresi yer alırken, Şekil 4.22 'de yüksek kaliteli bakır kaplanmış masif telin yüzey profilometresi verilmiştir.



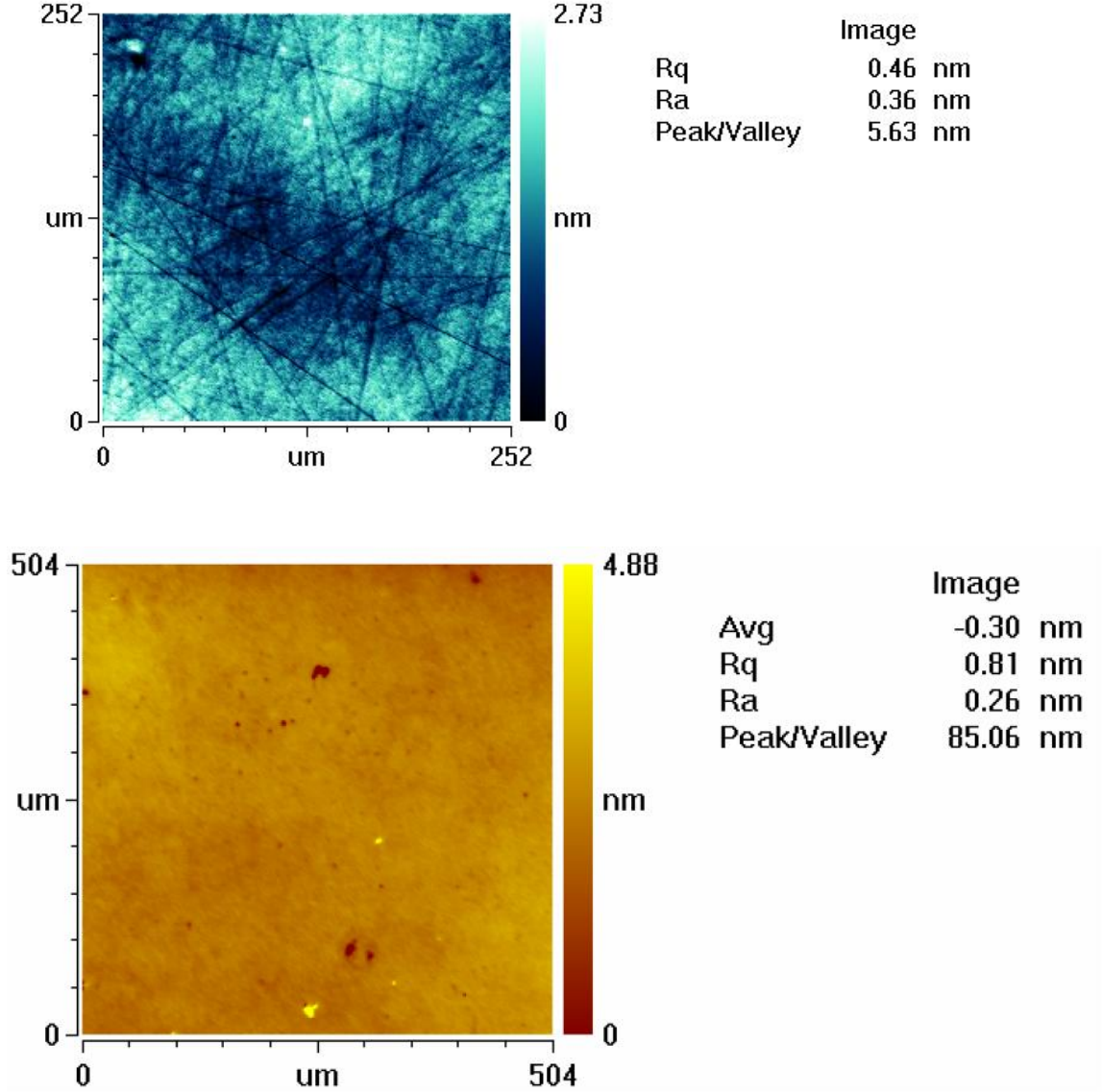
Şekil 4.21. Bakır kaplama kalitesi düşük masif tel



Şekil 4.22. Bakır kaplama kalitesi yüksek masif tel

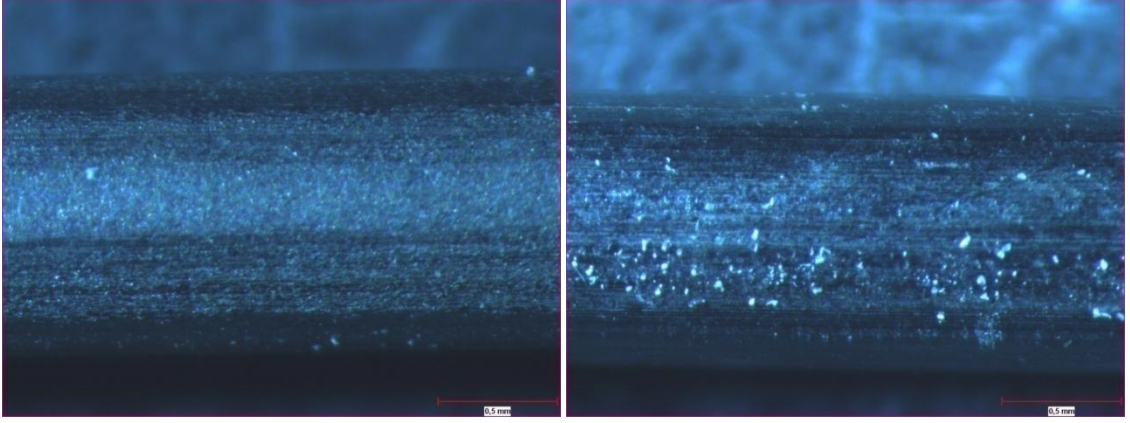
Özlü tellerde yüzey kalitesi; kullanılan yüzey ajanlarına, hadde kalitesi ve karakterine, yüzey sertliğine ve yüzey pürüzlüğüne bağlıdır.

Şekil 4.23 'de aynı şartlarda üretilmiş özlü tel ve masif tel yüzeyleri gösterilmiştir. Özlü tel yüzeyindeki çizik şeklinde görülen izler, imalat esnasında son haddeden sonra kullanılan yüzey temizleme prosesinden gelen ancak maksimum 5,63 nm derinliğindeki lekelerdir. Diğer taraftan masif tel yüzeyindeki gözenekler, en kaliteli yüzeyde bile görülen ve derinliği maksimum 85,06 nm değerindeki lekelerdir ve özlü tele kıyasla daha derin olması nedeni ile tel besleme esnasında kaynak makinesinin torçunda daha fazla vibrasyona sebep olmaktadır.



Şekil 4.23. Özlü tel yüzeyi (üstte), masif tel yüzeyi (altta)

Özlü telde kaliteli ve kalitesiz yüzeyin kontrolü kadar tespiti de çok önemlidir. Özlü tel yüzey kalitesini tespit etmek için kullanılan en yaygın iki yöntem, sürekli tel besleme (sürme) testi ve stereo mikroskop ile makro kontroldür. Sürme testinde, kaynak esnasında farklı parametrelerin sonucu etkileyebilmesi ve yanlıgılara sebep olması nedeni ile stereo mikroskop ile yüzey kalitesi kontrolü daha güvenilir bir yöntemdir. Şekil 4.24 'de kaliteli ve kalitesiz özlü tel yüzeylerinin stereo mikroskop resimleri verilmiştir.



**Şekil 4.24.** Kaliteli yüzeye (solda) ve kalitesiz yüzeye (sağda) sahip özlü tellerin stereo mikroskop ile çekilmiş yüzey resimleri.

Yüzey kalitesine bağlı olarak gerçekleştirilen yüzey işlemlerinin en önemli uygulamaları sert dolgulardır. Tozaltı kaynak tozu tekniği ile özlü tel tekniklerinin avantajlarının bir araya getirilip, dezavantajlarının giderildiği bu uygulamalarda yüksek alaşımlı kaynak metallerinin elde edilmesi mümkün hale gelmektedir.

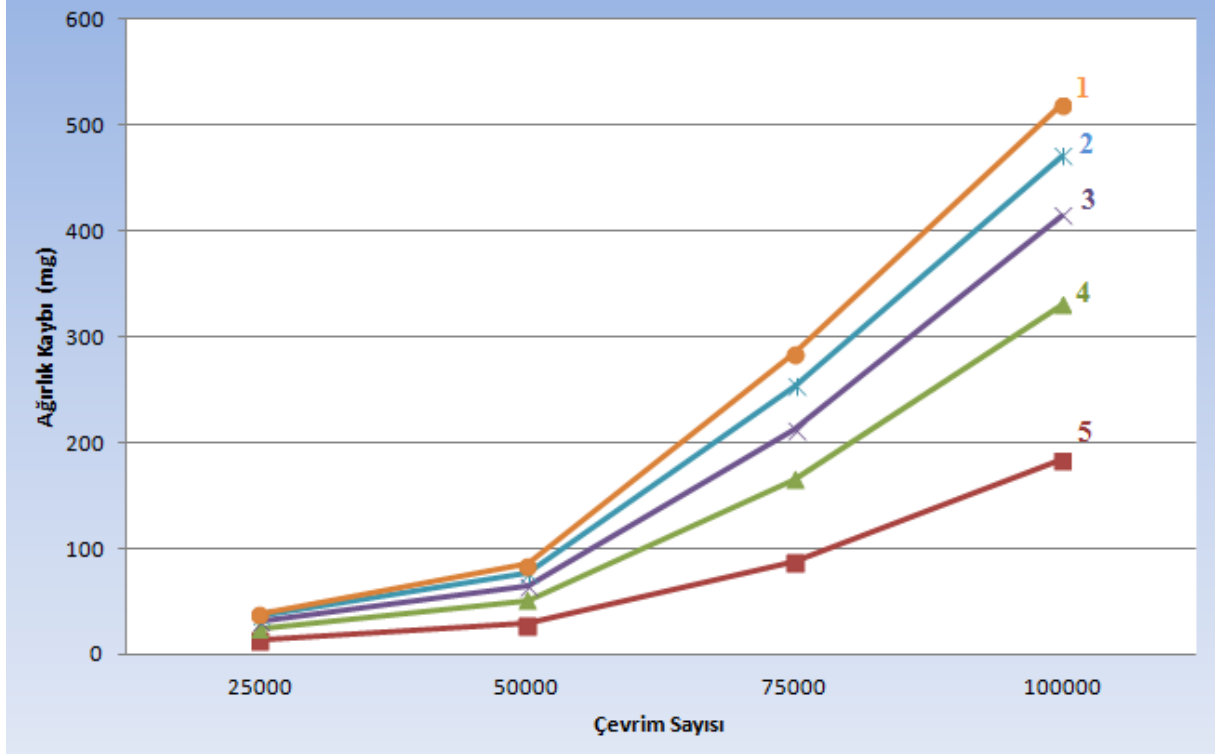
Özlü tel ve tozaltı kaynak tozu kombinasyonu ile alaşım elementlerinin miktarları rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Tablo 4.13 'de farklı kimyasal analize sahip kaynak metallerinin sertlik değerleri verilmiştir.

**Tablo 4.13.** Farklı kimyasal analize sahip ürünlere ait sertlik değerleri

	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Nb</b>	<b>W</b>	<b>Fe</b>	<b>Sertlik</b>
<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>3,0</b>	-	-	<b>Kalan</b>	<b>300 HB (~31 HRc)</b>
<b>2</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>7,0</b>	-	-	<b>Kalan</b>	<b>59 HRc</b>
<b>3</b>	<b>3,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>35</b>	-	-	<b>Kalan</b>	<b>60 HRc</b>
<b>4</b>	<b>7,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>35</b>	<b>7,0</b>	-	<b>Kalan</b>	<b>63 HRc</b>
<b>5</b>	<b>7,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>35</b>	<b>7,0</b>	<b>3</b>	<b>Kalan</b>	<b>67 HRc</b>

Bu tabloda; artan krom ve karbon miktarının sertliği çok fazla yükselttiği ancak tek başına artan kromun sertliği çok yükseltmediği, ilave edilen niyobyumun da sertliği tungsten (wolfram) kadar etkilemediği tespit edilmiştir fakat bu elementlerin ilave edilmesindeki esas amaç, ürünlerin aşınma dirençlerinin artırılmasıdır. Bu sebeple, bir sonraki aşamada Tablo 4.13' de belirtilen ürünler ile aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.25 'de Tablo 4.13 'de sertlik ve analiz değerleri verilen ürünlere ait sürtünme-aşınma test eğrileri gösterilmiştir. Buna göre, en yüksek sertlik değerine sahip olan 5 numaralı ürün en yüksek aşınma direncine sahip iken; 4 numaralı üründe niyobyumun, 5 numaralı üründe ise tungstenin aşınma dirençlerini arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4.25. Farklı kimyasal analize sahip TKT+ÖT uygulamalarına ait sürtünme-aşınma test sonucu.

Şekil 4.25 'in daha anlaşılır hale gelmesini sağlamak amacı ile Tablo 4.14 'de çevrim sayısına bağlı olarak aşınma kayıplarının miligram cinsinden miktarları verilmiştir. Numuneler arasındaki aşınma miktarları farkı, artan çevrim sayısı ile birlikte artış göstermiştir. Bunun sebebi ise wolfram ve niyobyumun artan aşınma dirençleridir.

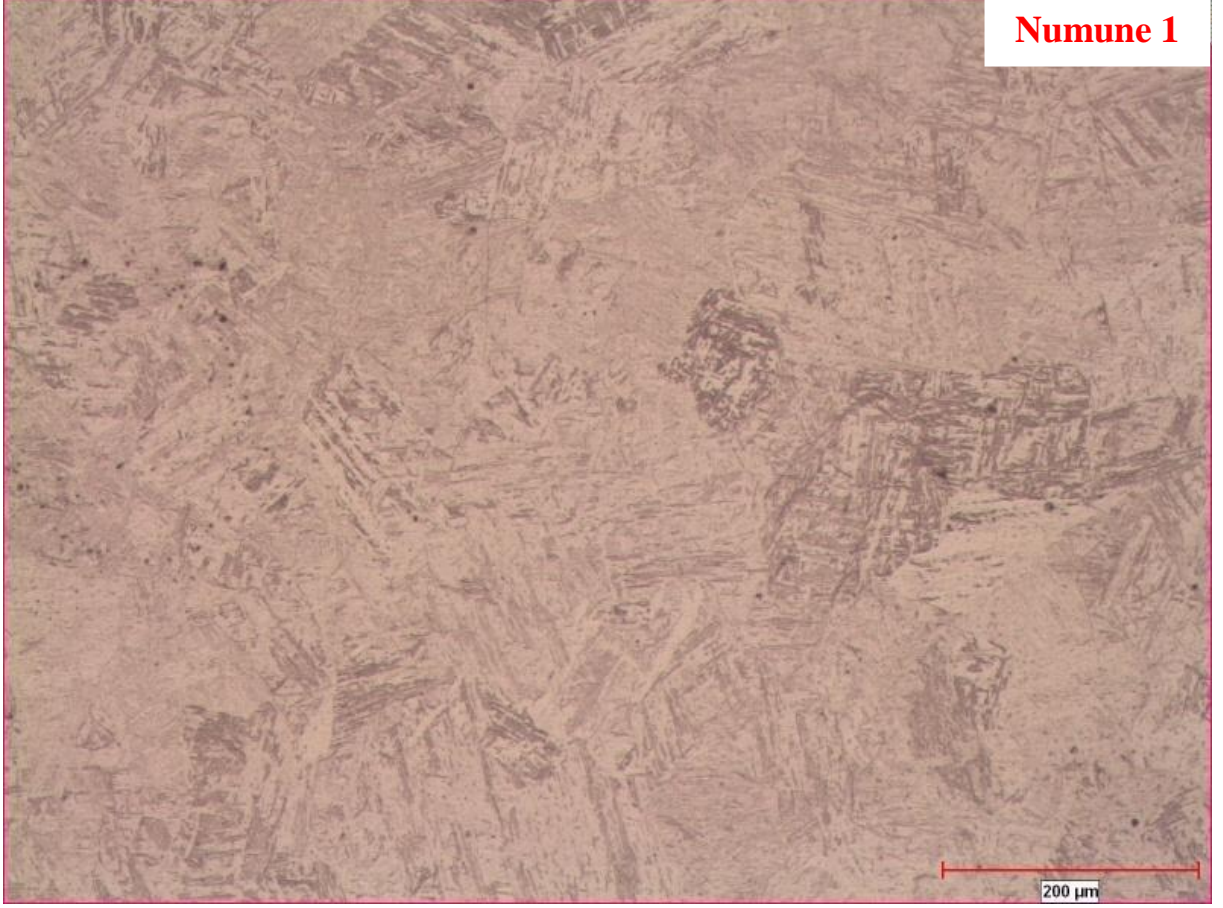
Tablo 4.14. Çevrim sayısına bağlı kayıp miktarları

Çevrim Sayısı	Numune Kodu ve mg Cinsinden Kayıp Miktarları				
	1	2	3	4	5
25.000	14	10	7	5	3
50.000	29	22	14	12	8
75.000	88	77	47	41	32
100.000	184	146	85	56	48



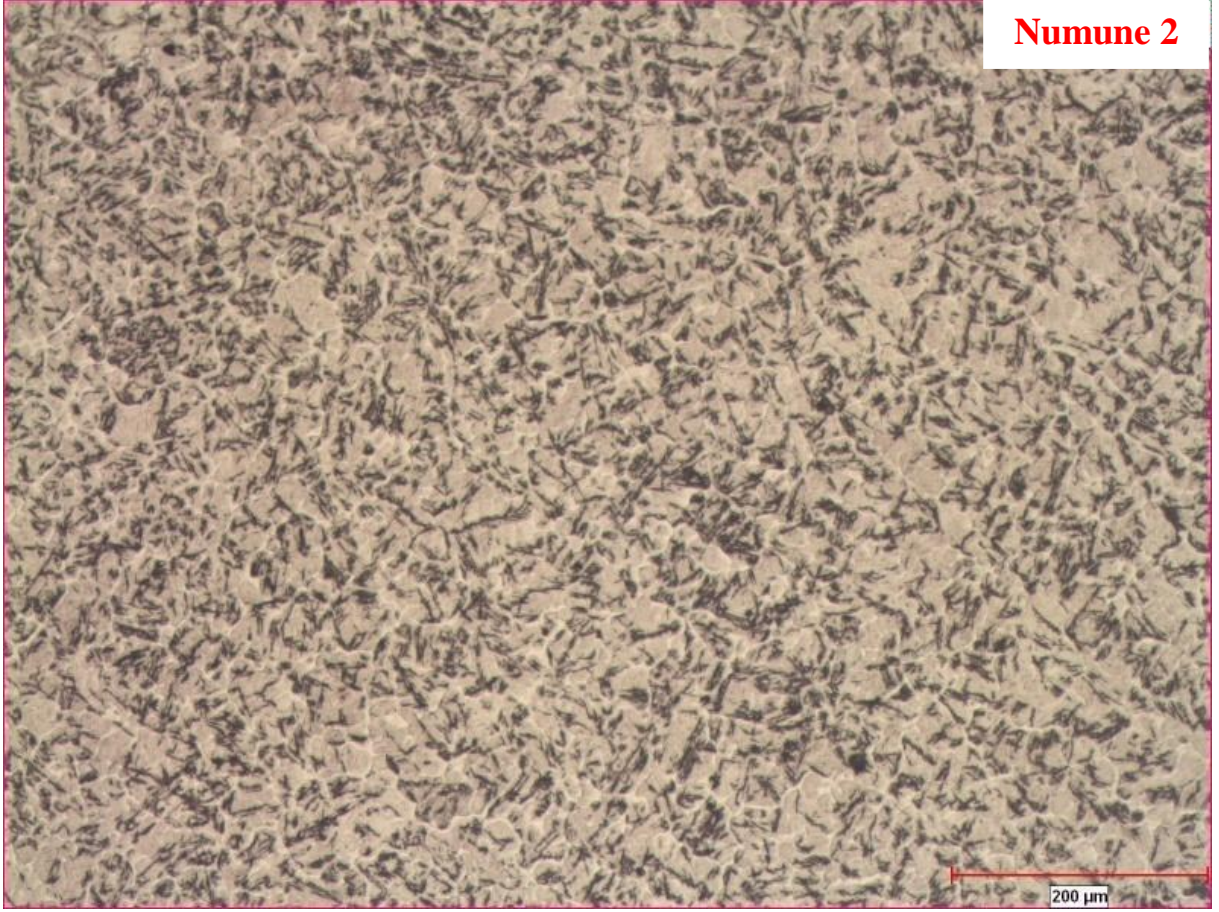
Kimyasal analizlerin farklılığı, makro olarak mekanik özellikleri etkilemesinin yanında mikro düzeyde yapıyı da doğal olarak etkilemektedir. Bu sebeple tüm ürünlerin mikro yapıları incelenmiştir.

1 numaralı ürünün 100x büyütmedeki mikro yapısı Şekil 4.26 'da verilmiştir.



Şekil 4.26. 1 numaralı ürünün mikro yapısı

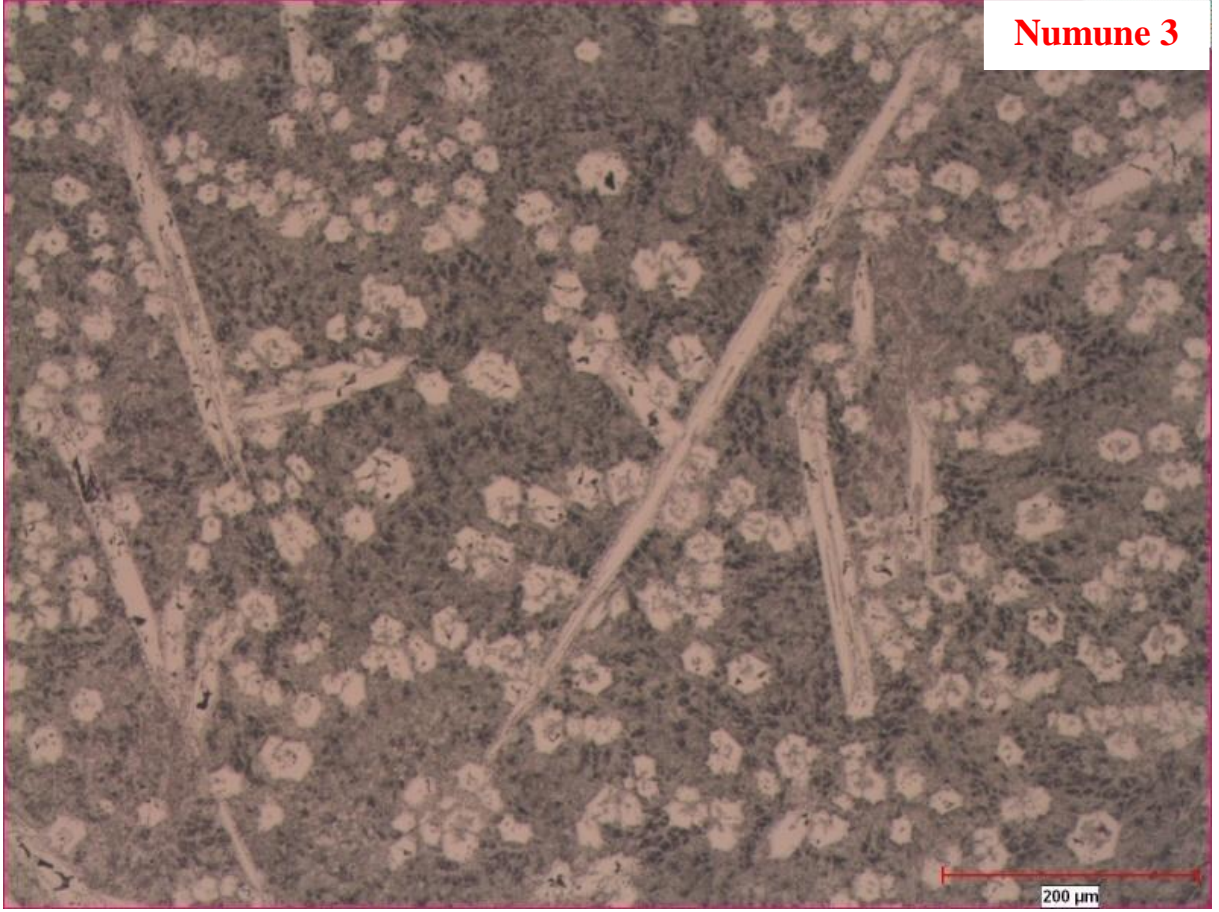
Şekil 4.26 'da görüldüğü gibi krom karbürler; demir matrisi içerisinde seyrek ancak yığılım olmadan, homojen bir şekilde dağılım göstermiştir. Bu homojen dağılım, kaynak metalinin sertlik ve aşınma özelliklerinin de konstrüksiyona homojen bir şekilde iletilmesini sağlayarak çok büyük bir avantajı beraberinde getirmektedir.



Şekil 4.27. 2 numaralı ürünün mikro yapısı

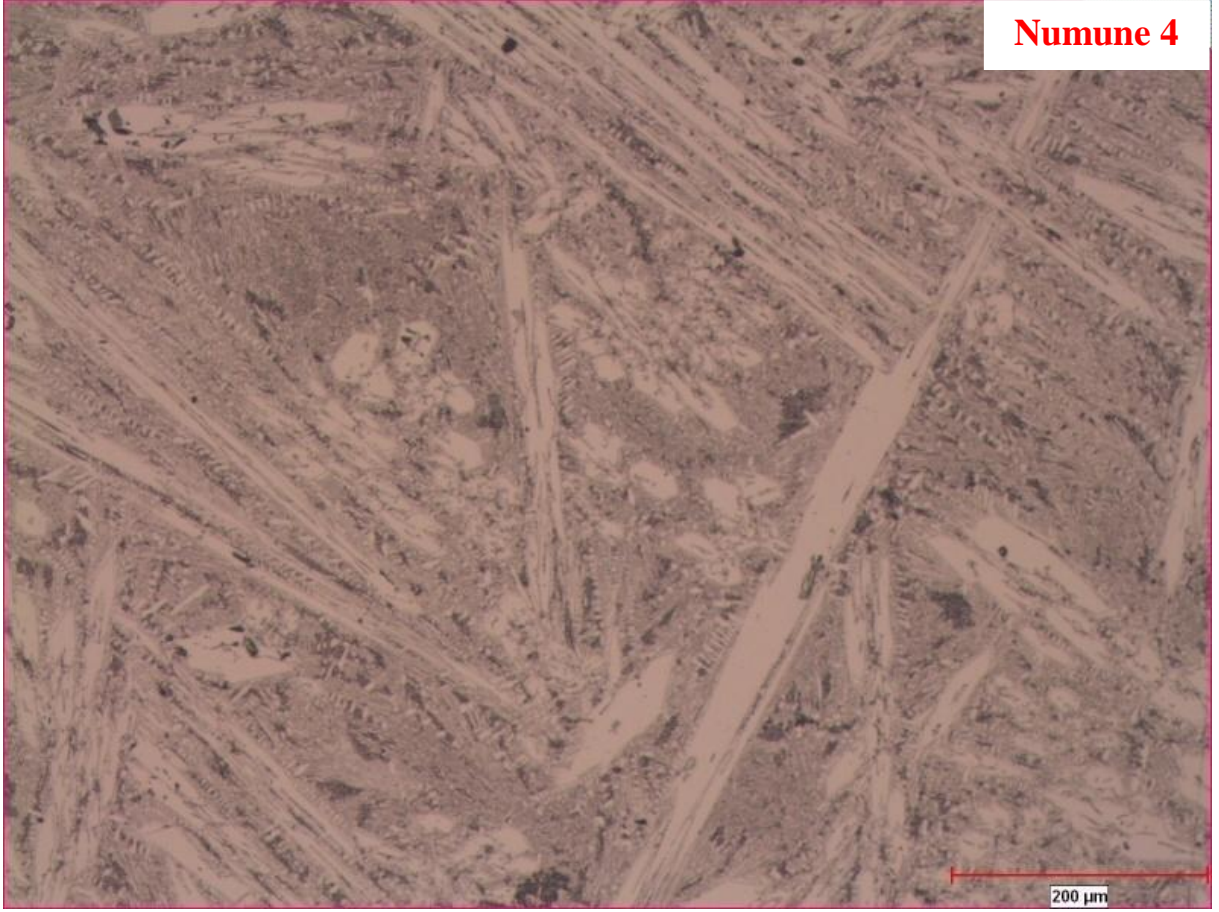
Şekil 4.27 'de, artan krom karbürlerin mikro yapı içerisindeki homojen dağılımı net olarak tespit edilmektedir. 1 numaralı numuneye kıyasla tanelerin küçüldüğü ve taneler içerisindeki krom karbür yoğunluğunun arttığı gözlenmektedir. Taneler içerisindeki krom karbür yoğunluğundaki bu artış, 1 ve 2 numaralı numuneler arasındaki sertlik değerlerinin farkının sebebidir.





**Şekil 4.28.** 3 numaralı ürünün mikro yapısı

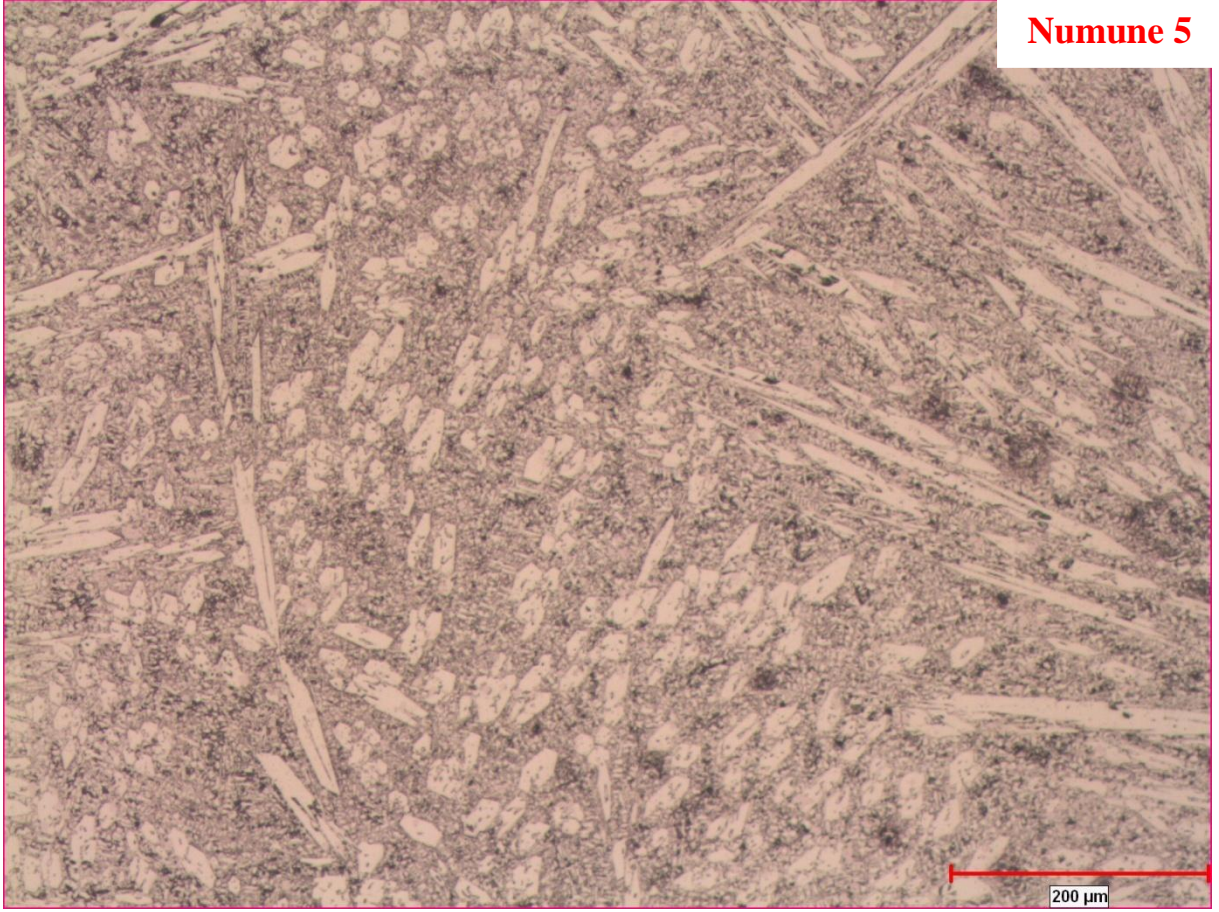
3 numaralı üründe, metal matris içerisinde artan karbondan kaynaklanan grafit oluşumu Şekil 4.28 'de tespit edilmektedir. Artan karbon miktarı sertliği doğrudan etkilememiş ancak aşınma direncinde 2 numaralı ürüne kıyasla bir avantaj sağlamıştır.



Şekil 4.29. 4 numaralı ürünün mikro yapısı

4 numaralı üründe 3 numaralı ürüne göre artan karbon miktarı, grafitlerin matris içerisindeki oranını arttırmış, ilave edilen niyobyum ise tane içlerinde karbürler oluşturarak ötektik yapıyı oluşturmuştur. Bu oluşum, Şekil 4.29 'daki mikro yapıda net bir şekilde görülmektedir.





**Şekil 4.30.** 5 numaralı ürünün mikro yapısı

5 numaralı üründe; 4 numaralı ürüne ilave edilen tungstenin yüksek ergime sıcaklığından kaynaklanan ötektik faz içerisindeki dendritik yapıların oluştuğu tespit edilmiş ve Şekil 4.30 'da bu mikro yapı gösterilmiştir. Bu yapıların varlıkları, makro olarak yüksek sertlik ve mikro olarak yüksek aşınma direncini beraberinde getirmektedir.

## 5. GENEL SONUÇLAR VE GELECEĞE YÖNELİK ÇALIŞMA PLANI

### 5.1 Çalışmanın Genel Sonuçları

Çalışmanın genel sonuçlarını maddeler halinde şu şekilde ortaya koymak mümkündür:

#### A. Tozaltı Kaynak Tozları İçin:

1. “Aglomera Flux Üretim Tekniği”nin kullanılması; formülasyon esnekliği bakımından yenilikçi ve yerli hammadde kullanılabilirliğinin avantajı ile düşük maliyetli, rekabetçi ürünler üretebilmesini sağlayarak dışa bağımlılığımızı ortadan kaldırmıştır.
2. Aglomere Flux Üretim Tekniği’nde kullanılan hammaddelerin tane boyutları nihai ürünün özelliklerini etkilememektedir.
3. Bununla birlikte nihai ürün olan tozun partikül boyutları ise kaynak metalinin bir çok özelliğini etkilemektedir. Bunlar:
  - a. Akma ve çekme mukavemeti, partikül boyutu arttıkça azalmakta ve partikül boyut aralığı arttıkça artmaktadır. Aynı şekilde partikül boyut dağılımında iri tanelerin yüzdesi arttıkça yüzde uzama miktarı azalmaktadır.
  - b. Çentik darbe değerleri, ince partiküllü tozlarda yükselmekte ve partiküller irileştikçe azalmaktadır.
  - c. Kaynak metalinin kimyasal bileşimleri, partikül boyutlarına ve aralıklarına bağlı olarak sistematik bir değişim göstermemektedir.
  - d. Kaynak metalinin % inklüzyon miktarı, artan partikül boyutu ile artmaktadır.
  - e. Kaynak dikiş nüfuziyeti partikül boyutu arttıkça azalmaktadır.
  - f. Yayınabilir hidrojen miktarı partikül boyut aralığı ile doğru orantılı olarak değişim göstermektedir.
  - g. Tozaltı kaynak tozlarında 5 çevrime kadar toz analizinde herhangi bir değişiklik olmaz iken ince partiküllü tozların önce reaksiyona girmesi nedeni ile partikül boylarında meydana gelen artış kaynak kabiliyetini olumsuz etkilemektedir.

#### B. Özlü Teller İçin:

1. Bindirme kenetli özlü tel ile imalat yapılması; yüksek imalat hızları nedeni ile bir avantaj meydana getirir iken, boru tipine göre kenet bölgesinin hassasiyeti dezavantajını beraberinde getirmektedir.

2. İmalatlarda doldurma oranı ağırlıkça belirlenmiştir.
3. Özlü tel imalatında ağırlıkça %70 doldurma oranı optimum değer olarak kabul edilmiştir.
4. İmalatlarda avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak sodyum ve potasyum yüzey ajanları kullanılmıştır.
5. Çelik hammaddesinin %0,08 karbon değeri, eşik değer olarak kabul edilmiştir.
6. %0,04 C, % 1,40 Mn ve % 0,50 Si değerlerini içeren kaynak analizlerine sahip ürünlerin üretilmesi optimum mekanik değerlerin elde edilmesini sağlamıştır.

### **C. Tozaltı Kaynak Tozu ve Özlü Tel Kombinasyonu İçin:**

1. Ürünlerin sertlikleri arttıkça aşınma dirençleri de artar iken, kimyasal analizlerin mikro yapıları doğrudan etkilediği net bir şekilde tespit edilmiştir.
2. Artan krom karbür miktarı mikro yapıyı net bir şekilde değiştirirken ilave edilen diğer refrakter metaller ötektik ve dendritik yapının oluşmasını sağlamıştır.
3. Özlü teldeki düşük verim ve tozaltı kaynağındaki alaşımlandırılmama problemleri bu yöntem ile çözülmüştür.
4. Son kullanıcının talep ettiği kimyasal içeriği sağlayan reçetelerin hazırlanabilmesinin önü açılmıştır.
5. Türkiye’de ilk defa sert dolgu tozaltı özlü telinin imalatı büyük oranda yerli hammadde kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## **5.2 Yenilikçi ve Ekonomik Etkiler**

Sunulan proje ile kaynaklı birleştirme ve sert dolgu uygulamaları için üretilen tozaltı kaynak tozu ile özellikle basınçlı LPG ve LNG tüplerin, boru hatlarının, gemi inşaatı ve çelik konstrüksiyonların tozaltı kaynaklı birleştirmeleri ile makine imalat endüstrilerinde, döküm, tank ve demiryolu fabrikalarında yaygın olarak kullanılan özlü teller ile tozaltı sert dolgu uygulamaları için Ar-Ge faaliyetlerinin gerçekleşmesinin önü açılmış ve bu tez ile TÜBİTAK-TEYDEB 3130488 numaralı Sanayi Ar-Ge projesi birlikte yürütülmüştür.

Ülkemizde henüz tozaltı kaynak tozu ve özlü tel kombinasyonunu içeren mevcut herhangi bir know-how ve patent bulunmamaktadır. Bu proje; tozaltı kaynak tozu ile özlü tel kombinasyonunu kapsayan çalışmalar ve bu çalışmaların endüstriyel uygulamalarını içermiş olup, kullanıcılar için faydalı bir rehber teşkil edecek ve üniversite-sanayi işbirliği için örnek bir çalışma olarak kayıt altına alınacaktır.

### 5.3 İleriye Dönük Çalışma Planı

Araştırma kapsamında üretilen tüm örnekler çeşitli testlere tabi tutulmuş ve sonuçlar analiz edilmiştir ancak pratik uygulamalar için iş parçalarının fonksiyonel kaynak işlemlerine tabi tutulup performans değerlendirmelerinin yapılmasının yerinde olacağı düşünülmektedir. Bu şekilde gerek korozif, gerek tribolojik şartlarda daha gerçekçi ve son kullanıcı için daha somut verilerin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Gelişen malzeme teknolojisine bağlı olarak artan birleştirme ve kaplama uygulamaları için o malzemeye özel reçetelerin oluşturulması, daha çok verinin elde edilmesi ve yeni ürünler için yatırım ve istihdam planlarının oluşmasının önünü açacaktır. İleriye dönük çalışmalarda; geliştirilen malzemeler için gereken kaynak sarf malzemelerinin reçeteleri hazırlanmalı, sahada uygulanmalı ve bilimsel yayınlara dönüştürülmelidir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

**Akkaş, N.**, 2006, Tozaltı köşe kaynağında yapay zeka teknolojileri kullanılarak dikiş geometrisinin modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 5-18s.

**Anık S., Dikicioğlu A. ve Vural M.**, 1999, İmal Usulleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 5-279s.

**Anık, S. ve Tülbentçi, K.**, 2000, Tozaltı kaynak tekniği, Kaynak Teknolojisi 2, Gedik Kaynak San. Tic. A.Ş., İstanbul, 3-4, 17-29s.

**Burhan O.**, 1989, Ark Kaynağı, Oerlikon Yayını, 2s.

**Carry, H.B.**, 1998, Modern Welding Technology 4 th.Ed. PrenticeHall.

**Ceyhun, V., Elöve, D., Tatlıses, B. ve Tunca, İ.**, 2007, AWS A5.20 (E71T-1) Özlü tel elektrod ve CO<sub>2</sub> koruyucu atmosferde alın kaynağı yapılmış S355 (St 52) sacının kaynak sonrası mikroskobik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Metal Dünyası, Haziran, 116-119s.

**Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B. ve Taskın, M.**, 2010, "An investigation into the effect of welding current on the plasma arc welding of pure titanium", Materials and Design, 48 (3), 1-6p.

**Eryürek B. İ.**, 2004, Çelikler İçin Örtülü Elektrod Seçimi, Lincoln Electric, 12s.

**Eryürek, İ.B.**, 2003, Gazaltı Kaynağı, İTÜ Makine Fakültesi Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi, 2, 5-6s.

**Gedik Eğitim Vakfı**, 1991, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, 8s.

**Gülsöz, A.**, 2000, Özlü tel elektrodların önemi ve kaynak özellikleri, Mühendis ve Makine Kaynak Özel Sayısı, Eylül, 35-40s.

**Işıklar, M.**, 2009, Farklı Boyutlardaki Şaselerin Kaynak Aparatının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 31-35s.

**Kahraman, N. ve Gülenç, B.**, 2009, Modern Kaynak Teknolojisi, EPA-MAT Basım 34. Yayın, Ankara, 30-38s.

**Kaluç, E.**, 2004, Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Cilt 1: Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri, Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Kocaeli 1-356s.

**Keehan, E.**, 2004, Effect of Microstructure on Mechanical Properties of High Strenght Steel Weld Metals, ISBN 91-7291-523-4, Chalmers University of Technology and Göteborg University, Department of Experimental Physics, Göteborg, Sweden, 1-6p.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kılınçer, S.**, 1998, Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 22-27, 66-8s.
- KOMAÇ, E.**, 2009, Teknik Eğitim El kitabı, ASKAYNAK, 1s.
- Modenesi, P.J., Apolinario E.R., Pereira, I.M.**, 2000, TIG Welding with single component fluxes, Mater Process Technology, 260-265p.
- Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi Anonim Şirketi**  
[http://www.oerlikon.com.tr/images/p469\\_4\\_02\\_241.jpg](http://www.oerlikon.com.tr/images/p469_4_02_241.jpg) (Erişim tarihi: 27 Kasım 2014).
- Özen Makina Sanayi ve Tic. A.Ş, Kaynak Teknolojisi**, Kaynak Eğitimi 1,  
[http://www.ozenmakina.com.tr/contents/kaynak\\_egitimi\\_01.pdf](http://www.ozenmakina.com.tr/contents/kaynak_egitimi_01.pdf) (Erişim tarihi: 27 Kasım 2014).
- Raj B, et.al.**, 2008, Welding Technology for Engineers, Alpha Science, 180-188p.
- SADIK U.**, 2010, Ark Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 3s.
- Soncu, R.**, 2009, Çelik Platina Malzemelere Dik Pozisyonda Tozaltı Kaynağı Yönteminin Uygulama Parametrelerinin İncelenmesi ve Yöntemin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 4-20s.
- Sönmez U.**, 2009, Gemi Saçlarının Özlü Tel Elektrod ile Kaynağında Kaynaklı Birleştirmenin Dayanım ve mikroyapı Özelliklerinin Araştırılması, 4-5-12s.
- Tekin, A.**, 1981, Çeliklerin Metalurjik Dizayını ,Doktora Tezi, İ.T.Ü. Metalurji Fak., İstanbul, Türkiye.
- The Miller Electric MFG. CO.**, 1982, The Handbook Of SAW, Rev. 11/85, USA 1-3p.
- Tülbentçi, K.**, 1990, MIG - MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding Yayınları, İstanbul, 1-7, 23s.
- Tülbentçi, K.**, 1998, MIG-MAG Kaynak Yöntemi, Arctech Yayın No:2, İstanbul.
- Tülbentçi, K.**, 1985, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Böhler Kaynak Dünyası, Sayı:11, İstanbul, Türkiye.
- Tülbentçi, K.**, 1990, Mig-Mag Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, İstanbul, Gedik Holding Yayınları.
- Vaidya, V.V.**, 1989, Flux Cored Arc Welding Wires-Factors Affecting Selection, Canadian Welder and Fabricator, November, 19-24p.



**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

**Vallant, R. and Cerjak, H.**, The influence of different Nb/C ratio in Ni-base weld metals type 70/20 and 70/15 on the hot cracking susceptibility, <http://www.weldnet.com.cn/English/information/II-1535-04.htm> (Erişim tarihi: 27 Kasım 2014).

**Vural M.**, 2003, Kaynak ve Birleştirme Teknolojisi, İmal Usulleri Ders Kitabı, İ.T.Ü, 232s.

**Yavuz, N., Özcan, R. ve Polat, F.G.**, 2005, “Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi”, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Bursa 10 (2): 12-13s.