

Dubleks Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Uygulamaları

*Yunus Halim UÇ
Metalurji ve Malzeme Müh.
Uluslararası Kaynak Müh.*

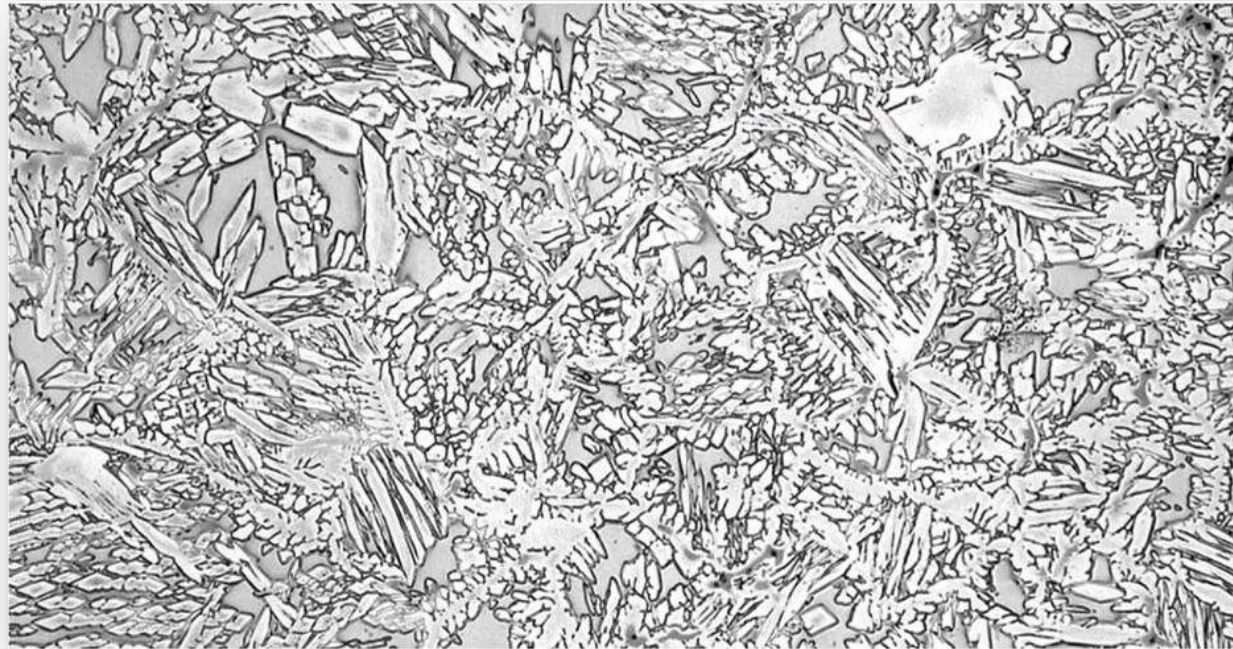
İçerik

- 1. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Tanıtımı ve Özellikleri**
- 2. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynak İşlemi**
- 3. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Uygulaması**
- 4. Sonuç**

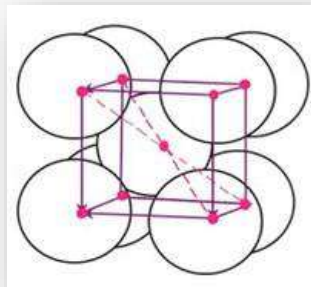
1. Dupleks Çelikler

Östenitik-Ferritik Çelikler

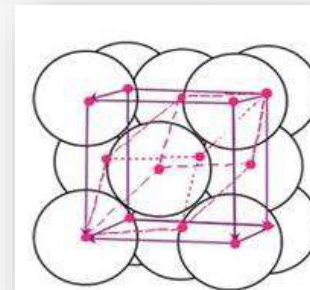
% 21-29 Cr
 % 3-9 Ni
 % 0-4 Mo
 % 0-1 N



~ 50% δ - Fe ferrit
 HMK (bcc)



~ 50% γ - Fe östenit
 YMK (fcc)



1. Dupleks Çelikler

- Dupleks paslanmaz çelikler, yaklaşık %45-60 arası östenit γ içeren ferritik δ bir matristen oluşur (EN 1011-3 Annex C).
- Teorik olarak %50-50 ferrit-östenit oranı en iyi dupleks özelliklerini sunar
- Pratikte, özellikle kaynaklı imalat sonrası ferrit-östenit miktarlarında değişimler gözlenir.
- Kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölgede (HAZ), ASTM E562 faz analiz standardına göre yapılan ölçümlerde ferrit ve östenit faz en az %40-60 oranında olmalıdır.

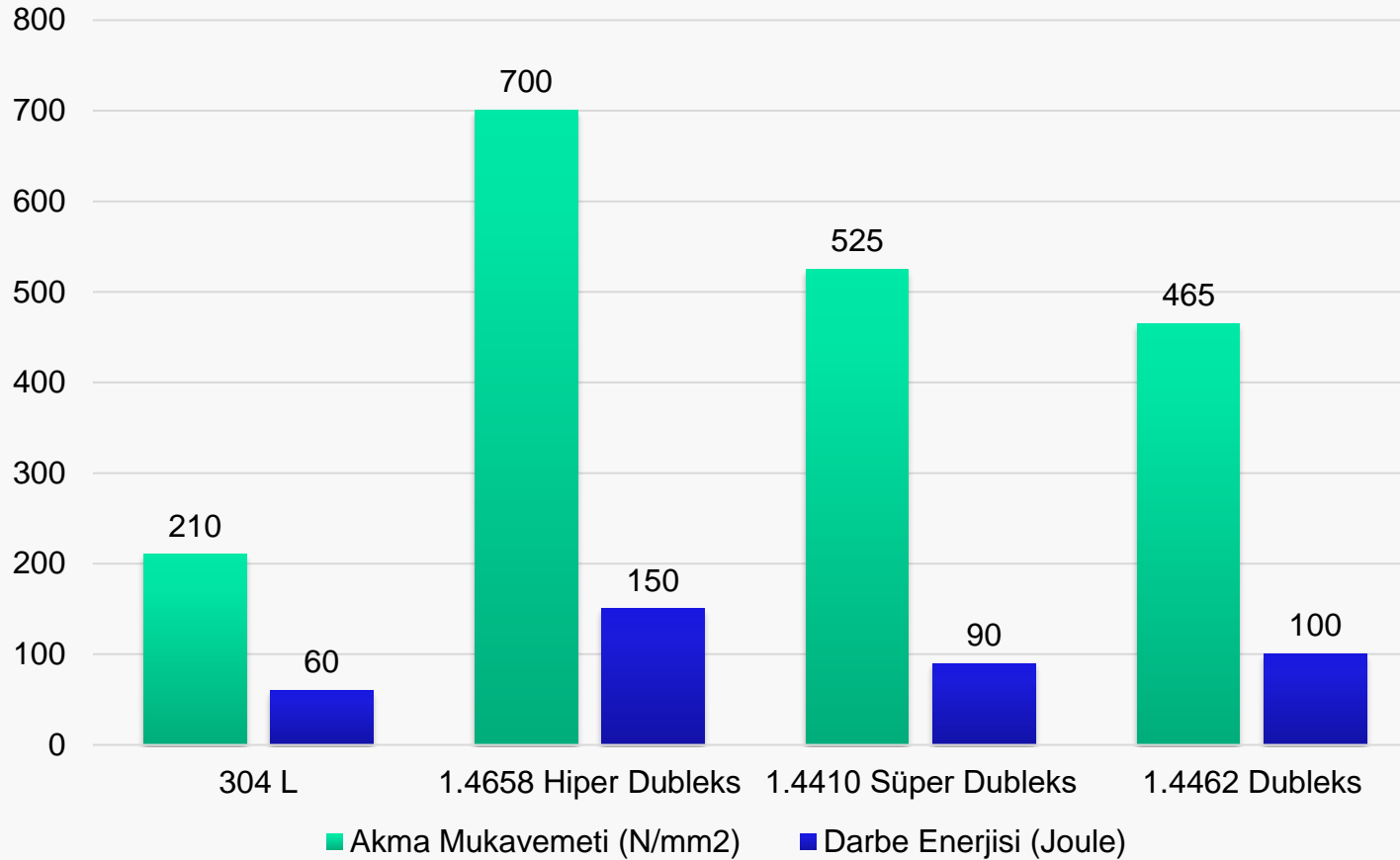
1. Dupleks Çelikler

Neden ihtiyaç var?

- Korozyona yüksek direnç (Süper, Hiper Dupleksler)
Östenite göre PRE numaraları daha yüksek
- ELC olarak üretim (Taneler arası korozyon riski yok!)
- Östenit ve Ferrite göre mukavemet değerleri (akma ve çekme) daha yüksek
- Kaynak sonrası kalıntı gerilmeye yeterli direnç-östenite göre çekme çarpılma gibi deformasyonlara daha az uğrar

1. Dupleks Çelikler

Östenitik çelikler ile dupleks çeliklerin karşılaştırılması



1. Dupleks Çelikler

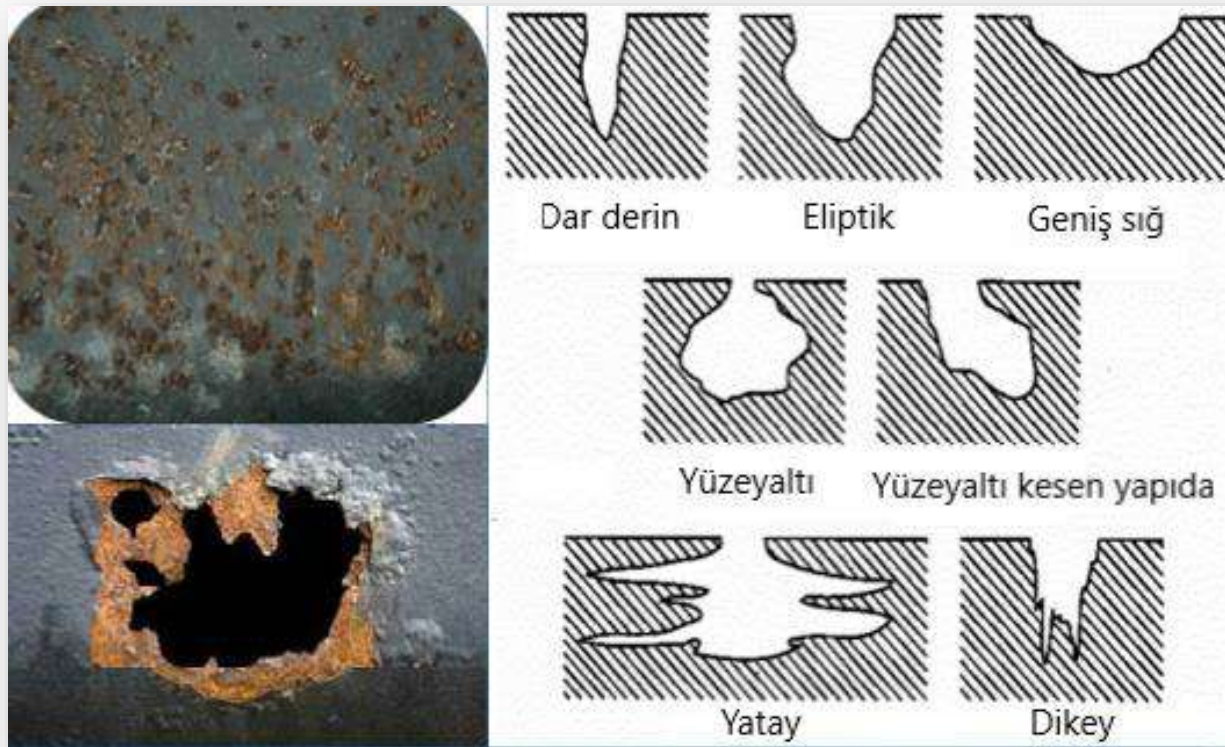
- Östenite göre dayanımları yüksektir.
- Korozyon dirençleri yüksektir.
- Toklukları iyidir.
- Deformasyon kabiliyetleri ve yorulma mukavemetleri iyidir.
- Dönüşümsüzdürler ve bundan dolayı normalize edilemezler ve sertleştirilemezler.
- Uygulama sıcaklıkları $< 300\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Manyetikdirler.

1. Dupleks Çelikler

Çukurcuk korozyonu direnci

$$\text{PRE} = \% \text{Cr} + 3,3x \% \text{Mo} + 16x \% \text{N} \quad (\text{Pitting Resistance Equivalent})$$

PRE değeri ne kadar yüksekse korozyona direnç o kadar yüksek



1. Dupleks Çelikler

Çukurcuk korozyonu direnci

Yaygın kullanılan dupleks çelikler

	Gösterim	Nr.	PRE
Yalın Dupleks	X2CrNiN23-4 (SAF 2304)	1.4362	25
Dupleks	X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	30
Dupleks	X2CrNiMoN22-5-3 (SAF 2205)	1.4462	35
Süper Dupleks	X2CrNiMoCuN25-6-3	1.4507	40
Süper Dupleks	X2CrNiMoN25-7-4 (SAF 2507)	1.4410	42
Hiper Dupleks	X2CrNiMoN27-7-5 (SAF 2707)	1.4658	48

1. Dupleks Çelikler

Çukurcuk korozyonu direnci

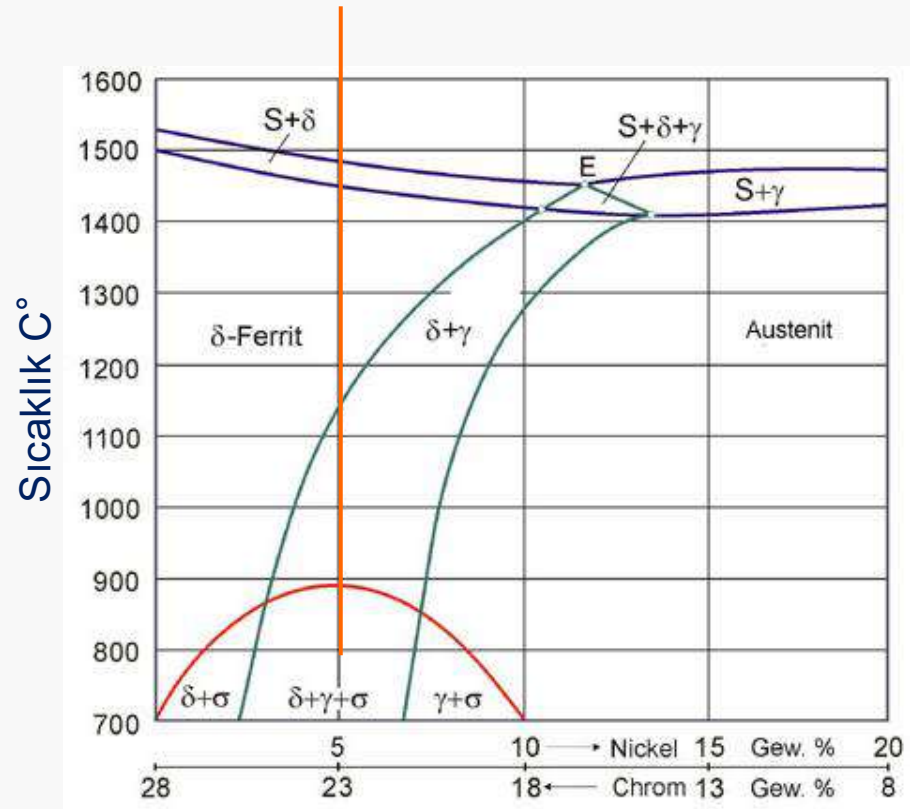


Alaşım	PRE
X5CrNiMo 17-12-2 (316L) Östenitik P. Çelik	24
X1NiCrMoCu 25-20-5 (904L) Süper Östenitik P. Çelik	34
SAF 2304 Yalın Duplex P. Çelik	25
SAF 2205 Duplex P. Çelik	35
SAF 2507 Süper Duplex P. Çelik	42

1. Dupleks Çelikler

- Katılma δ -ferritik
- Yaklaşık 1200° C altında kısmi östenit oluşumu
- t 12/8 önemli !
 - Östenitik-ferritik mikroyapı burada eşitleniyor

1.4462 (X2CrNiMoN 22 5 3)

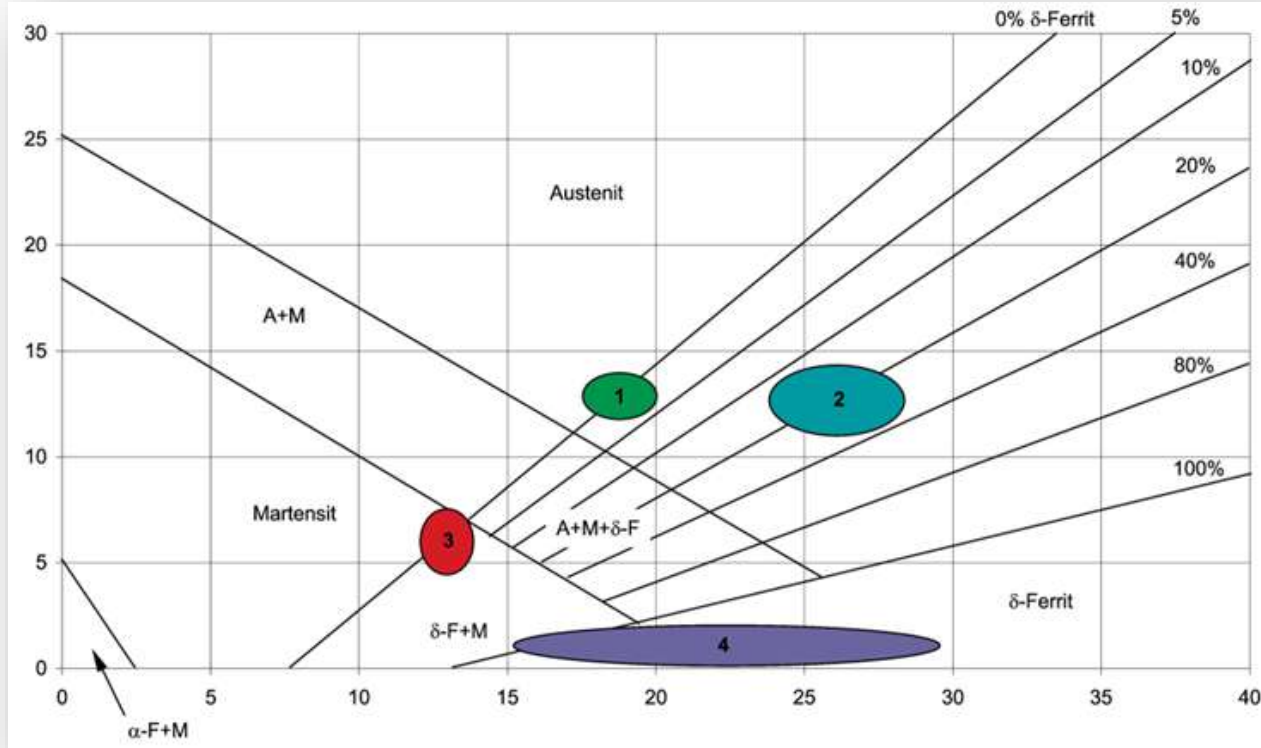


Yaklaşık %70 Fe oranında
Fe-Cr-Ni sisteminden kesit

1. Dupleks Çelikler

Schaeffler Diyagramı

Ni-eş değeri = Ni + 30 (C+N) + 0,5 Mn



Cr-eş değeri = Cr + Mo + 1,5 Si + 0,5 (Ti + Nb)

*De Long Diyagramı (Kaynaklı imalat için önerilir)

*WRC-1992 Diyagramı (Dupleks çelikler için)

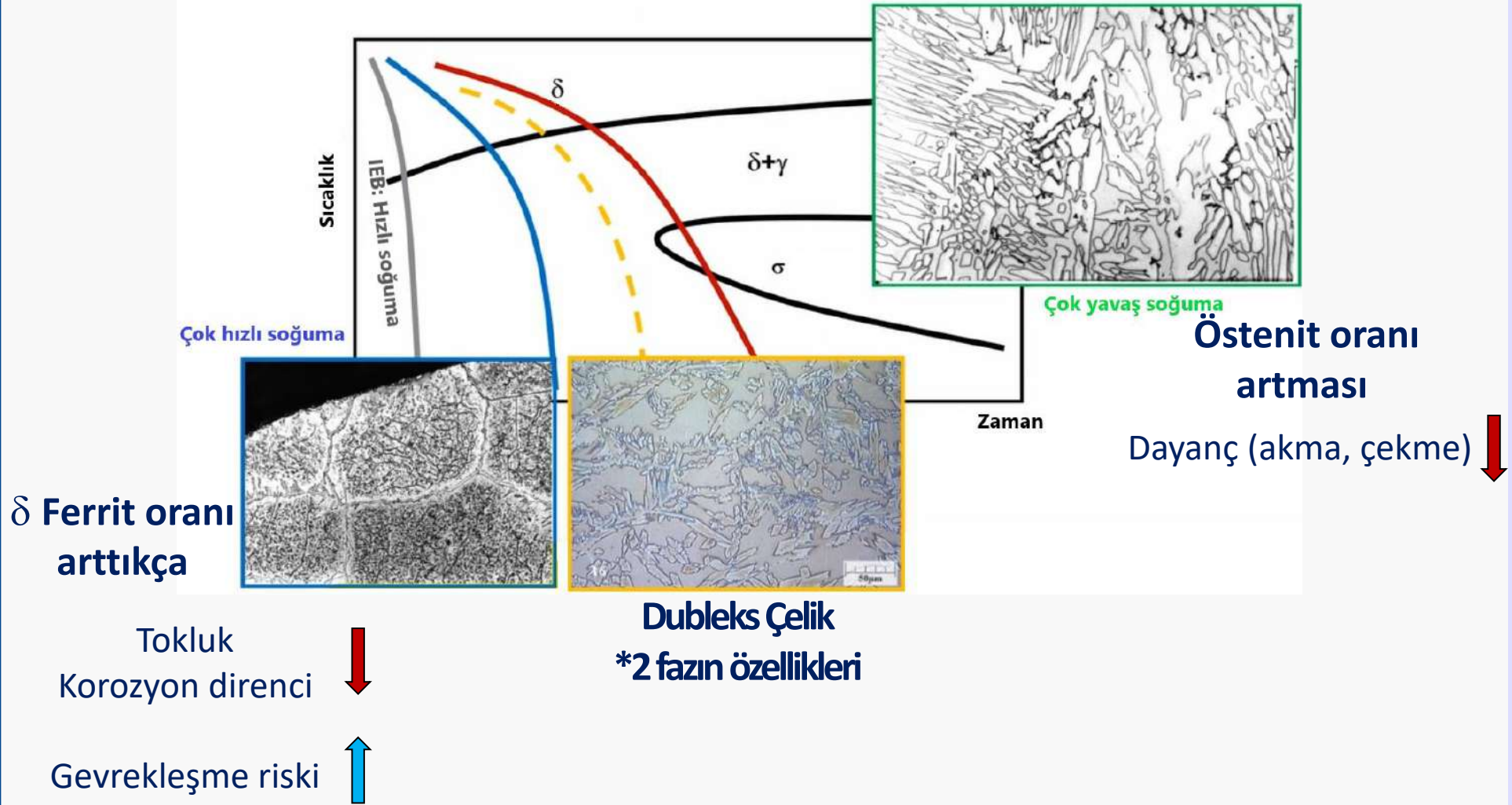
2. Kaynak işlemleri

Kaynakta soğuma hızının etkisi

- **Yüksek soğuma hızı**
 - δ -Ferrit miktarında artış
 - Düşük deformasyon kabiliyeti
 - Düşük tokluk
- **Düşük soğuma hızı**
 - Östenit miktarında artış
 - Düşük dayanım
 - Karbür ve faz oluşumu tehlikesi
 - Tane büyümesi riski
 - Tokluk ve deformasyon kabiliyetinde azalma

2. Kaynak işlemi

Soğuma hızının etkisi (t12/8 süresi)

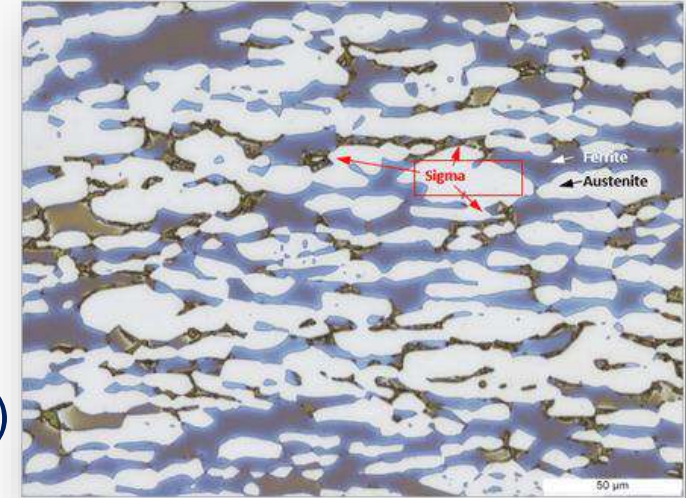


2. Kaynak işlemleri

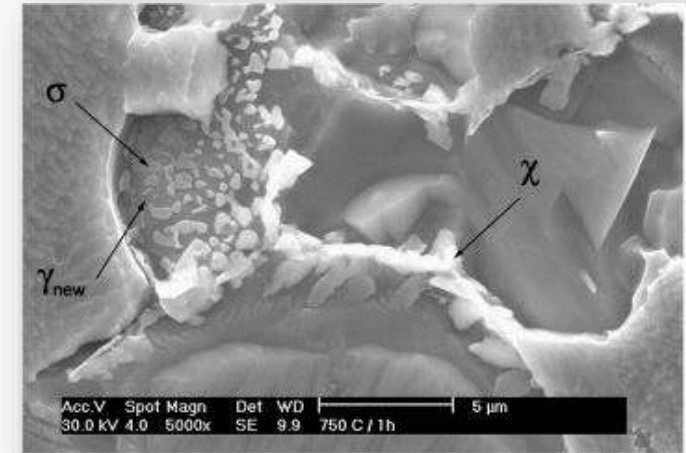
- Tanelerarası korozyon tehlikesi yoktur!
 - Düşük C- içeriği (ELC çeliği)
- Çatlak Oluşumu
 - Soğuk çatlak,
 - Tane irileşmesi riski
 - Yüksek δ - Ferrit miktarı (>60%)
 - Hidrojen kapma riski
 - Sıcak çatlak
 - Yüksek östenit miktarında mümkündür
(çok yavaş soğutursak, t_{12/8} süresi fazla ise)

2. Kaynak işlemi

- İstenmeyen Fazlar
 - **Sigma- fazı (s)**: 45%Cr- içeriği ile Fe-Cr intermetalik faz 500-1070 ° C derecede
 - **Chi- fazı (c)**: $Fe_{36}Cr_{12}Mo_{10}$ veya (Fe_3CrMo) 500-1100 ° C derecede
 - **Laves- fazı (h)**: Fe_2Mo ile
 - **475 ° C gevrekleşmesi veya Alpha Prime fazı (a'-Phase)**:
Tek fazlı segregasyon, HMK yapıda Kromca zengin bölgeler!



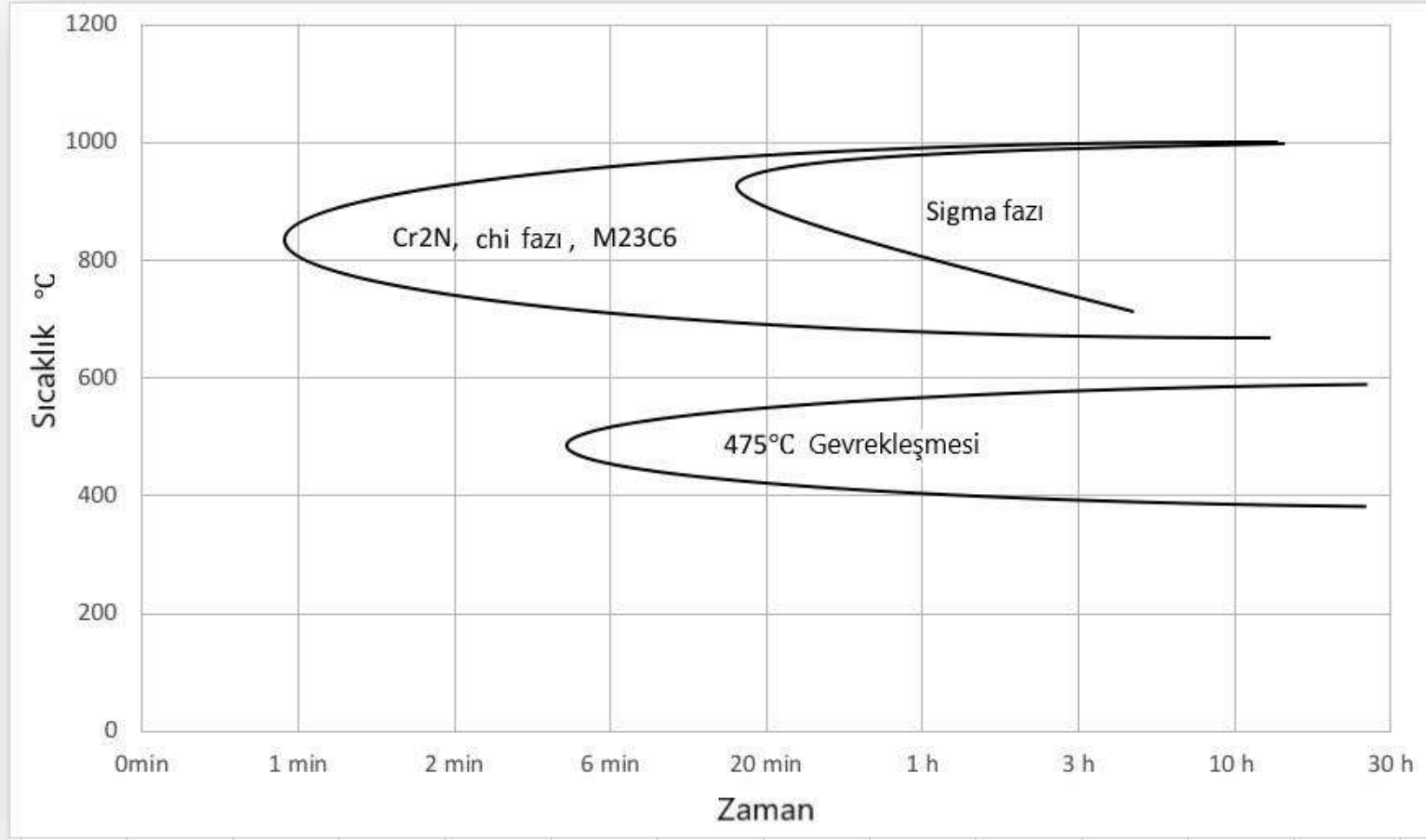
Sigma fazı (σ) mikroyapı içinde görünümü



Chi fazı (χ) mikroyapı içinde görünümü

2. Kaynak işlemi

Dubleks Paslanmaz Çeliklerde – sıcaklık ve zamana bağlı intermetalik faz oluşum diyagramı



2. Kaynak işlemi

Isı girdisi ve aşırı ısınma tehlikesinin sınırlandırılması:

- ➔ *Kontrollü soğutma $t_{12/8} \sim 10s (T_v, T_z)$*
- ➔ *Çizgisel paso tekniği*
- ➔ *Duplex çelikler için $E \approx 5...25 \text{ KJ/cm}$*
- ➔ *Süperduplex çelikler için $E \approx 2...15 \text{ KJ/cm}$*

2. Kaynak işlemi

Soğuma hızının sınırlandırılması ve Östenit içeriğinin arttırılması:

→ *Ön ısıtma*

$t = 12...20 \text{ mm}$ için $T_v = 80...100^\circ \text{ C}$

$t = 20...30 \text{ mm}$ için $T_v = 100...120^\circ \text{ C}$

$t > 30 \text{ mm}$ için $T_v = 120...150^\circ \text{ C}$

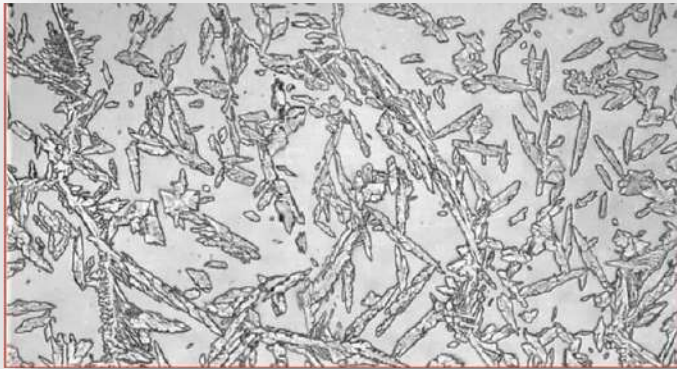
→ *Pasolararası Sıcaklık*

Duplex çelikler için $T_z \leq 180^\circ \text{ C}$

Süperduplex çelikler için $T_z \leq 150^\circ \text{ C}$

2. Kaynak işleminin

- Eşdeğer kaynak dolgu malzemesi
- Yüksek soğuma hızı nedeniyle ana malzemeye göre östenitçe zengin dolgu malzemesi
 - **yüksek Ni-alaşımı**
- N kaynak metalinden kaybolma eğilimindedir. Bu nedenle koruma gazında N₂ ilavesi (%2-5 gibi)



Ar %99,99



Ar + N₂ %5

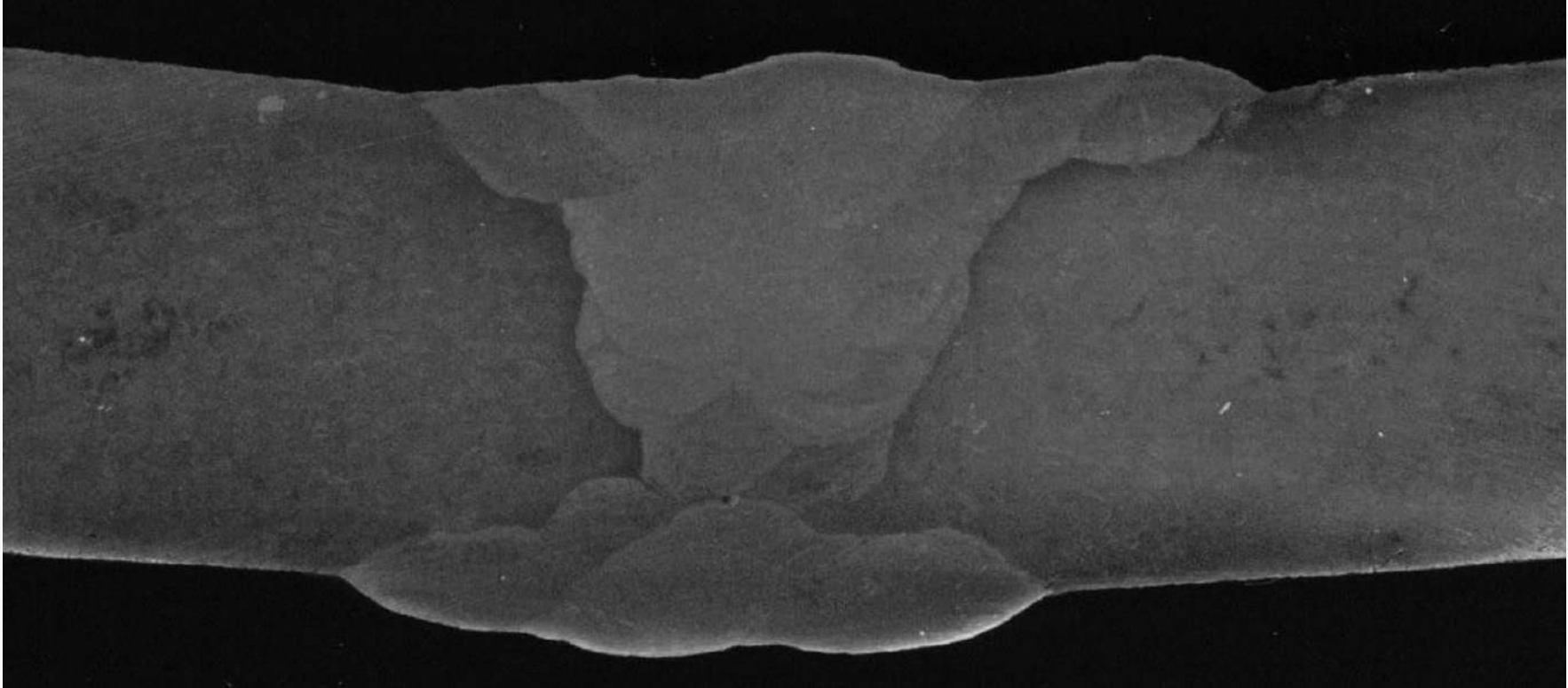
Koruma gazında N₂ ilavesinin mikro yapıya etkisi

3. Dupleks Çeliklerin Kaynak Uygulamaları-1

EN 10028-7 malzeme standardı ve ISO 15614-1 yöntem onayı standardına göre olması gereken mekanik değerler				
Ref. Çekme Muk.(MPa)		Ref. Sertlik (HV)		Ref. ÇD
690-940		Maks. 350* (Firma tarafından belirlenir)		-40 C°/min.40 J
111-BW bs/1.4507 (X2CrNiMoCuN 25-6-3)/17mm/E2209-15 (E 22 9 3 N L B 2 2)/ Tv:min.100°C Ti: maks.150°C				
Ortalama Akım şiddeti (A)	Ortalama Gerilim (V)	Ortalama Tel hızı (m/dk)	Ortalama Kaynak hızı (mm/dk)	Ortalama Isı Girdisi (KJ/cm)
90-100	26-27	-	~260	6 - 7
Maks. Sertlik(HV) Min. Sertlik	Korozyon Testi* Malz. Kaybı (gr)	Çekme Değerleri (MPa)	KM Tokluk Değerleri (J)	HAZ Tokluk Değerleri (J)
277 (HAZ) 177 (BM)	50,0644gr test önc. 50,0643gr test snr. 0,00010gr *ASTM G48std. göre	766 774	87 87 87	56 69 68

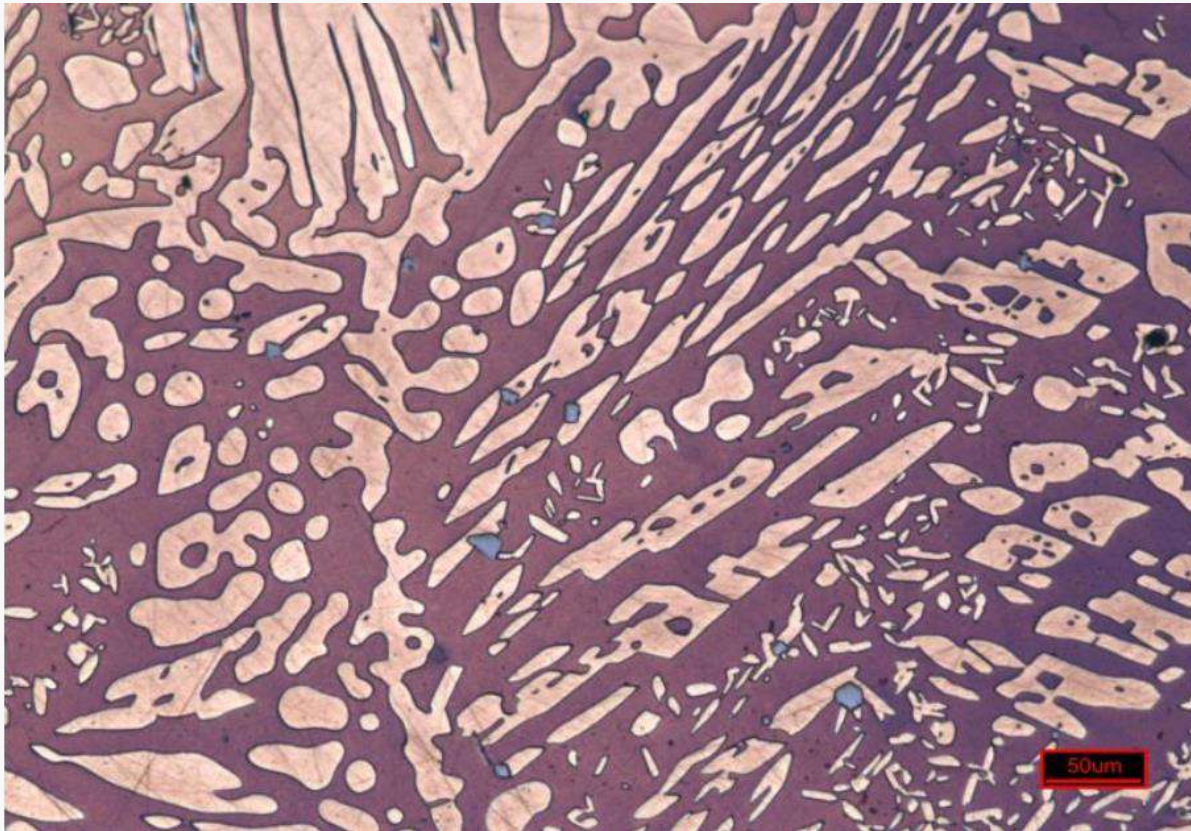
3. Dupleks Çeliklerin Kaynak Uygulamaları-1

Makro Kesit İncelemesi / X2CrNiMoCuN 25-6-3/ 17mm



3. Dupleks Çeliklerin Kaynak Uygulamaları-1

Mikro Kesit İncelemesi / X2CrNiMoCuN 25-6-3/ Ana Malzeme



*Ferrit Oranı testi:

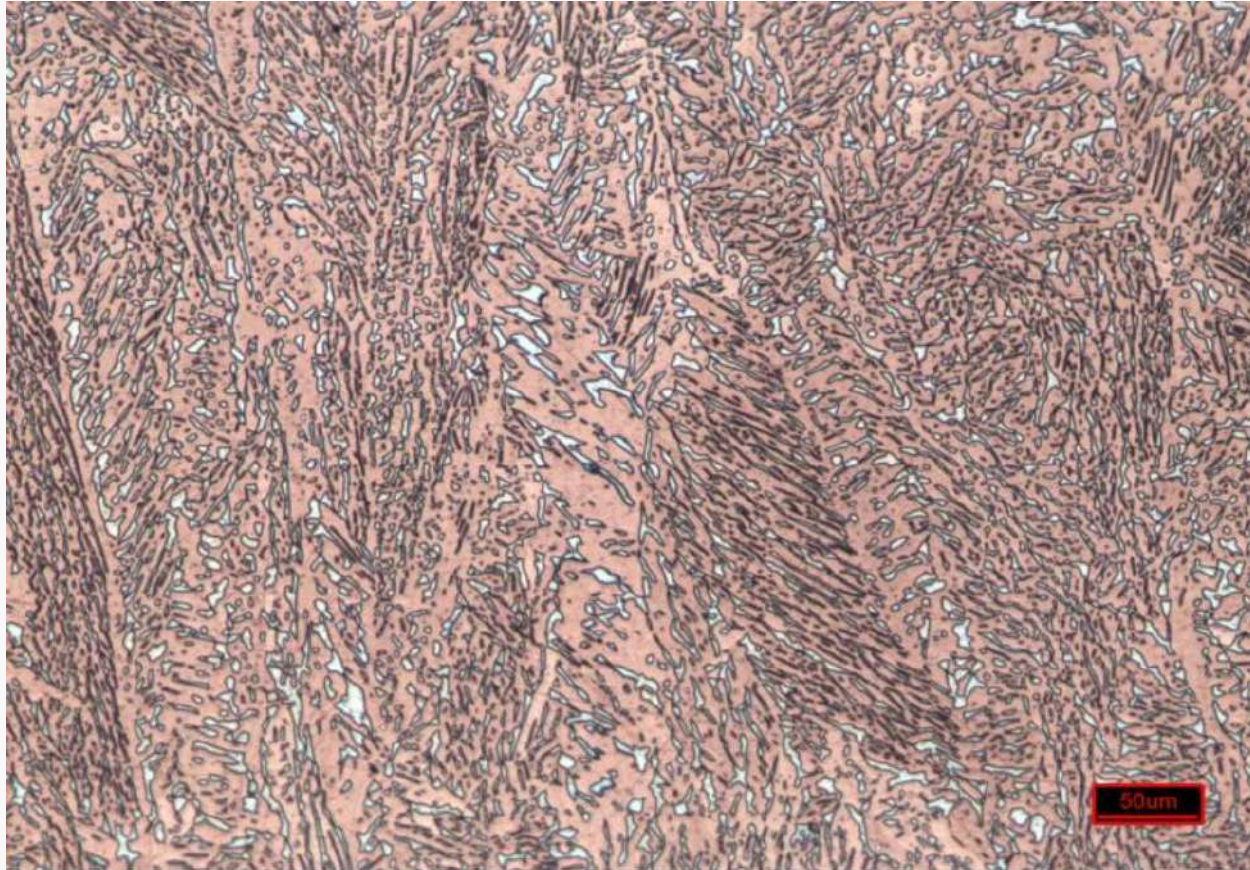
%55 Ferrit

*ASTM E 562 standardına göre test yapılmıştır.

Mikro dağılayıcı: Beraha / Büyütme faktörü: 1:100

3. Dupleks Çeliklerin Kaynak Uygulamaları-1

Mikro Kesit İncelemesi / X2CrNiMoCuN 25-6-3/ **Kaynak metali**



*Ferrit Oranı testi:

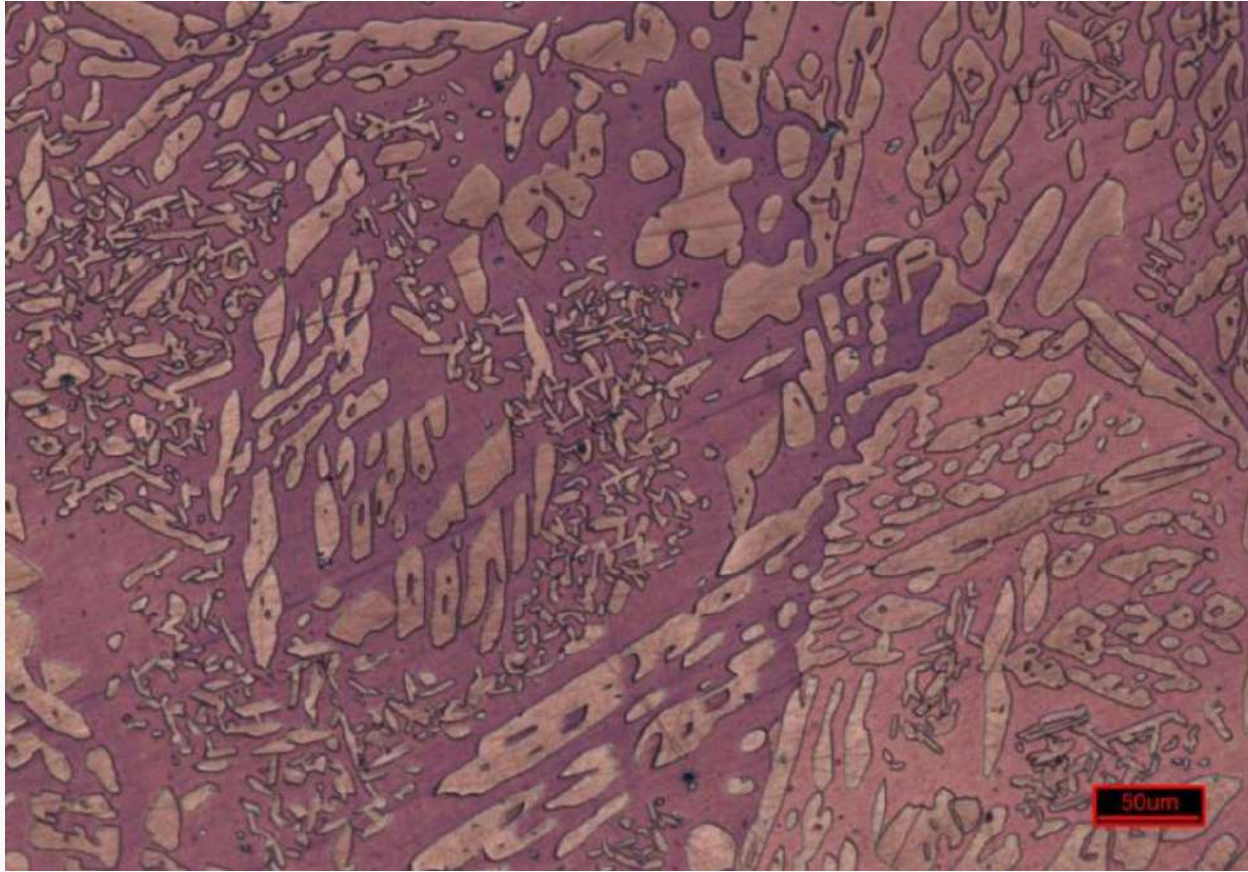
%45 Ferrit

*ASTM E 562 standardına göre test yapılmıştır.

Mikro dağlayıcı: Beraha / Büyütme faktörü: 1:100

3. Dupleks Çeliklerin Kaynak Uygulamaları-1

Mikro Kesit İncelemesi / X2CrNiMoCuN 25-6-3/ IEB (HAZ)



*Ferrit Oranı testi:

%55 Ferrit

*ASTM E 562 standardına göre test yapılmıştır.

Mikro dağlayıcı: Beraha / Büyütme faktörü: 1:100

4. Sonuç

- Dupleks elikler, dięer paslanmaz elik türlerine göre;
- Çok yüksek korozyon direncine
- Yüksek mukavemet özelliklerine sahip

4. Sonuç

- Kaynak işleminde metalürjik kurallara uymak gereklidir (östenit ve ferrit miktarı).
- Kaynak işlemi sonunda iç yapı değişikliğinin (kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölgelerde) malzeme özelliklerine etkisi çok önemlidir.

4. Sonuç

- Isı girdisi sınırlanmalı, sıcaklık kontrolü (T_v , T_z) uygulanmalıdır.
- 300-1100 C° sıcaklık aralığından kaçınılmalı veya istenmeyen fazları çözmek için 1120-1150 C° derecede ısıl işlem uygulanarak, ferrit ve östenit dengesi ayarlanmalıdır (suda soğutma ile).
- Yüksek Ni içeren dolgu teli

Referanslar

EN10028-7:2016 Flat products made of steels for pressure purposes Part7:Stainless steels

EN 10088-1:2014 Stainless steels –Part 1: List of stainless steels

EN 10113:2018 Welding –Recommendations for welding of metallic materials –Part 3: Arc welding of stainless steels;

Super and hyper duplex stainless steels: structures, properties and applications *Guocai Chai and *Pasi Kangas

Microstructure investigation of duplex stainless steel welds using arc heat treatment technique *Andrea Putz, *Vahid A. Hosseini, *Elin M. Westin & *Norbert Enzinger

Dinlediğiniz için teşekkürler...