

## URANUS 50 DÖKÜM ALAŞIMINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN GELİŞTİRİLMESİ VE KOROZYON DİRENCİNE ETKİLERİ

Mehmet KAPLAN, M. Mustafa YILDIRIM  
Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü  
23119, ELAZIĞ

### ÖZET

Uranus 50 paslanmaz çelikleri son yıllarda geliştirilen dubleks paslanmaz çelikler grubunun molibdenli dubleks paslanmaz çelikler türündendir. Literatürde, uygun bir ısı işlem yapmak şartıyla bu çeliklerin birçok servis şartlarında östenitik ve bir kısım östenitik-ferritik paslanmaz çelik tiplerine göre önemli derecede üstünlük sağlayabilecekleri bildirilmektedir.

Bu çalışmada, alaşıma su verme işleminden sonra 290-650°C arasında yapılan çöktürme sertleştirme işlemi uygulanarak çeliğin mekanik davranışlarının geliştirilmesine çalışılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen yüksek akma ve çekme mukavemetleri ile birlikte tokluğun da belirli bir değerde kaldığı gözlenmiştir. Metaller arası bileşiklerin araştırılmasına da yer verilen bu çalışmada ayrıca malzemenin sülfürik asit ortamındaki korozyon direnci de incelenmiş ve sonuçlar CF8 östenitik paslanmaz çelik döküm alaşımı ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Uranus 50, östenitik ferritik, paslanmaz çelik, döküm, çöktürme sertleştirme

### IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF AN URANUS 50 CAST ALLOY AND ITS EFFECT ON THE CORROSION RESISTANCE

#### ABSTRACT

Uranus 50 stainless steels are a group of duplex stainless steels with molybdenum addition that have been improved in recent years. In the literature, it has been reported that (with regard to use under service conditions) these steels are better than the other stainless steels, with a condition of application of suitable heat treatment processes.

In this study, the improvement of mechanical properties of these alloys has been studied by precipitation hardening processes between 290-650 °C following quenching

The experimental results showed that these stainless steels have a good U-notch impact strength value in addition to high tensile strength and yield strength values. Intermetallic compounds that formed in the microstructure and corrosion resistance of these steels in sulfuric acid solution were investigated and the corrosion results were compared with CF 8 type austenitic cast stainless steel alloy.

**Key Words:** Uranus 50; austenitic ferritic; stainless steels; casting; precipitation hardening

#### 1. GİRİŞ

Uranus 50 paslanmaz çelikleri östenitik-ferritik paslanmaz çelikler ile önemli derecede benzerlik gösteren bir çelik türüdür. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında kısaca U50 çeliği olarak adlandırılacak olan bu çelik, bilinen klasik östenitik çeliklerde olduğu gibi krom veya molibden gibi bazı ferrit fazı oluşturuç elementlerin yüzdesini artırarak elde edilebilmektedir (1).

Alaşımın ferrit içeriği ısı işlem şartlarından başka  $\alpha$ -fazı oluşturuç elementlerle (krom, molibden, silisyum),  $\gamma$ -fazı oluşturuç elementler (nikel, mangan, karbon, azot, bakır) arasındaki dengeye de bağlıdır (2). Bu nedenle kimyasal bileşimi bilinen bir U50 çeliğinin ısı işleminden sonraki

ferrit içeriği, Şekil 2.1'de verilen diyagram dikkate alınarak çok net bir şekilde belirlenebilir (1). İki fazlı bir yapıya sahip olması nedeniyle alaşım daha kompleks özellikler gösterebilmekte ve bir çok kullanım alanında östenitik ve östenitik-ferritik dubleks paslanmaz çelik tiplerine tercih edilmektedir (3,4).

Ayrıca bu çeliklerin çok iyi kaplama, döküm, kaynak ve talaşlı üretim özelliklerinin yanı sıra; mükemmel bir taneler arası, gerilme, çatlak ve çukurcuk korozyon direnci göstermeleri bir başka tercih nedeni olmaktadır. Özellikle doğal gaz, deniz suyu, fosforik asit ve sülfürik asit gibi çeşitli maddelerin taşındığı pompa elemanı, boru ve vanalarda oluşan zor korozyon problemlerinin

aşılmasında bu çeliklerin elverişli olabileceği bildirilmektedir (5).

Bir kısım dubleks paslanmaz çeliklerde olduğu gibi bu alaşımda da metaller arası bileşikler oluşturarak yapısal sertleştirmenin sağlanması mümkündür (6). Oluşan bileşiklerin, alaşımda akma ve çekme gerilmelerini artırmasının yanında, tokluk özelliğini ve asidik ortamlardaki korozyon direncini de ne şekilde etkileyebileceğini bilmek malzeme teknolojisi açısından büyük değer taşımaktadır.

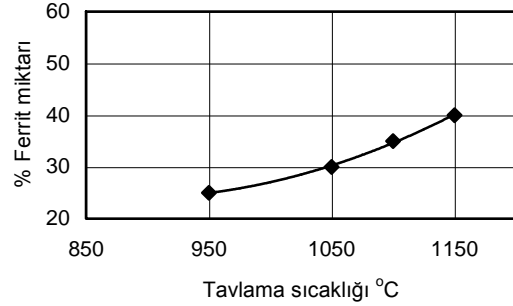
Bu çalışmada; özel olarak üretilen ve Tablo 2.1'de % bileşimleri verilen bir U50 paslanmaz çelik döküm boru (sıvı nakil) malzemesinin üretim ve çökeltme sertleştirme ısı işlemlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması, alaşımın sülfürik asit ortamındaki korozyon direncinin incelenmesi ve elde edilen sonuçların CF8 östenitik paslanmaz çelikleriyle karşılaştırılması esas alınmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Çalışmada, Tablo 2.1'de % kimyasal bileşimleri verilen bir U50 paslanmaz çelik döküm boru malzemesine Şekil 2.1'de verilen diyagrama uygun olarak; 1050 °C'den, % 3.5 NaCl'li suya su verme ısı işlemi yapılmıştır. Bu gruptaki çeliklerde, yapılan su verme işleminin amacı, genellikle kimyasal özelliklere bağlı olarak yaklaşık % 30'luk bir ferrit fazı oluşturmaktır. Çünkü ancak

bu değerlerde ferrit içeriklerine sahip bir östenitik-ferritik çeliğin istenilen mekanik özellikleri sağlanabilmesi mümkündür (7).

Daha sonra su verilmiş olan bu numunelere Tablo 2.2'de verilen koşullarda çökeltme sertleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Çökeltme ısı işleminden sonra tüm numunelerin ısı işlem öncesi ve ısı işlem sonrası akma, çekme ve (tokluk değerinin tespiti için) U-çentik darbe deneyleri, özellikle çökeltme sonucu gelişen mekanik özellikleri daha iyi açıklayabilmek amacıyla metalografik incelemeler uygulanmıştır. Ayrıca ısı işlemlerle alaşıma kazandırılmış olan yeni mekanik özellikler ve faz bileşikleri ile birlikte (N2) numunesinin sülfürik asit ortamındaki korozyon davranışı araştırılmış ve sonuçlar CF8 östenitik paslanmaz çeliği ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.1. U50 Çeliğinde ferrit miktarının tavlama sıcaklığı ile değişimi (1,8)

## 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tablo 2.1. U50 ve CF8 paslanmaz çelik döküm alaşımlarının ağırlıkça % bileşimleri

Alaşım	Alaşımların standardı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
Östenitik Paslanmaz Çelik	CF8	≤ 0.08	≤ 1.5	≤ 2.0	18-21	8-11	-	-	gerisi
Östenitik-Ferritik Paslanmaz Çelik Döküm	U50	0.05	1.8	1.1	19.8	8.1	1.9	1	gerisi

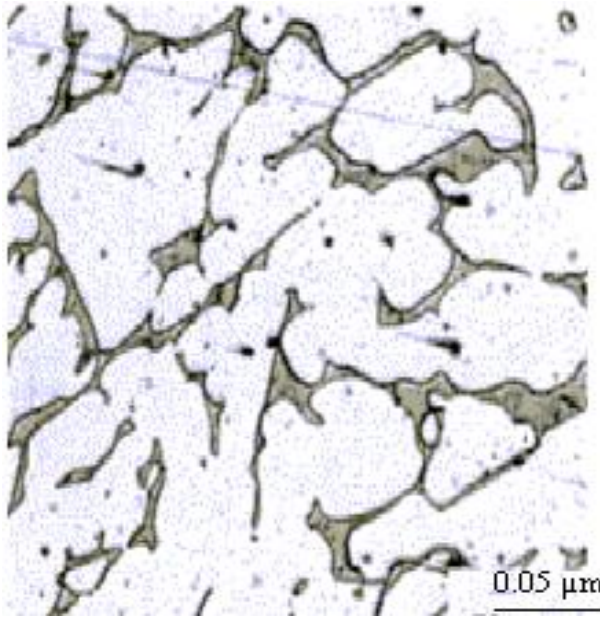
Tablo 2.2. U50 ve CF8 paslanmaz çelik döküm alaşımı numunelere uygulanan ısı işlemleri

Malzeme	Numune No	Su verme	Çökeltme
U50/CF8	N1/CF1	İşlemsiz	işlemsiz
U50/CF8	N2/CF2	1050 °C'de 30 dak. sonrası fırında tavlama ve % 3.5 NaCl'li suda soğutma	290 °C'de 180 dak. fırında tavlama ve % 3.5 NaCl'li suda soğutma
U50/CF8	N3/CF3	Aynı işlem	Aynı işlem (tavlama sıcaklığı: 350 °C)
U50/CF8	N4/CF4	Aynı işlem	“ (tavlama sıcaklığı: 480 °C)
U50/CF8	N5/CF5	Aynı işlem	“ (tavlama sıcaklığı: 550 °C)
U50/CF8	N6/CF6	Aynı işlem	“ (tavlama sıcaklığı: 650 °C).

Tablo 2.2’de verilen koşullara göre yapılan çöktürme sertleştirmesinden sonra deney numunelerinde 480-650 °C arası sıcaklıklarda oluşan en baskın faz ve bileşiklerin incelendiği metalografik görüntüler ile 290-650 °C arası işlemlere ait mekanik testlerin ve sülfürik asitli ortamdaki korozyon davranışı sonuçları aşağıda verilmiştir.

### 3.1. Metalografik İncelemeler

Şekil 3.1’de CF8 tipi tavlanmış östenitik paslanmaz çelik döküm malzemesinin, Şekil 3.2’de ise 1050 °C’de ½ saat tavlandıktan sonra su verilmiş U50 paslanmaz çelik döküm malzemesinin optik mikroskopta çekilen mikro görüntüleri verilmiştir. Burada, ferrit ( $\alpha$ , beyaz alanlar) matrisi içinde dağılmış östenitten ( $\gamma$ , gri kollar ve adacıklar) meydana gelen bir östenitik-ferritik faz yapısı gözlenmiştir.



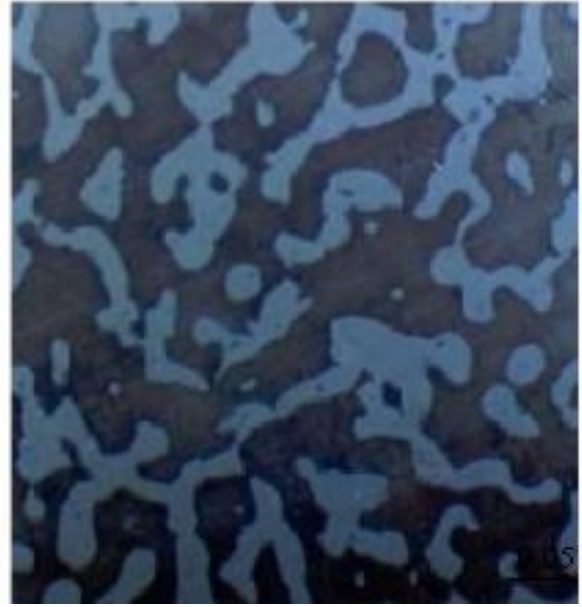
Şekil. 3.1 CF 8 Östenitik paslanmaz çelik döküm malzemesinin optik mikroskop yüzey mikro görüntüsü (10,11).

Şekil 3.3 (a) ve (b)’de verilen metalografik mikro görüntülerde, 650 °C’te 180 dakikalık çöktürme işleminden sonra ferrit-östenit tane sınırlarında en baskın olarak chi ( $\chi$ ) ve sigma ( $\sigma$ ) fazlarının çöktüğü gözlenmiştir. Bu fazlar

alaşımın bünyesine dağılmış halde buldukları için malzemenin yapısal olarak mukavemet artışına neden oldukları ancak mekanik testlerden anlaşılmıştır. Bunlardan  $\sigma$ -fazının çökelme oranı ısı işlem sıcaklığına bağlı olup bu alaşımda 550-650 °C arasında maksimum değerdedir ve 900-1000 °C’tan sonra tamamen kaybolmaktadır (8,12).

U50 alaşımda çöktürme sonucu oluşan Chi ( $\chi$ ) fazı, KHM’ li  $\alpha$  - Mn tipi bir kristal yapıya sahiptir. Üçlü bir bileşimde olan  $\chi$  fazının formülü;

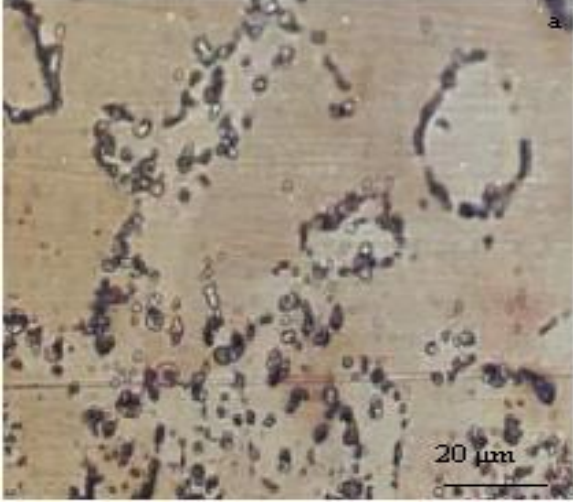
$Fe_{36}Cr_{12}Mo_{10}$ ’dur (12). Soğuk çalışmada  $\chi$  fazı oluşumunu geliştirmek için % 5-10 Mo, % 3’den fazla (Ti + Nb) ve % 6’ya kadar W ilave edilebilir (12).  $\chi$  fazı 450-700 °C arasında östenit fazı içerisinde ve östenit ferrit tane sınırlarında oluşmuştur. Ayrıca bu fazın, alaşımın sertleşmesine önemli katkısı olduğu kanaatine de



Şekil.3.2.1050 °C’de su verilmiş U50 malzemesinin optik mikroskop yüzey mikro görüntüsü. Ferrit ( $\alpha$ , siyah alanlar) matrisi içinde dağılmış östenitten ( $\gamma$ , beyaz kollar ve adacıklar) meydana gelen östenitik – ferritik yapı (10,11).

varılmıştır. Çünkü Şekil 3.4 ve 3.5’te 480-650 °C arasında gerçekleştirilen çöktürme ısı işlemi sonrası numunelerde önemli derecede sertlik ve mukavemet artışı olduğu görülmüştür.

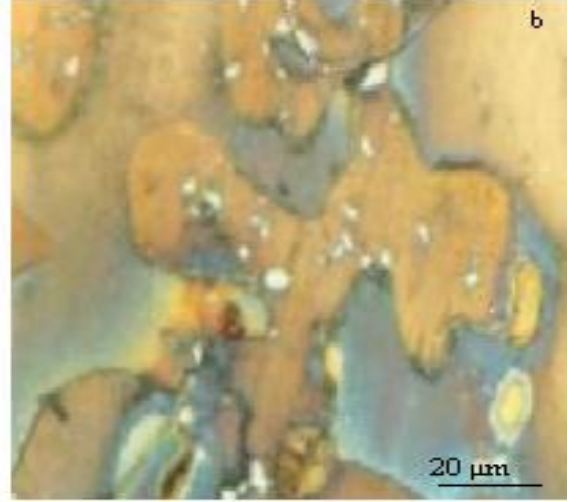
Şekil 3.4’de 1050 °C’ ta su verilmiş ve 480 °C’de 180 dakika çökeltme işlemi yapılmış numunenin (N4) mikroyapısında ferrit-östenit tane sınırlarında ve östenit içinde;



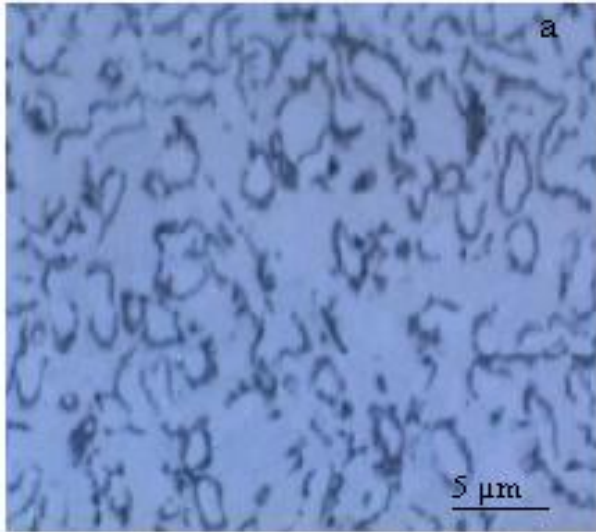
Şekil 3.3 (a) 650 °C’de yapılan çökeltme sertleştirme sonrasında metalografik mikro görüntüler; sigma fazı (kırmızı -kahve rengi) ile karbürler (yeşilimsi) yan yana (6,12).

### 3.2. Mekanik Özellikler

U50 çeliğine tam bir östenitik-ferritik yapı kazandırmak ve yapıda % 30 ferrit fazı oluşturmak amacıyla (Şekil 2.1’de verilen diyagram dikkate

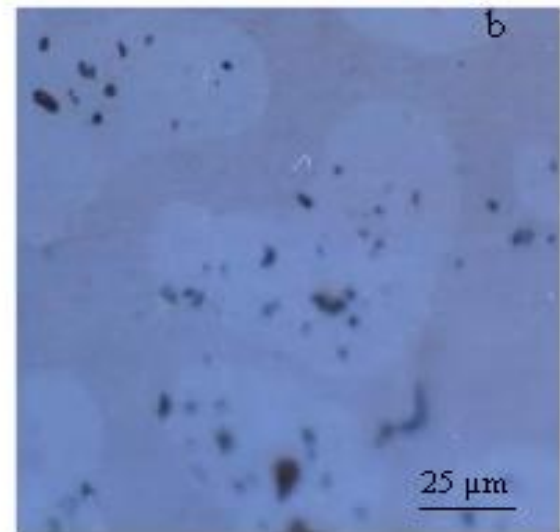


Şekil 3.3 (b) Östenit (açık bölgeler) tane içlerinde ve östenit - ferrit (mat renkli bölgeler) yüzeyleri arasında Chi fazları (beyaz renkli) ve sigma fazları (6,12).



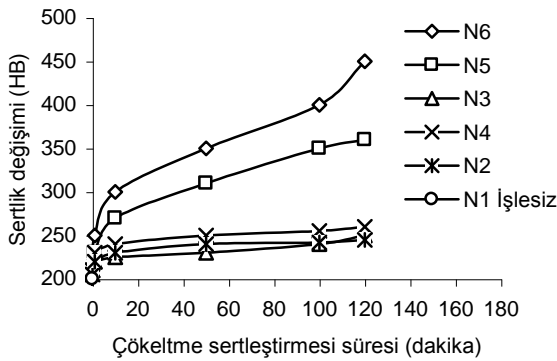
Şekil 3.4 480 °C’de yapılan çökeltme sertleştirme sonrasında metalografik mikro görüntüler ferrit-östenit tane sınırlarında ve östenit içinde  $M_6C = Fe_3Mo_3C$  (kahve renkli),  $M_6C$  ile bitişik  $(CrFe)_{23}C_6$  (koyu renkli) ve  $Fe_2Mo$  (10,11)

$M_6C = Fe_3Mo_3C$  (kahve renkli),  $M_6C$  ile bitişik  $(CrFe)_{23}C_6$  (koyu renkli) ve  $Fe_2Mo$  (mavi) bileşikleri görülmüştür.

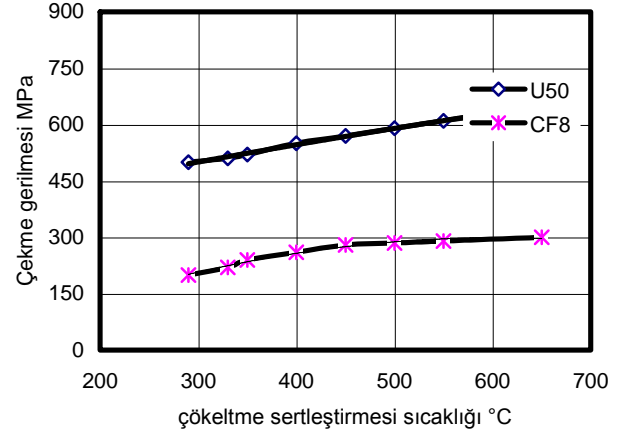


alınarak 1050 °C’ta su verilen numunelerin (U50 ve CF8 çeliklerin) tamamına çökeltme sertleştirme işleminden sonra oda sıcaklığında mekanik testler uygulandı. Bu testlerde, U50 çeliğinin CF8

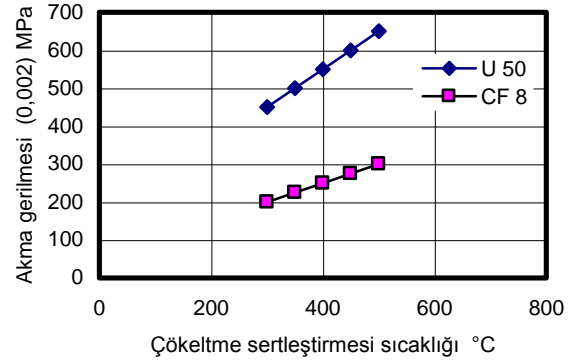
çeliğine göre çökeltme sıcaklıklarına bağlı olarak akma ve çekme gerilmelerinde belirli bir miktar artış olduğu Şekil 3.5-7’de görülmektedir. Ancak Şekil 3.8’de görüldüğü gibi alaşımın (U50) kırılma tokluğu değerlerinde 400-500 °C arası sıcaklıklarda dikkate değer bir düşüş olduğu ve 550-650 °C’ arısında tekrar bir artış gözlenmiştir. Özellikle Şekil 3.5-7’de görüldüğü üzere U50 alaşımında CF8’e göre daha yüksek bir akma ve çekme gerilmesi dikkati çekmektedir. Burada CF8 çeliğinin akma gerilmesi 250-300 Mpa iken aynı şartlarda çökeltme işlemi yapılmış U 50 (N6) çeliğinin akması 450 Mpa’ya yükselmiştir. Ayrıca alaşımın farklı çökeltme sertleştirme sıcaklıklarına bağlı olarak kırılma tokluğu değişimleri Şekil 3.8’de karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 290-400 °C arasında yapılan çökeltme işleminden sonra malzemenin kırılma tokluğunda önemli bir düşüş olduğu ve daha sonra çökeltme sertleştirme sıcaklığının artışıyla birlikte 550 °C’a doğru çentik darbe enerjisinde de bir artma olduğu ve bu artışın 650 °C dolaylarında yavaşladığı anlaşılmıştır. Buna, 350-650 °C arası çökeltme sıcaklıklarında yapıda oluşan yoğun faz ve metallar arası bileşiklerin önemli bir gerilme oluşturmasının neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü bu çalışma sıcaklıkları ile ilgili Şekil 3.2-4’te verilen optik mikroskop yüzey görüntülerine dikkat edilirse, gerek tane içlerinde ve gerekse tane sınırlarında sigma, Chi fazları ile  $FeMo_3C$ ,  $M_6C$ ,  $(CrFe)_{23}C_6$  ve  $Fe_2Mo$  gibi sert karakterli metal karbürlerin baskın bir şekilde oluştuğu tespit edilmiştir.



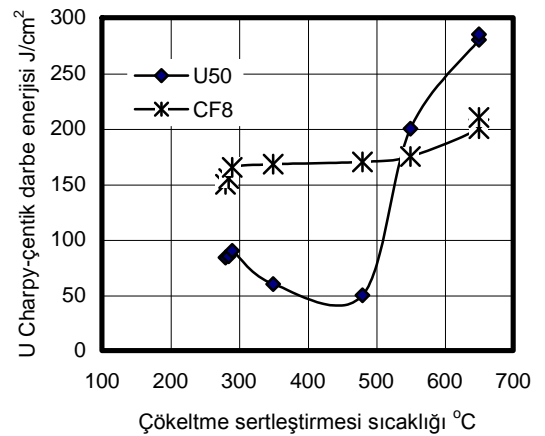
Şekil 3.5 Çökeltme sertleştirme süresinin sertlik değişimine etkisi



Şekil 3.6. Çökeltme sertleştirme sıcaklığının (290-650 °C) çekme gerilmesine etkisi.



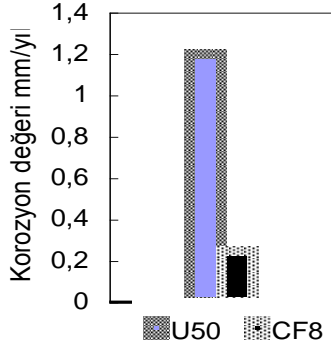
Şekil 3.7. Çökeltme sertleştirme sıcaklığının (290-650 °C) akma gerilmesine etkisi.



Şekil 3.8. Çökeltme sertleştirme sıcaklığının (290-650 °C) kırılma tokluğuna etkisi

### 3.3. Korozyon Dirençleri

Literatürde, klasik CF8 östenitik çelik tipine göre U50 alaşımının kullanım alanının başta asidik ortamlar olmak üzere çok daha yaygın olduğu bildirilmektedir (13,14). Ancak burada çökeltme ısıl işlemleriyle yüksek akma, çekme ve belirli bir seviyede tokluk özelliği kazandırılmış olan U50 alaşımının,



Şekil 3.9. U50 (N2) ve CF8 alaşımlarının T=90 °C ve %40 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamındaki korozyon dirençleri

(1050 °C'de 30 dakika fırında tavlandıktan sonra ve % 3.5 NaCl'li suda soğutma işleminden sonrası; T=90 °C ve % 40 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sülfürik asitli ortamdaki korozyon davranışının tespit edilmesine çalışılmış ve elde edilen bulgular Şekil 3.9'da verilmiştir.

Bu alaşımın, çökeltme sertleştirilmesi ısıl işlemleri ile CF8 çeliğine göre belirli bir mukavemet ve tokluk değeri kazanmış olduğu Şekil 3.5-8'de verilen bulgulardan açıkça görülmektedir. Ancak alaşımın (T=90 °C ve % 40 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sülfürik asitli ortamdaki korozyon direnci açısından CF8 çeliğine göre daha düşük olduğu Şekil 3.9'da verilmiş olan diyagramdan anlaşılmaktadır. Ancak burada çökeltme sertleştirilmesi işlemlerinin ve (N1-N6) numunelerde oluşan yeni faz ve bileşiklerin H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ortamındaki korozyon direnci davranışlarını nasıl etkileyebileceği konusuna çalışmanın bir sonraki aşamasında yer verileceğinden burada bu konu ile ilgili sonuçlardan söz edilmemiştir.

### 4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; U50 paslanmaz çelik döküm alaşımının, grubundaki diğer östenitik-ferritik paslanmaz çelikler gibi kolay şekillendirilebilmesi, yüksek akma ve çekme mukavemeti ile birlikte CF8'e göre tokluk değerinin de belirli bir seviyeye yükseldiği an-

laşılmıştır. Ancak alaşımın, CF8'e göre korozyon davranışının (1050 °C'de 30 dakika fırında tavlandıktan sonra ve % 3.5 NaCl'li suda soğutma işlemi sonrası; T=90 °C ve % 40 sülfürik asitli ortamda) oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.

Çökeltme sertleştirilmesi işlemi sonucu U50 çeliğinde sağlanan yüksek akma ve çekme mukavemetinin; 290-650 °C arasında yapılan çökeltme sertleştirilmesi işlemi sonucu oluşan sigma ve yoğun chi fazı ile birlikte M<sub>6</sub>C = Fe<sub>3</sub>Mo<sub>3</sub>C, M<sub>6</sub>C + (FeCr)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> ve Fe<sub>2</sub>Mo gibi metaller arası karbür ve bileşiklerin ferrit fazını yapısal olarak sertleştirdiğinden ileri geldiği açıkça söylenebilir. Aynı zamanda bu faz ve bileşiklerin yapıyı heterojen yaptığundan alaşımın korozyon direncini azalttığı düşünülmektedir.

### 5. KAYNAKLAR

1. DOUTHETTI, J. et al., Metals Handbook, Heat Treating, vol. 4, p. 773-74, ASM International, Handbook Committee, USA. 1991.
2. BROWN, J.E. ve SMITH, G.D.V., Atom Probe Studies of Spinodal Processes in Duplex Stainless Steel. Proceedings of the 37 th International Field Emission Symposium, 285-291, Albuquerque, USA., 1991.
3. GONALEZ, J. Aranda, L. R. and Jonapa, M., Application of Stainless Steel '92, vol. 2, p. 1009, Stockholm, Sweden, 1992.
4. KALUÇ, E. ve SARI, N.Y., Duplex Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Metallerinde Delta Ferritin Saptanması, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, 6, 197-206, 12-14 Nisan 1995.
5. MATHEW, D., LIETZAN, L. M., MURTY K. L. AND SHAH, V. N., Low temperature aging embrittlement of CF-8 stainless steel, Materials Science and Engineering A, Volume 269, Issues1-2, Pages 186-196, 30 August 1999.
6. KAPLAN, M., YILDIRIM, M.M., Bir Dupleks Paslanmaz Çelik Dökümde Oluşan Fazların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkileri. TMMOB, Bilim Günleri, 5-6-7 Mayıs 1999-Denizli, Bildiriler Kitabı, Yayın No:221, 517-525. 1999.
7. TRAUTWEIN, A. ve GYSEL, W., Stainless Steel Castings (edited by ROMIG, A.D. ve

- GOLDSTEIN, I. J., Metall. Trans. 11A, 1151-1159, 1980.
8. LULA, R. A., Stainless Steel. ASM Metals Park, Ohio , 1993, USA.
9. KUZUCU,V., CEYLAN, M. ve KAPLAN, M., Investigation of the microstructures of iron based wrought Cr-Ni-Mo duplex alloy, Journal Of Materials Processing Technology, 16 Nisan 1997, 10/Ppro2882. 010, 1997. Switzerland.
- 10.BERAHA, E., Color Metallography. ASM. Metals Park, Ohio 44073,USA., 1977.
- 11.PETZOW, G., Metalographic Etching. ASM Metals Park, Ohio, USA., 1976.
- 12.KAPLAN, M., Yüksek Cr-Ni Alaşımı Çelik Dökümlerde Yaşlandırmanın Süneklik Davranışına Etkisi, F.Ü.Tek.Eğt Fak. Makina Eğitimi Anabilim Dalı Doktora Tezi, (1997), Elazığ.
- 13.CHUN LU, XIN KE SHİ, SHI-ZHUO LI AND XIAO-XIA JIANG., Effects of surface deformation on corrosive wear of stainless steel in sulfuric acid solution, Wear, Volumes 225-229, Part 1, Pages 537-543, April 1999.
- 14.VANDER V, G.F., Metallography Principles and Practice, McGraw-Hill Book Company, Series in Materials Science and Engineering, New York., 1984, USA.