

X52 TİPİ MİKROALAŞIMLI ÇELİKLERDE, YÜKSEK FREKANS KAYNAĞI SONRASINDA UYGULANAN ISIL İŞLEMİN SİMULASYON YOLUYLA KARAKTERİZASYONU

Muharrem YILMAZ *, Mustafa ÇÖL **

* Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
** Y. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Makina imalat endüstrisinde çeşitli üretim kolları için kullanılan döküm, kaynak, talaşlı işlem, plastik deformasyon, toz metalurjisi üretim tekniklerinin hemen hemen hepsinde işlem süresince uygulanan bir termal çevrim bulunmaktadır. Uygulanan bu termal çevrim ilgili üretimin başarısının temel faktörü olup son derece büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle ilgili çevrimin daha küçük numunelerle önceden tekrarlanıp metalurjik sonuçlarının yorumlanması da hayati önem taşımaktadır. Bu projede bu tip çevrimlerin bir kısmına hitap edebilecek ve çevrimi simule edebilecek bir fırın sistemi tasarlanmış ve üretilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen bu simülasyon fırınında bir fabrikada üretimi yapılan dikişli boruların ısı işlemleri simule edilmiştir.

Anahtar sözcükler : Mikroalaşimli çelik, yüksek frekans kaynağı, ısı işlemleri, simülasyon

In almost all of the following processes such as casting, welding, machining, plastic deformation and powder metallurgy, which are widely used in the machinery industry, there involves some means of thermal cycling phenomena. It is this thermal cycling phenomena which determines the success of the production method. Therefore, the simulation of the relevant thermal cycling with relatively smaller size specimens, and the attempt to interpret the results from the metallurgical point of view is essential. In this project, a furnace system which could simulate these type of thermal cycling phenomena to some extent has been designed and manufactured. An attempt to simulate the heat-treatment recipe applied in the production of the welded pipes by the specimens obtained from this company have been used in this furnace system.

Keywords : Micro alloyed steel, high frequency welding, heat treatment, simulation

GİRİŞ

Literatür Özeti

Dünyada çeşitli ülkelerde termal çevrimlerin simülasyonuna yönelik olarak özellikle kaynak tekniği için küçük numunelerle çalışmaların yapılabildiği simülasyon fırınları geliştirilmiştir. Bu teçhizatla oluşması muhtemel ve/veya denenmek istenen termal çevrimler programlanarak uygulanabilmektedir [1]. Soğutma koşullarının herhangi bir katılaşma ya da kontrolsüz katı hal termal prosesine uyarlanması için yapılan çalışmalar genellikle mikroyapı karakterizasyonunu içermektedir. Bu yolla elde edilen bilgilerden hareketle, örneğin katılaşma sırasında büyüme hızı ampirik olarak ya da literatürde çokça mevcut olan bağıntılar yardımı

ile saptanabilmektedir. Isıtma ve soğutma şartları kontrollü katılaşma için simulasyon test cihazına ön koşullar olarak verilmekte ve böylece kaynak, döküm ya da termik işlemler gibi ısısal kontrollü deneylerden elde edilen sonuçlar yardımı ile optimize edilebilmektedir. [2-4].

Dikişli boruların kaynak sonu ısı işleminin simulasyonu için seçilen mikroalaşımli çelikler (X 52 tipi), çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren, yüksek akma mukavemetleri ve toklukları nedeni ile kullanımı giderek artan önemli bir çelik grubunu oluşturmaktadır.

Mikroalaşımli çeliklerin kaynağında karşılaşılabilecek sorunların en önemlisi ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) oluşabilecek sertleşme eğilimidir. Bu çeliklerin ısı tesiri altındaki bölgesinde yüksek karbonlu martenzit ve ostenitten oluşan mikroboyutlu adacıklar oluşabilmektedir [5]. Bu oluşuma doğrudan tesir eden soğuma hızı en etkin faktör olmaktadır. Ti, B gibi mikroalaşım elementlerinin ısı tesiri altındaki bölgenin tokluğu üzerine etkisi, çeliğin karbon eşdeğeri (Ceşd) ile ilişkili olup iyi bir tokluk için optimal bir Ceşd aralığı vardır [6].

Yüksek frekans endüksiyon kaynağı dikişli boru üretiminde elektrik direnç kaynağı grubunda bulunan ve bu grupta en çok kullanılan kaynak yöntemidir. Yüksek frekans endüksiyon kaynağında bant kenarları ısı ve basıncın etkisi ile ve herhangi bir katkı maddesi kullanmaksızın birleştirilir. Kaynak işlemi sırasında uygulanan ısı, kenarları açık boruya temas etmeksizin çepçevre çevreleyen bir bobinden geçen yüksek frekanslı akımın bant kenerlarında endüklediği akımla sağlanır. Gerekli basınç ise kaynak noktasında uygun şekilde düzenlenmiş rölelerin baskısı ile sağlanır. Kaynak ısı girdisini etkileyen en önemli parametreler ise kaynak hızı, basınç ve sıcaklık olup bu parametrelerden kaynak hızı ve basınç kolaylıkla ayarlanabilir ve kontrol edilebilirken sıcaklık kontrolünde bir takım teknolojik zorluklar vardır [7].

Yüksek frekans kaynağında önemli bir sorun yüksek kaynak sıcaklığı nedeniyle birleşme bölgesindeki (erime bölgesi) C-miktarının ana malzemeye göre % 30 civarında azalmasıdır (karbonsuzlaşma). Bu nedenle birleşme çizgisi metalografik muayenelerde parlak ve beyaz bir görüntü verir [8].

Dikişli boru üretiminde oldukça önemli bir yer tutan yüksek frekans kaynağı çeliklerin kaynağında kaynak sonrası önemli mikroyapısal problemlere neden olmaktadır. Özellikle karbonsuzlaşmış bölge kaynak sonrası giderilmesi gereken bir mikroyapısal hatadır. Bu nedenle bu tip bir üretim sonrasında genellikle bir normalizasyon ısı işlemine gerek duyulmaktadır. Isıl işlem sırasında uygulanan sıcaklıklar ve tutma sürelerinin iyi ayarlanması gerekir; böylece dekarbürize bölge iyileştirilirken tane irileşmesi dolayısıyla gevrekliğe yol açılmamalıdır. Bu nedenle simulasyon fırını, öncelikle çalışmanın gagesine uygun olarak ısı işlem fırınlarına ve katılaşma proseslerine yönelik olarak kullanılabilir şekilde geniş bir sıcaklık gradyanına sahip olacak şekilde tasarlanıp imal edilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Simulasyon Fırınının Tasarımı ve İmalatı

Simulasyon fırını konstrüksiyonu amaca uygun olarak ısıtma işlemlerinin ve katılma proseslerinin simülasyonuna yönelik olarak tasarlanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen simülasyon fırınının şematik görüntüsü Şekil 1’de görülmektedir. Simulasyon fırını ısıtma, soğutma ve düşey hareket ünitelerinden oluşan ve taşıyıcı bir gövdeye tespit edilmiş kompakt bir cihazdır. Bu gövdede oluşturulmuş bir set üzerinde ise kontrol paneli bulunmaktadır. Simulasyon fırınının alt kısımda ısıtma ünitesi, orta kısımda soğutma ünitesi ve üst kısımda ise hareket ünitesi bulunmaktadır. Bu üniteler bir alumina seramik borunun çevresine monte edilmiştir. Alumina seramik boru içerisinde ise borunun üst kısmına monte edilmiş ve ısıtma ünitesinin ortasına kadar çeşitli hızlarda hareket imkanı sağlayan, mekanik bir sisteme bağlı olarak çalışan, numune ve termo elemanları taşıyan seramik çubuklardan oluşan bir sistem bulunmaktadır. Güç ünitesi sabit gerilimde ve ayarlı akım şiddetinde ısınmayı sağlar ve fırın içerisinde 1600 °C sıcaklığa kadar istenen sıcaklıkları sağlayabilecek güçtedir.

Kaynak Deneyleri

Deneylerde malzeme olarak X52 tipi mikroalaşımli çelik kullanılmıştır. Kimyasal bileşimin belirlenebilmesi amacı ile kullanılan çelik malzemede iki ayrı bölgeden alınan numuneler üzerinde spektral analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 1’de görülmektedir. Deney sırasında 315 mm genişliğindeki ve 5 mm kalınlığındaki saclar yüksek frekans kaynağı hattında form verme ruloları yardımıyla kıvrılarak boru konumuna getirilmiş ve takiben kaynak edilmişlerdir. Kaynak parametreleri Tablo 2’de görülmektedir. Kaynak sonrası borulara ezme testleri uygulanmıştır. Uygulanan bu testte numunelerde herhangi bir çatlamaya rastlanmamıştır.

Tablo 1. X 52 Malzeme İçin Spektral Analiz Sonuçları

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| X 52 | 99.14 | 0.063 | 0.096 | 0.310 | 0.0245 | 0.0156 | 0.022 | 0.008 | 0.019 |
| | 99.14 | 0.062 | 0.095 | 0.313 | 0.0236 | 0.0152 | 0.023 | 0.008 | 0.020 |
| | Al | Cu | N | Nb | Pb | Sn | Ti | V | W |
| | 0.045 | 0.013 | 0.0082 | 0.0185 | 0.0016 | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.005 |
| | 0.044 | 0.013 | 0.0081 | 0.0183 | 0.0017 | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 0.005 |

Tablo 2. Yüksek Frekans Kaynağında Uygulanan Kaynak Parametreleri

| Numune | Kaynak akımı (A) | Kaynak gerilimi (V) | Kaynak hızı (M/dak) |
|--------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| X 52 kaynaklı boru | 46.2 | 340 | 20 |

Tav Fırını ve Kaynak Sonu Isıl İşlem

Kaynak sonu ısıtma işleminin uygulandığı tav fırını toplam 32.5 m olup ısıtma ve soğutma bölgelerinden oluşmaktadır. Hem ısıtma ve hem de soğutma bölgeleri kademeli olup ısıtma bölgesinin son kademesindeki sıcaklık ısıtma işlemi yapılan çelik türüne göre ayarlanırken, soğutma bölgesinin son kademesinden çıkışta boru sıcaklığının yaklaşık 50 °C olması istenmektedir. Isıl işlem fırınındaki sıcaklık kademeleri ve sıcaklık değerleri Tablo 3’de görülmektedir. Boruların fırında kalma süreleri ve soğutma süreleri tamamen boru hızına bağlı olup, kaynak bölgesinde arzu edilen mikroyapı için özel dizayn edilmiş bu ısıtma işlemi fırını

içerisinden boruların rutin olarak uygun bir hızla geçmelerini sağlamak gerekir. Boru hızının düşük seçilmesi tane irileşmesine yol açarken yüksek boru hızları da ısıtma işleminin amacına ulaşamamasına, örneğin ferrit çizgisinin elimine edilememesine yol açmaktadır. Başarılı bir ısıtma işlemi için sabit tutulan boru hızı çok önemli olup doğru belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 4’de kaynak sonrası X 52 boruları için üretim sırasında uygulanan boru hızı da görülmektedir. İlgili boru hızı tamamen tecrübeye dayanılarak tespit edilmiştir. Boru hızının önemi göz önüne alındığında bu seçim için simülasyon deneylerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Boru üretim prosesinde, kaynak sonrası kaynaklı borulara ısıtma işlemi 910 °C nihai sıcaklığında ve 0.26 m/d boru hızında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Isıl İşlem Fırın Karakteristikleri

| Bölge | Sıcaklık (°C) | Uzunluk (m) |
|-------------------------|---------------|-------------|
| Isıtma tarafı 1. bölge | 700 | 3.75 |
| Isıtma tarafı 1. bölge | 850 | 3 |
| Isıtma tarafı 1. bölge | 900 | 3 |
| Isıtma tarafı 1. bölge | 910 | 2.75 |
| Soğutma tarafı 1. bölge | 500 | 3 |
| Soğutma tarafı 1. bölge | 250 | 12 |
| Soğutma tarafı 1. bölge | 50 | 10 |

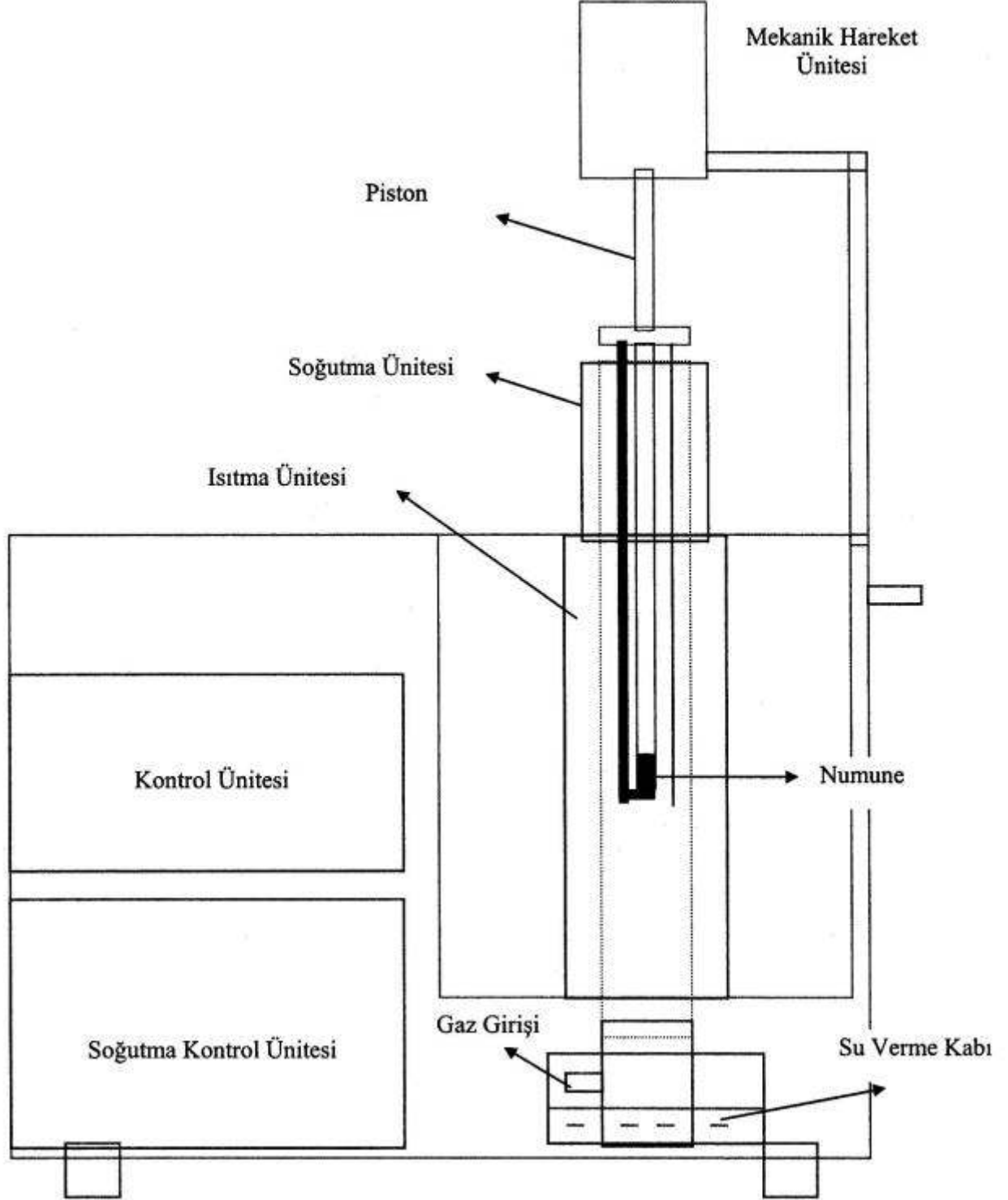
Tablo 4. Isıl İşlem Simülasyonu İçin Seçilen Boru Hızları

| Numune No | Boru hızı (m/dak) | Toplam fırında kalma süresi (dak) |
|--------------|-------------------|-----------------------------------|
| 1 (standard) | 0.26 | 125.0 |
| 2 | 0.24 | 135.4 |
| 3 | 0.25 | 130.0 |
| 4 | 0.27 | 120.4 |
| 5 | 0.28 | 116.1 |

Simülasyon Deneyleri

Simülasyon deneyleri için kaynak merkezinden 6 mm çapında, 30 mm uzunluğunda beş adet silindirik numune alınmıştır. Tav fırını için seçilen maksimum sıcaklık ferrit şeridi varlığı nedeniyle değiştirilmeyip 910 °C olarak alınmıştır. Fırında kalma sürelerini etkileyen boru hızı ise değiştirilerek beş farklı boru hızı için tav fırınının çeşitli bölmelerinde borunun kalma süreleri hesaplanmıştır. Öncelikle kaynaklı borulara tecrübeye dayalı olarak uygulanan termal çevrim ve boru hızı baz alınmıştır. 1 nolu numune standart numune kabul edilmiş ve bu numuneye simülasyon fırınında baz alınan termal çevrime uygun olarak, 0.26 m/dak hızı

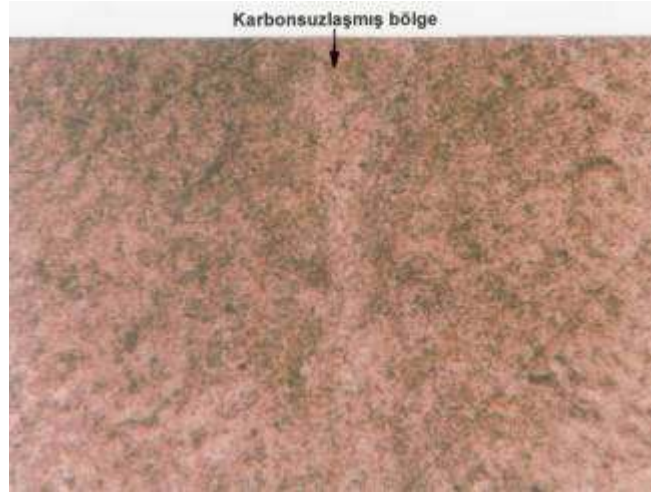
karşılık gelen süreleri kapsayan termal çevrim uygulanmıştır. Diğer dört numune için seçilen boru hızları ise Tablo 4’de görülmektedir. Buna göre 2 ve 3 nolu numuneler daha düşük boru hızlarına karşılık gelecek şekilde 4 ve 5 nolu numuneler ise daha yüksek boru hızlarına karşılık gelecek şekilde simülasyon fırınında termal çevrime tabi tutulmuşlardır.



Şekil 1. Simülasyon Fırınının Şematik Görünüşü

Mikroyapı İncelemeleri, (Görüntü ve Hasar Analizi)

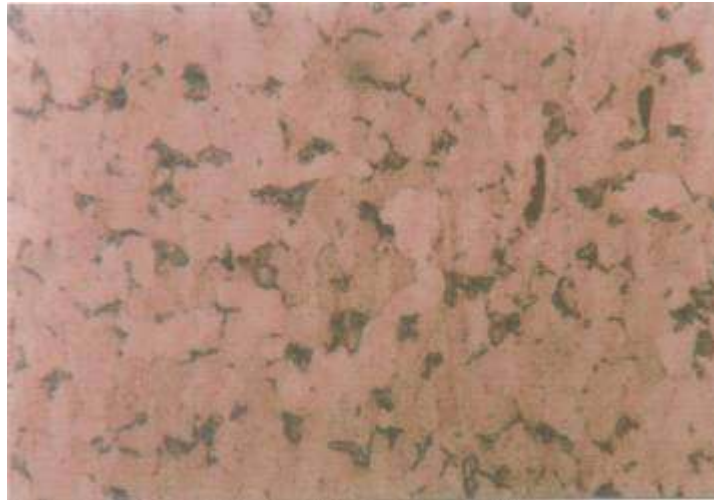
Kaynak sonrası numunenin mikroyapısının belirlenebilmesi amacıyla kaynaklı borudan alınan bir numune kaynak enine kesiti boyunca ışık mikroskopunda incelenmiştir. Kaynaklanan numunelerin merkezinde bir karbonsuzlaşmış bölge belirlenmiştir (Şekil 2). Kaynak sonrası oluşan mikroyapı, mekanik özelliklerin düzeltilebilmesi için mutlaka bir ısıl işlem gerektirmektedir. Isıl işlem parametrelerinin uygunluğunu saptamak amacıyla simülasyon deneyleri yapılmıştır.



Şekil 2. Kaynak Sonrası Numunenin Kaynak Merkezinin Görüntüsü (X 100)

30 mm uzunluğunda ve 6 mm çapındaki numuneler orta eksenine kadar boylamasına taşlanmış, parlatılmış ve % 3 nital ile dağlanarak metalografik incelemelere tabi tutulmuştur.

Dağlanmış numuneler öncelikle ışık mikroskopunda çeşitli büyütmelemlerde incelenmişlerdir. 910 °C gibi yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştirilen ısıl işlem sonrası kaynak merkezindeki dekarburize bölge tüm numunelerde tamamen kaybolmuştur. Bu mikroyapılarda gözle yapılan incelemede 5 ve 4 nolu numunelerin tane büyüklüğü benzer bir ince tane karakteristiği gösterirken (Şekil 3-4), 3 ve 2 nolu numunelerde açık şekilde tane irileşmesi gözlenmiştir (Şekil 5-6). 1 nolu numune de ise yalnız tane irileşmesi eğilimi saptanmıştır (Şekil 7).



Şekil 3. 5 No'lu Simülasyon Numunesi Mikroyapısı (X 1000)

Şekil 4. 4 No 'lu Simulasyon Numunesi Mikroyapısı (X1000)

Şekil 5. 3 No 'lu Simulasyon Numunesi Mikroyapısı (X1000)

Şekil 6. 2 No 'lu Simulasyon Numunesi Mikroyapısı (X1000)

2 ve 3 nolu numunelerde çıplak gözle dahi rahatlıkla görülebilen tane irileşmesini tam olarak belirlemek amacıyla tüm numunelere de Quantimet 500 görüntü analiz sisteminde tane sayımı yapılmış ve ilgili tane büyüklükleri belirlenmiştir. Tane büyümesi görülen numunelerde büyümenin rahatça tespiti açısından küçülme eğilimi görülen taneler sayım dışı bırakılmıştır. Görüntü analizi her bir numunede on farklı alanda yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 8’de görülmektedir. Bu sonuçlar gözle görülen tane boyutu hareketini kanıtlamaktadır.

Şekil 7. 1 No 'lu Simulasyon Numunesi Mikroyapısı (X1000)

Şekil 8. Her Bir Boru Hızına Karşılık Gelen Isıl İşlem Süresine Göre Tane Çapı Değişimi

SONUÇLAR

- i- Dizayn ve imal edilen simulasyon fırını eritilip katılaştırma operasyonlarını içeren termal çevrime sahip prosesler ve katı hal konumunda hızlı ısıtma ile soğutma çevrimlerine sahip olmayan prosesler, özellikle ısıl işlemlere yönelik olarak bu proseslerin ilgili parametrelerinin doğru tespitini sağlayacak kapasitededir.
- ii- Yüksek frekans kaynaklı boruların ısıl işlemi için yapılan simulasyon uygulamasında numunelerde amaçlanan kaynak orta eksenindeki ferrit çizgisinin eliminasyonu tüm numunelerde gerçekleşmiştir.
- iii- Yüksek frekans kaynaklı boruların ısıl işlemi için yapılan simulasyon uygulamasında farklı boru hızlarının mikroyapıya ve malzemenin kırılma davranışına olan etkisi net bir şekilde ortaya konmuştur. Düşük kaynak hızları (2 ve 3 nolu numuneler) mikroyapıda tane irileşmesine neden olmuştur. Bu sonuçlara göre boru üretimi sonrası karşılaşılabilecek gevrek kırılmanın gerçekleşmemesi için tane irileşmesinin oluşmadığı ısıl işlem, boru hızı seçimi için bir çözüm olarak düşünülebilir.
- iv- Yüksek frekans kaynaklı boruların ısıl işleminin simulasyonu sonucu mümkün en yüksek boru hızı seçilerek (4 ve 5 nolu numune) üretim hızlandırılabilir.

KAYNAKÇA

1. **Easterling, K.**, Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, Butterworth & Co Ltd., London, (1983) p: 29-33.
2. **Çöl, M.**, Hochttemperatureigenschaften Austenitischer Chrom-Nickel-Stähle mit unterschiedlichen Phosphorgehalten unter Stranggussähnlichen Bedingungen im Heisszugversuch, PhD Thesis, RWTH-Aachen, Germany, 1995.
3. **Çöl, M.**, et al, Messung der wahren Spannung-wahre Dehnung Kurve nach Partiellem Aufschmelzen zur Ermittlung der Eigenschaften von Stahl beim Strangiessen, Z. für Metallkunde, 84, 854-859, 1993.
4. **Lin, D.Y.**, et al, The Influence of Solidification Morphology on the High-Temperature Mechanical Properties of 18-10CrNi steel, Steel Res., 67, 1996.
5. **Fairchild, D.P.**, et al, Welding Journal, 321-s – 329-s, 1991.
6. **Chang, W.S., Chang, R.W.**, Microstructure and Toughness in the HAZ of Ti-B Bearing Quenched and Tempered Steels, Proceedings of the Second International Conference on HSLA steels, Beijing, China, (1990) pp: 507-512.
7. **Koch, F.O., Peters, P.A.**, Distinguishing Characteristics of HF Induction-Welded Pipe, Pipe Symposium, New Orleans, USA, 1986, pp: 214-221.
8. **Changchun, Y.**, Metallographic Examination Evaluation Criteria and Control for ERW Pipe Production, Tube International, 153-155, 1996.