



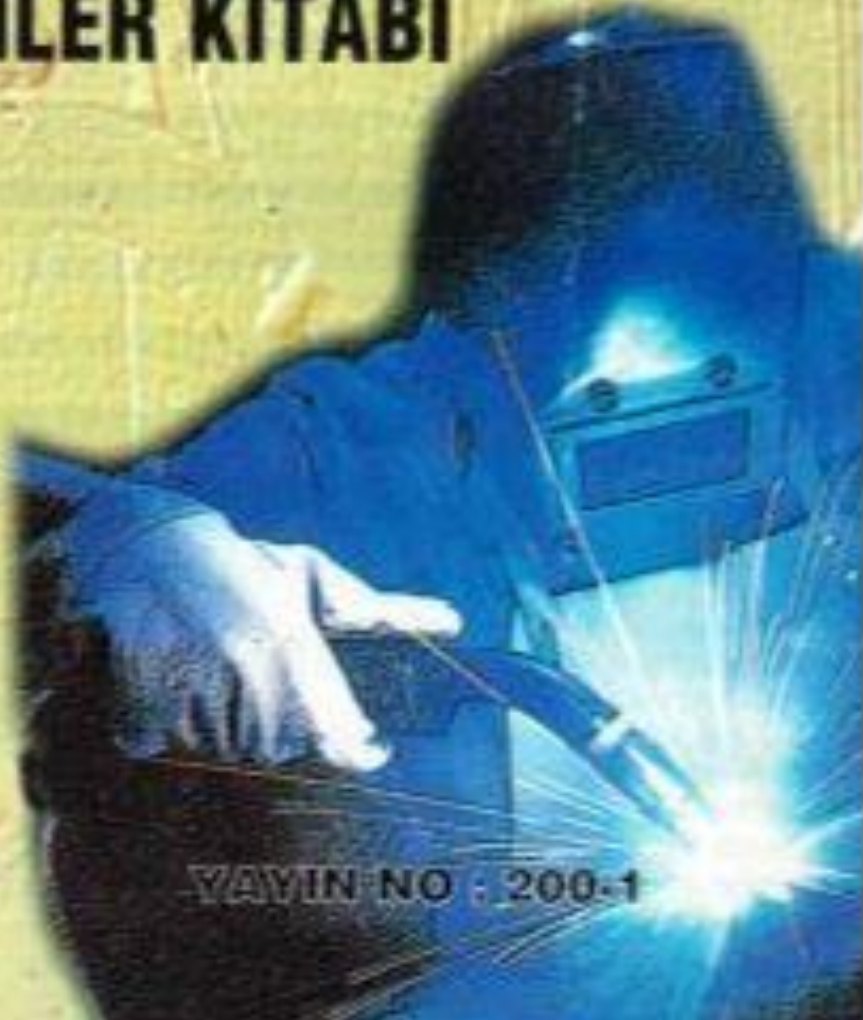
tmmob makina mühendisleri odası

KAYNAK TEKNOLOJİSİ

1. ULUSAL KONGRESİ

BİLDİRİLER KİTABI

13 - 14 - 15 HAZİRAN 1997
ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜLTÜR VE KONGRE MERKEZİ
ANKARA



YAYIN NO : 200-1

SOĞUK ÇEKİLMİŞ YÜKSEK FREKANS İNDÜKSİYON KAYNAKLI (YFİK) BORULARDA YENİDEN KRİSTALLEŞME DAVRANIŞI

Prof. İbrahim UZMAN*, Arş. Gör. Y. Müh. Şule Y. ŞİRİN**,
Mak. Y. Müh. K. ŞİRİN

ÖZET

Soğuk çekilmiş yüksek frekans indüksiyon kaynaklı (YFİK) borular, hassas boyut toleransları, yüzey kalitesi ve sahip oldukları mekanik özelliklerden dolayı otomotiv sektörü başta olmak üzere endüstrinin bir çok dalında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Soğuk şekillendirilmiş YFİK borular, deformasyon öncesi mekanik özelliklerini geri kazanırmak amacı ile yumuşatma ısıl işlemine tabi tutuldukları zaman yeniden kristalleşme davranışı gösterirler. YFİK borularda, yüksek frekans indüksiyon kaynağından dolayı kaynak bölgesi ve ana metalin mikroyapısı farklı olduğundan deformasyon öncesi ve sonrası uygulanan ısıl işlemlere karşı ısıl histerizi farklıdır. YFİK borular, uygulanan soğuk deformasyon oranına ve deformasyon öncesi ısıl işlemin uygulanıp uygulanmamasına, uygulanıyorsa da sıcaklık derecesine bağlı olarak kaynak bölgesi ve ana metalde farklı yeniden kristalleşme davranışı gösterebilirler. Bu farklılık nedeni ile, bu tür borular kimi zaman kullanım yerlerinde şekil alma açısından yetersiz kalmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikli olarak yeniden kristalleşme olayı ve yeniden kristalleşmeyi etkileyen faktörler kısaca tanımlanmıştır. Deneysel çalışmada ise, kimyasal bileşimleri ve boyutları eş olan bir dizi boruya, işletme koşullarında farklı ön ısıl işlem ve farklı deformasyonlarda soğuk çekme uygulandıktan sonra, bu borular 650°C de yumuşatma ısıl işlemine tabi tutulmuşlardır. Dolayısı ile, değişik ön ısıl işlem ve soğuk deformasyon parametreleri oluşturularak, her bir durumdaki yeniden kristalleşme davranışı incelenmiş ve esas metal ile kaynak bölgesi arasındaki yeniden kristalleşme davranış farklılığına yol açan faktörler saptanarak, uygulayıcılara çözüm önerileri sunulmuştur.

1. GİRİŞ

Sağladıkları hassas boyut toleransları, yüzey kalitesi ve sahip oldukları mekanik özelliklerden dolayı soğuk çekilmiş yüksek frekans indüksiyon kaynaklı (YFİK) borular otomotiv sektörü başta olmak üzere endüstrinin bir çok dalında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yük-

* Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 41300 KOCAELİ

** KO.Ü., Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, 41300 KOCAELİ

sek frekans indüksiyon kaynağı sırasında, uygulanan ısının kaynak bölgesi ile ana metal arasında yarattığı farklılıktan dolayı, soğuk çekilmiş YFİK borular yumuşatma amacıyla ısıtılma tabii tutuldukları zaman, kaynak bölgesi ve ana metal birbirlerine göre farklı yeniden kristalleşme davranışı gösterirler. Bu davranış farklılığı, kullanım yerinde boruların şekillendirilmesinde bazı sorunlara yol açmaktadır. Bu çalışmada, ön ısıtılma işlem ve soğuk çekme deformasyonunun yeniden kristalleşme üzerine etkisi incelenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Ayrıca, yeniden kristalleşme davranışını belirleyen kimyasal bileşim, mikroyapı ve band üretim koşulları hakkında da bilgi verilmiştir.

2. YFİK BORULARDA YENİDEN KRİSTALLEŞME DAVRANIŞI

2.1. Yeniden Kristalleşmenin Teorisi

Plastik şekil değiştirme sonucu kristal ve tane yapısı bozulmuş, iç gerilmeler meydana gelmiş bir metal malzemede, yeni tanelerin oluşması ve bu arada gerilmelerin giderilmesini sağlayan ve dönüşüm sıcaklığının altında, herhangi bir dönüşüm meydana gelmeksizin yapılan ısıtılma işlemi “yeniden kristalleştirme” denir (Şekil 1). Yeniden kristalleştirme tavlama sonucu malzeme, deformasyon öncesi özelliklerini geri kazandığı gibi daha ince taneli bir yapıya sahip olur (1,2,3,4). Plastik şekil değişimi sonucunda, malzemenin enerji içeriği önemli ölçüde artar ve yapının durumu artan dengesizlik yönünde değişir. Depolanan enerji esas olarak, şekil değişimi sırasında yoğunlukları 10^{5-6} ‘dan 10^{8-10} mm/mm³ değerine yükselmiş olan dislokasyonların elastik gerilim enerjisi olup bu enerji yeniden kristalleştirme için itici gücü oluşturur. Bu durumda, yeterli bir aktivasyon yani sıcaklık artışı sağlanırsa; önce kristal kusurların düzenlenmesi ve kısmen yok olması ile enerjide bir düşme (toparlanma), ve daha sonra enerji bakımından zengin dislokasyonların yoğunluğunun şekil değişimi öncesindeki değerine düşmesi ile yeni tane oluşumu (yeniden kristalleştirme) gözlenir. Söz konusu olaylar için atomların küçük yer değiştirmeleri yeterlidir (5).

Yeniden kristalleştirme olayı, metalik bir malzemeye, malzemenin özelliğine bağlı olarak belirlenen kritik deformasyon miktarının üzerinde bir plastik deformasyon uygulayıp enerji içeriğinde belirli bir artış sağladıktan sonra aktivasyon enerjisi (sıcaklık artışı) uygulayarak gerilimsiz yeni tanelerin oluşturulması esasına dayanır. Metalik malzemeye plastik şekil değişimi uygulandığında, harcanan enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşür iken, küçük bir kısmı depolanmış enerji olarak yapıda kalır. Şekil 2’de görüldüğü gibi depolanan enerji artan deformasyon ile azalan bir hızda artmaktadır ki bunun nedeni de, metal içinde depolanan enerjinin harcanan enerjiye oranının artan deformasyon ile azalmasıdır (5,6). Depolanan enerji miktarını etkileyen faktörler kısaca aşağıda özetlenmiştir (4,6,7).

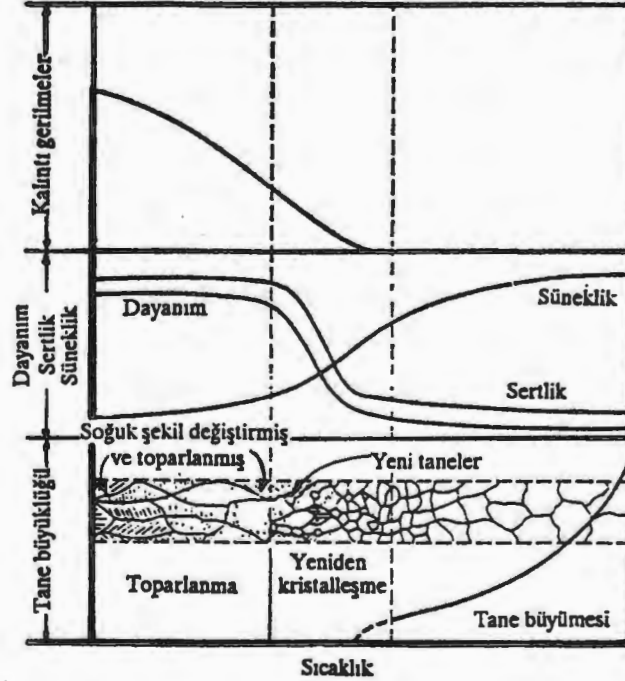
Deformasyon: Uygulanan deformasyon miktarı arttıkça, depolanan enerji miktarı da artar.

Zira bu durumda, dislokasyonların birbirini engellemeleri daha fazla olacağı için dislokasyon yoğunluğunda artış meydana gelir

Sıcaklık: Düşük sıcaklıklarda uygulanan deformasyonda, serbest enerjiye katılan ve deformasyon hatalarını azaltmak için gerek duyulan ısı enerjisinin daha az olmasından dolayı depolanan enerji miktarı artar.

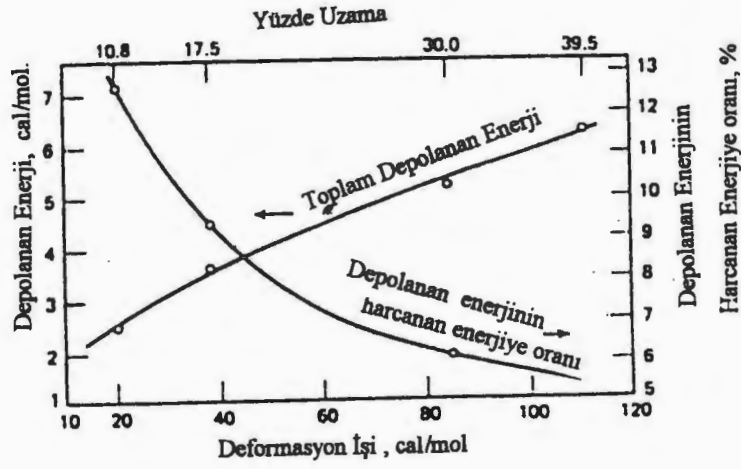
Safılık: Belirli bir deformasyon oranı için, metale ilave edilen yabancı atomlar depolanan enerji miktarı artırır. Zira, ilave edilen yabancı atomlar dislokasyon hareketini engelleyerek yeni dislokasyonların oluşmasına ve yoğunluğunun artmasına neden olurlar. Ayrıca malzeme de bulunan safsızlıklar, çözünmüş maddeler, ince ikinci faz parçacıklar tane sınırının ilerlemesine karşı koyarak tane büyümesini engellediği için yeniden kristalleşme hızını düşürürken, yeniden kristalleşme sıcaklığının yükselmesine neden olurlar (8,9).

Tane büyüklüğü : Deformasyon öncesi başlangıç tane boyutunun küçük olması durumunda, birim hacim başına düşen tane sınırı miktarı daha fazla olacaktır. Aynı zamanda, tane sınırları dislokasyon hareketini engellediği için, deformasyon sonrası dislokasyon yoğunluğu ve buna bağlı olarak ta depolanan enerji miktarında bir artış olacaktır. Ayrıca başlangıç tane bo-



yutunun küçük olması verilen belirli bir deformasyon için yeniden kristalleşmiş tane boyutunun da küçük olması anlamını taşımaktadır (4,5,6,8,9,10).

Şekil 1. Soğuk şekil değiştirme oranına ve deformasyon sonrası uygulanan tavlama sıcaklığına bağlı olarak, malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişim.



Şekil 2. %99.99 saflıktaki Cu'nun deformasyonu sırasında depolanan enerji miktarı.

2.2. Soğuk Çekilmiş YFİK Borularda Yeniden Kristalleşme

Yüksek frekans indüksiyon kaynaklı (YFİK) borular, yüksek yüzey hassasiyeti ve boyut toleransı elde etmek amacı ile soğuk çekme işlemine tabi tutulurlar. Soğuk çekme işlemi sırasında uygulanan deformasyon miktarına bağlı olarak, artan sertlik ve mukavemet değerlerini azaltmak, azalan sünekliği deformasyon öncesi değerine getirmek ve oluşan artık gerilmeleri yok edebilmek için malzemeye soğuk çekme sonrası ısıtma işlemi uygulanır. Yüksek frekans indüksiyon kaynağı sırasında, uygulanan ısının kaynak bölgesi ile ana metal arasında yarattığı farklılıktan dolayı, soğuk çekilmiş YFİK borular yumuşatma amacıyla ısıtma işlemine tabi tutulduklarında, kaynak bölgesi ve ana metal farklı yeniden kristalleşme davranışı gösterirler. Bu farklılığın, soğuk çekilmiş YFİK boruların kullanım amaçlarına bağlı olarak uygulanan soğuk şekillendirmelerde (eğme, bükme, şişirme, yassılaştırma, vb.) biçimlendirilebilirlik açısından sorunlara yol açmaktadır. Kaynak bölgesindeki ferrit tane boyutunun ana metale göre daha büyük olması nedeni ile uygulanan soğuk işlem sonrasında kaynak bölgesinin sertliği ana metale göre daha düşüktür (11). Bu farklılıkların kullanım sırasında yarattığı olumsuzlukları gidermek amacı ile, yeniden kristalleşme davranışını etkileyen ve başlangıç tane boyutunu belirleyen ön tav sıcaklığının, yeniden kristalleşmenin oluşumunu sağlayan soğuk çekme miktarı ile yeniden kristalleşme sıcaklığının, mikroyapının, alaşım elementi içeriğinin ve çökelti tipinin ve maksimum sınır değerinin uygun bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç ile, ön tav sıcaklığı ve deformasyon miktarına bağlı olarak oluşan yeniden kristalleşme davranışı incelenmiştir.

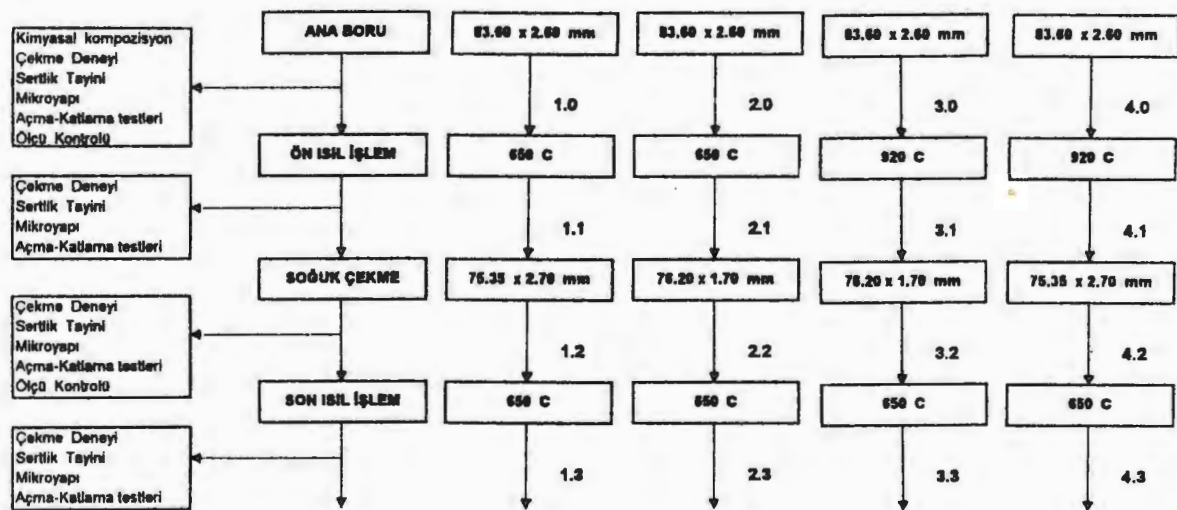
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan deneysel çalışmalarda, kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilen 83.60x2.60 mm bo-

yutlarındaki 4 adet boruya işletme koşullarında farklı ön ısıl işlem ve farklı deformasyon oranlarında soğuk çekme uygulandıktan sonra, 650°C de yumuşatma ısıl işlemi uygulanmıştır. Isıl işlemler, dört kademeli ısıtma sistemine sahip olan 12.5 m. uzunluğunda ki bir ısıl işlem fırınında toplam 22 dakikalık bir tavlama süresi içinde gerçekleştirilmiştir. Değişik ön ısıl işlem ve soğuk deformasyon kombinasyonları oluşturularak her bir durumdaki yeniden kristalleşme davranışı incelenmiştir. Her bir numuneye uygulanan ısıl işlemler ve soğuk çekme miktarları ile her bir adımda yapılan mekanik deneyler Şekil 3 'de gösterilmiştir.

Tablo 1.- Deney numunesinin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi %																		
Fe ₂	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni ₃	Al	Cu	N	Nb	Pb	Sn	Ti	V	W	
98.95	.070	.170	.365	.018	.036	.025	.010	.019	.027	.022	.011	.010	.004	.003	.005	-	.056	



Şekil 3. Deney ve numune alma planı.

3.1. Deney Sonuçları ve İrdelenmesi

Bu araştırmada, elde edilen çekme deneyi sonuçları Tablo 2 'de, Vickers metodu ile 5kg. lık yük uygulayarak elde edilen sertlik değerleri Tablo 3 'de verilmiştir. Tablo 4 'de verilen açma ve katlama değerleri sırasıyla, boruya uygulanan şişirme işleminde borunun hasara uğramadan (çatlama, yırtılma vb. olmaksızın) alabildiği çap değerini ve boruya uygulanan yassılaştırma işleminde borunun hasara uğramadan, uygulanan baskı yönünde, boru dış cidarları arasındaki mesafeyi mm. cinsinden gösterir.

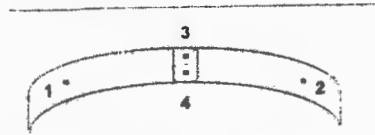
Kaynak işleminin hemen sonrasında alınan numuneler üzerinde yapılan mikroyapı incelemelerinde, kaynak işlemi sırasında uygulanan sıcaklıktan dolayı YFİK borunun kaynak bölge-

sinde ve ısıdan etkilenen bölgede (IEB) yapı değişiminin meydana geldiği ve kaynak bölgesinde katılaşma yapısının bulunduğu gözlenmiştir.

Kaynağın hemen sonrası uygulanan ısı işlemi etkinliği deformasyon öncesi başlangıç tane boyutunu belirlediğinden son derece önemlidir. Buradan hareket ile, ön ısı işlem sıcaklık değişimlerinin yeniden kristalleşme üzerine etkileri yapılan deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Bu amaç ile ön ısı işlem sıcaklıkları 650°C ve 920°C olarak belirlenmiştir. Ön ısı işlem sıcaklığı 650°C olarak seçildiğinde, kaynak bölgesinin katılaşma yapısında herhangi bir değişim gözlenmemiş ve yapı iğnesel ferritten oluşmuştur. Ön ısı işlem sıcaklığı 920°C olduğunda yapı tamamen normalize olmuş ve katılaşma yapısı kaybolmuştur. Soğuk çekme öncesi 650°C'de ön ısı işlem uygulanan ve ardından %10 deformasyona tabi tutulan borunun ne kaynak bölgesinde ne de ana metalinde yeniden kristalleşme gözlenmez iken soğuk çekmenin %40 deformasyonda yapılması ile hem kaynak bölgesi hem de ana metalde yeniden kristalleşme gözlenmiştir. Soğuk çekme öncesi 920°C'de ön ısı işlem uygulayarak normalize hale getirilen yapıya, %10 deformasyon sonrasında 650°C'de yumuşatma tavlama uygulandığında yeniden kristalleşme olayı gözlenmemiştir. 920°C'de uygulanan ön ısı işlem sonrası, %40 deformasyonda soğuk çekmeye maruz kalan malzemede oluşmuş olan uzamış taneler 650°C'de uygulanan son ısı işlem yardımı ile giderilerek hem kaynak bölgesinde hem de ana metalde homojen yeniden kristalleşmenin oluşması sağlanmıştır. Mikroyapı incelemelerinden elde edilen bu sonuçları mekanik deney değerleri de doğrulamaktadır.

Kısaca özetlenirse, 650°C ve 920°C ön tav sıcaklığına tabii tutulan numune çifti grubuna %10 ve %40 deformasyon miktarları uygulandığı takdirde, yeniden kristalleşmenin sadece %40 deformasyonda meydana geldiği gözlenmiştir. Bu da, kimyasal bileşimi Tablo 1.'de verilen borunun kaynak bölgesi ve ana malzemesi için kritik deformasyon değerinin %10'dan büyük olduğunu göstermektedir.

Yeniden kristalleşmiş tane boyutu başlangıç tane boyutu ile orantılı olduğu için deformasyon öncesi uygulanan ön tav sıcaklığı önem taşımaktadır. 920°C 'de ki ön ısı işlem sonrası, soğutmanın durgun havada gerçekleşmesi, tane sınır hareketine yeterli süreyi sağlayacağı için taneler büyür. Bu da, yeniden kristalleşmiş tane boyutunun irileşmesi anlamını taşımaktadır. Yeniden kristalleşmiş tane boyutunda oluşan bu büyüme mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediğinden, giderilmesi için ön tav sıcaklığının normalizasyonu sağlayacak kadar yüksek fakat tane irileşmesine neden olmayacak kadar düşük olması gerekir.



Tablo 2.- Çekme deneyi Sonuçlar.

Tablo 3.- Sertlik deneyi sonuçları.

Tablo 2.- Çekme deneyi Sonuçlar.

Tablo 3.- Sertlik deneyi sonuçları.

Numune No.	Proses Adımı	R_p N/mm	R_m N/mm	A %
1.0	kaynak yolu sonu	401	458	28.84
1.1	650°C ısıtım işlemi sonu	374	420	35.58
1.2	%10 deformasyon sonu	469	507	19.83
1.3	650°C ısıtım işlemi sonu	415	455	25.97
2.0	kaynak yolu sonu	344	409	37.80
2.1	650°C ısıtım işlemi sonu	358	416	37.09
2.2	%40 deformasyon sonu	685	696	4.59
2.3	650°C ısıtım işlemi sonu	368	377	33.09
3.0	kaynak yolu sonu	369	449	28.77
3.1	920°C ısıtım işlemi sonu	280	381	40.31
3.2	%40 deformasyon sonu	604	618	5.73
3.3	650°C ısıtım işlemi sonu	312	428	48.79
4.0	kaynak yolu sonu	377	439	28.85
4.1	920°C ısıtım işlemi sonu	375	381	41.84
4.2	%10 deformasyon sonu	415	458	22.03
4.3	650°C ısıtım işlemi sonu	359	422	34.30

Numune No.	Proses Adımı	1	2	3	4
1.0	kaynak yolu sonu	145	148	139	143
1.1	650°C ısıtım işlemi sonu	124	123	130	134
1.2	%10 deformasyon sonu	148	145	146	148
1.3	650°C ısıtım işlemi sonu	135	138	140	139
2.0	kaynak yolu sonu	145	148	139	143
2.1	650°C ısıtım işlemi sonu	124	123	130	134
2.2	%40 deformasyon sonu	201	204	197	201
2.3	650°C ısıtım işlemi sonu	134	133	130	132
3.0	kaynak yolu sonu	132	139	161	165
3.1	920°C ısıtım işlemi sonu	124	125	116	120
3.2	%40 deformasyon sonu	158	160	171	174
3.3	650°C ısıtım işlemi sonu	140	141	143	145
4.0	kaynak yolu sonu	132	139	161	165
4.1	920°C ısıtım işlemi sonu	124	125	116	120
4.2	%10 deformasyon sonu	127	130	135	137
4.3	650°C ısıtım işlemi sonu	120	124	124	120

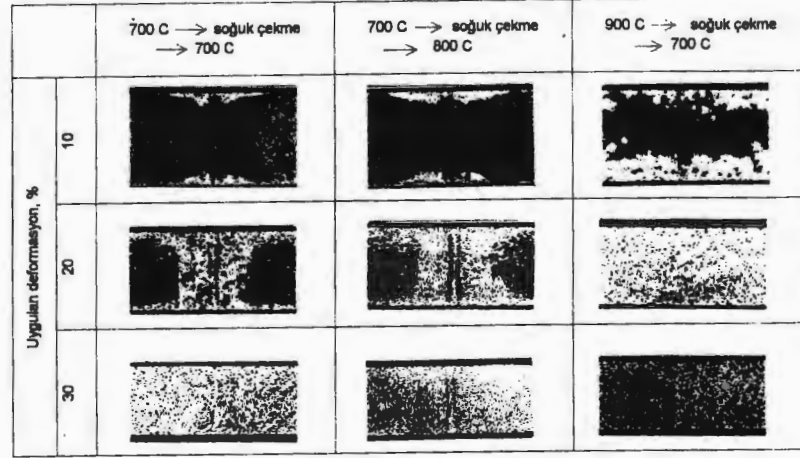
Tablo 4.- Açma-katlama deneyi sonuçları.

Numune No.	Katlama (mm)	Açma (mm)	Numune No.	Katlama (mm)	Açma (mm)
1.0	12	107	3.0	13	110
1.1	15	111	3.1	10	111
1.2	17	103	3.2	25	88
1.3	12	105	3.3	10	101
2.0	13	108	4.0	12	107
2.1	12	110	4.1	11	110
2.2	40	83	4.2	17	100
2.3	10	94	4.3	12	101

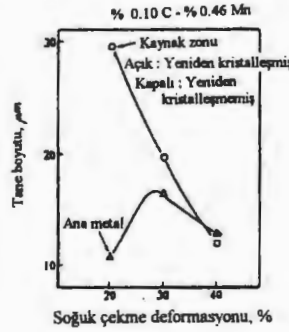
Yapılan bir çalışmada, düşük karbonlu YFİK borular için farklı ön ısıtım sıcaklığı ve soğuk çekme deformasyonuna bağlı olarak kaynak bölgesi ve ana metalde meydana gelen farklı yeniden kristalleşme davranışları yanında deformasyon miktarına bağlı olarak elde edilen ferrit tane boyutundaki değişimler de incelenmiş olup sırası ile Şekil 4. ve Şekil 5.'de gösterilmiştir. Soğuk çekme öncesi 700°C' de ön ısıtım işlemi tabii tutulan boruda %10 deformasyon da ne kaynak bölgesi ne de ana metalde yeniden kristalleşme oluşmaz iken, %30 deformasyon da her iki bölgede, %20 deformasyon da ise sadece kaynak bölgesinde yeniden kristalleşme meydana gelmiştir. Uygulanan deformasyon oranına bağlı olarak ferrit tane boyutunda meydana

gelen değişim Şekil 5.'de verilmiştir. %30 deformasyonda kaynak bölgesi ve ana metaldeki ferrit tane boyutları birbirine çok yakın iken, bu fark %20 deformasyonda çok artmaktadır. Bunun nedeni ise, kaynak bölgesi için kritik deformasyon değerinin %10-20 aralığında iken ana metal için %20-30 olmasıdır. Deneysel çalışmada, soğuk çekme öncesi 900°C'de ön ısıl işlem uygulanan boruda, %20 deformasyonda kaynak bölgesi ve ana metalde yeniden kristalleşmenin oluşmasının nedeni ana metalin kritik deformasyon değerinin %20'nin altına düşmesidir (11).

Şekil 4. Yeniden kristalleşmiş yapının makro görüntüsü.



Şekil 5. Soğuk çekme deformasyonunun ferrit tane boyutuna etkisi.



4. FARKLI YENİDEN KRİSTALLEŞME DAVRANIŞINA NEDEN OLAN DİĞER FAKTÖRLER

YFİK borularda, kaynak bölgesi ve ana metale uygulanan soğuk çekme miktarı ve bunun sonrasında uygulanan ısıl işlem sıcaklığı aynı olmasına karşın, yüksek frekans indüksiyon kaynağından dolayı kaynak bölgesi ve ana metalin ısıl histerizi farklıdır. Kaynak dikişindeki ısı mikroyapı ve çökelti dağılımında değişikliğe neden olur. Bu değişikliklerin yeniden kristalleş-

me üzerine etkileri ve çözüm önerileri yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkarılmıştır (11).

4.1. Mikroyapının Etkisi

Yeniden kristalleşme olayı başlangıç mikroyapısı ile doğrudan ilişkilidir. Öyle ki, soğuk çekme öncesi hiç bir ön ısıl işlem uygulanmayan malzemede yeniden kristalleşme kaynak bölgesi ve ana metalde ferrit tane boyutlarının her bir bölgede de kabalaşması ile oluşurken, 700°C'lık bir ön tav uygulandığında daha ince ferrit tane boyutuna sahip olarak yine her iki bölgede de oluşur (6,11).

C ve Mn içeriğinin de yeniden kristalleşme üzerine etkisi vardır. C ve Mn içeriği sırasıyla %0.1 ve %0.46 olan malzemede, sadece beynitik ve ferritik bir yapıya sahip olan kaynak bölgesinde tane boyutunun kabalaşması ile yeniden kristalleşme oluştuğundan sertlik değeri ana metalinkinden düşüktür. Buna karşılık, %0.15 C ve %1.47 Mn içeren malzemede, beynitik bir yapıya sahip olan kaynak bölgesinde, yeniden kristalleşmenin gecikmesinden dolayı sertlik değeri ana metalden yüksektir. Soğuk çekme öncesi mikroyapıdaki farklılıklardan kaynaklanan olumsuzlukları gidermek amacıyla YFİK boruların ön ısıl işleme tabi tutulması önemle tavsiye edilir.

4.2. AlN Çökeltilerinin Etkisi

AlN çökeltilerinin yeniden kristalleşme üzerinde çok büyük etkisi vardır. Kaynak dikişi sırasında uygulanan sıcaklık nedeni ile AlN çökeltilerinin boyut ve miktarında değişiklikler meydana gelir. Kaynak bölgesi ve ana metaldeki bu farklılıklar yeniden kristalleşmenin tüm boru boyunca homojen olmasına engeldir. Kaynak bölgesinde yeniden kristalleşmiş ferrit taneleri mevcut iken, ana metalde yeniden kristalleşmiş bir mikroyapının olmamasının nedeni kaynak bölgesindeki AlN çökelti miktarının ana metaldekine göre daha az olmasıdır. Aynı şekilde, ana metalde AlN çökelti miktarı kaynak bölgesine göre daha az olduğundan yeniden kristalleşmiş mikroyapı ana metalde gözlenir ve kaynak bölgesindeki yeniden kristalleşme homojen değildir. Yeniden kristalleşme davranışının etkinliği AlN çökelti miktarına son derece bağımlı olup artan AlN çökeltileriyle azalır. AlN çökelti miktarının ve dağılımının kontrolü yardımıyla homojen yeniden kristalleşme sağlanarak yapı iyileştirilebilir. Bu amaç ile yapılacak işlemler şöyle açıklanabilir;

(a). AlN çökeltilerinin dağılımını ve aynı zamanda mikroyapıyı kontrol edebilmek amacı ile, kaynak bölgesinin uygun bir sıcaklıkta tavlama son derece önemlidir. Bu neden ile, kaynak işlemi sonrasında kısmi tavlama yapabilen bir cihaz yardımıyla sadece kaynak dikişi farklı sıcaklıklar da ısıl işleme tabii tutulmuş ve bu farklı sıcaklıklarının AlN çökelti dağılımına ve yeniden kristalleşme üzerine etkileri gözlenmiştir. AlN çökeltilerinin miktarı 780(C'de en faz-

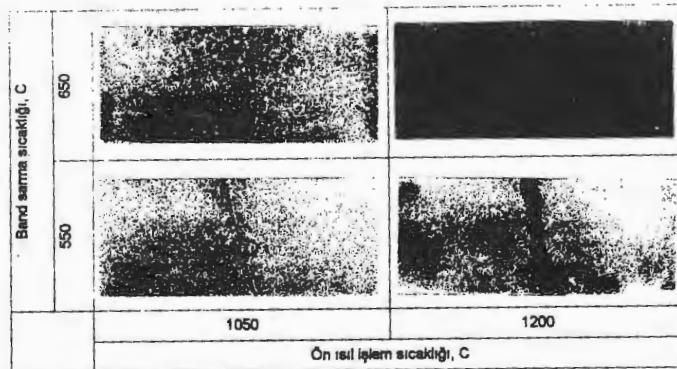
la olurken, yaklaşık olarak 1100°C 'nin üzerinde kabalaştıkları bilinmektedir. Kaynak bölgesine 1150°C'de uygulanan ön ısıtma işlemde AlN çökeltilerinin kabalaştığı gözlenmiştir. Uygulanan ön ısıtma işlem sıcaklığı 860°C olduğunda kaynak bölgesi ve ana metalde yeniden kristalleşme oluşurken, sertlik dağılımında da bir homojenlik gözlenmiştir. Soğuk şekillendirilmiş YFİK boruların kullanım yerinde şekil alma kabiliyetini arttırmak için, kaynak bölgesi ve ana metalde homojen bir yapı elde etmek amacıyla uygun bir ön ısıtma işleminin yapılması önemlidir.

(b). Band üretim aşamasında, sıcak haddelenmiş bandların haddeleme koşullarının ve kimyasal bileşenlerinin ayarlanması ile AlN çökeltilerinin kontrolü sağlanabilir. Düşük karbonlu ingota, haddeleme öncesi uygulanan ısıtma işlem ve sıcak haddelenmiş bandların sarma sıcaklığı sırasıyla 1050 veya 1200°C ve 550 veya 650°C olarak değiştirilmiştir.

Haddeleme öncesi uygulanan farklı ısıtma ve band sarma sıcaklıkları sonucu elde edilen yapılar Şekil 6'da gösterilmiştir. Düşük ön ısıtma işlem sıcaklığında, yeniden kristalleşmenin hem kaynak zonu hem de ana metalde oluştuğu, düşük ön ısıtma işlem ve düşük band sarma sıcaklığında ise homojen yeniden kristalleşmiş mikroyapının oluştuğu görülmüştür. Düşük ön ısıtma işlem sıcaklığı AlN çökeltilerinin kabalaşmasına ve segregasyonuna neden olurken, düşük band sarma sıcaklığı AlN çökeltilerinin oluşumunun gecikmesine neden olur.

Uygun haddeleme koşullarında üretilmiş olan sıcak haddelenmiş bandlar kullanılarak, soğuk çekilmiş YFİK borularda daha homojen yeniden kristalleşmiş mikroyapı elde etmek olasıdır.

AlN miktarı, Al ve N' un bir fonksiyonu olup Al ve N içeriğinin azalması ile birlikte, azalmakta ve soğuk çekilmiş YFİK borular daha homojen yeniden kristalleşmiş bir yapıya sahip olmaktadır. Al ve N içeriklerinin sırasıyla %0.025 ile %0.0035'in altına çekilmesi ile yeniden kristalleşmiş mikroyapı homojen hale getirilebilir.



Şekil 6. Haddeleme koşullarının yeniden kristalleşme üzerine etkisi.

Kolaylıkla kabalaşan yeniden kristalleşmiş ferrit tanelerini inceltmek amacıyla, uygun haddeleme koşulları yanında bir miktar Ti katılması uygundur. Ti ilaveli çelik YFİK boruda üniform yeniden kristalleşmiş mikroyapı düşük ön ısıtma ve sarma sıcaklıkları yardımıyla inceltilir.

5. GENEL SONUÇLAR

Yeniden kristalleşmenin oluşması için temel koşul, soğuk şekillendirme miktarının, malzemenin kritik deformasyon değerini aşması ve bunun ardından uygulanan ısı aktivasyonun yeterli olmasıdır. Uygulanan ön tav sıcaklığı, deformasyon miktarı, yumuşatma tav sıcaklığı tarafından etkinliği belirlenen yeniden kristalleşme ısı işlemi çökeltilerin oluşumunu belirleyen kimyasal bileşime ve band üretiminden boru üretimine kadar gerçekleşen üretim koşullarına bağlıdır. Yeniden kristalleşme davranışının, kaynak bölgesi ve ana metalde homojen bir şekilde oluşumunu sağlamak amacıyla bunların kontrol altında olması ve gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

1. Soğuk çekme öncesi mikroyapıdaki farklılıklardan kaynaklanan olumsuzlukları gidermek amacıyla YFİK boruların ön ısıtma işlemi tabii tutulması önemle tavsiye edilir.

2. AlN çökelti miktarının ve dağılımının kontrolü yardımıyla homojen yeniden kristalleşme sağlanarak yapı iyileştirilebilir. Band üretim aşamasında, sıcak haddelenmiş bandların haddeleme koşullarının ve kimyasal bileşenlerinin ayarlanması ile AlN çökeltilerinin kontrolü sağlanabilir.

3. Uygun haddeleme koşullarında (düşük ön ısıtma işlem sıcaklığı ve band sarma sıcaklığı) üretilmiş olan sıcak haddelenmiş bandlar kullanılarak, soğuk çekilmiş YFİK borularda daha homojen yeniden kristalleşmiş mikroyapı elde etmek olasıdır.

4. Kolaylıkla kabalaşan yeniden kristalleşmiş ferrit tanelerini inceltmek amacıyla, uygun haddeleme koşulları yanında bir miktar Ti katılması uygundur.

KAYNAKÇA

1. GÜLEÇ, Ş., "Malzeme Ders Notları", İTÜ Makina Fakültesi Ofset Atelyesi, İstanbul, 1980, p. 40-42.
2. KRAUSS, G., "Principles of Heat Treatment of Steel", American Society for Metals, Ohio, 1980, p. 115-116.
3. KAYALI, E.S., ENSARİ, C., "Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları", İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1986, p. 94-99.
4. VERHOVEN, J.D., "Fundamentals of Physical Metallurgy", Canada, p. 325-361.

5. GÜLEÇ, Ş., ARAN, A., "Malzeme Bilgisi", Cilt.1, MBEAE Matbaası, Gebze, 1988, p.39-43.
6. HILL, R.E., "Physical Metallurgy Principles", Canada, 1967, p.175-219.
7. VLACK, V. , "Elements of Material Science", Michigan, 1974, p.153-155.
8. HU,H., Metal Handbook, Metallography and Microstructures American Society for Metals, Vol. 9, USA, 1985, p.693-698.
9. GEÇKİNLİ, E., Ders Notları, İTÜ (yayınlanmamış).
10. AVNER, S.H., "Introduction to Physical Metallurgy", Second edition, Ankara, 1984, p.129-137.
11. ADANIYA, T., "Cold Drawn ERW Pipe", Tube International, November, 1988, p. 332-336