

# Soğuk haddelenmiş IF çeliklerinde anizotropi katsayısının (r) geliştirilmesi

**Dursun Ali YAŞACAN\***, **E. Sabri KAYALI**

*İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Programı 34469, Ayazağa, İstanbul*

## Özet

Otomotiv endüstrisinde iç ve dış panellerin üretiminde kullanılan arayer atomsuz (Interstitial-Free Steel) çelikler, çok az miktarlarda karbon ve azot içermeleri nedeniyle pres altında şekillendirmeye uygun çeliklerdir. Arayer atomsuz çeliklerde, şekillendirilebilme özelliğini olumsuz yönde etkileyen arayer atomlarının (C ve N), çelik üretim prosesi esnasında bileşimden kontrollü bir biçimde uzaklaştırılması Titanyum (Ti) ve/veya Niobyum (Nb) atomlarının C ve N atomları ile reaksiyona girerek çökelti fazları oluşturması ile olmaktadır. Sıcak haddeleme prosesinde slab fırınında belli sıcaklığa kadar ısıtılarak çökeltilerin çözeltiye alınması sağlanır. Bu işlem nihai sıcak band dokusunu ve tane büyüklüğünü belirleyici ilk prosestir. İkmal ve sarılma sıcaklıkları da arayer atomsuz çelik üretiminde önemli olan proses parametreleridir. Her iki proses parametresi de çökelti ve tane büyüklüğünü önemli ölçüde etkileyerek çeliğin nihai mekanik özellikleri üzerinde büyük oranda etkili olmaktadır. Şekillendirilebilme özelliğinin önemli bir göstergesi olan  $r$  değerinin artırılmasında en önemli parametre soğuk ezme oranıdır. Artan tavlama sıcaklığı tane büyüklüğünün artmasında etkili olmaktadır. Çelikhane prosesinden itibaren sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme prosesleri arayer atomsuz çeliğin mekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Endüstriyel ölçekte gerçekleştirilen bu çalışmada, çelik kimyasal bileşiminde bulunan Ti ve Nb elementleri ile soğuk haddeleme ve sürekli tavlama parametrelerinin optimizasyonu sonucunda mekanik özelliklerde oluşan değişimler irdelenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda Ti+Nb elementleri içeren kompozisyonlarda, yüksek ezme oranları (%80) ve tavlama sıcaklıklarında (870°C) yüksek  $r$  değerleri elde edilmiştir. Otomotiv sektörünün önemli oranda kullandığı arayer atomsuz çeliklerin mekanik özelliklerinde iyileştirmeler sağlanarak endüstrinin kullanımına sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** IF Çelikleri, soğuk haddeleme parametreleri,  $r$  değeri, mekanik özellikler.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Dursun Ali YAŞACAN. dyasacan@hotmail.com; Tel: (532) 464 99 71.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Programında tamamlanmış olan "Optimization of alloying elements and process parameters for deep drawability property of cold rolled automotive steels" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 05.05.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 20.06.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Development of anisotropy coefficient (r-value) for the cold rolled if steels

### Extended abstract

*Interstitial free steels (if steels) are very suitable material for automotive industry and they are used for inner and outer body panel applications due to their high formability properties. They have extremely high formability characteristics under forming presses. Interstitials damages formability characteristics of steel. Elimination of interstitials (C and N) is achieved through careful control of the steelmaking process by the addition of titanium and/or niobium to react with carbon and nitrogen to form precipitates. In the hot rolling process, firstly, slabs are heated upto some temperature and those precipitates are taken into solid solution. This process affects grain size and texture of hot rolled product. The other important process parameters in hot rolling are; finishing temperature and coiling temperature. Both parameters mainly affect grain size and size of the precipitates in hot rolled coil. and thus mechanical properties are affected. The most important parameter for formability is r value. And it is mainly affected by cold deformation. ratio. Also increasing annealing temperature increases grain size and results in higher formability. All the process parameters through steelmaking to the cold rolling process affects mechanical properties of interstitial free steels and thus affects r value of interstitial free steel. In this study, mechanical properties related with steel chemical composition by optimizing Titanium (Ti) and Niobium (Nb) contents and continuous cold rolling and annealing parameters were investigated in industrial scale. As a result, the highest r values were obtained at 80 % cold deformation ratio and annealing at 870 C for steel with Ti+Nb alloying addition.*

*In this study, experiments were done in industrial scale. Firstly, interstitial free steels containing titanium and titanium+niobium were produced at steel shop. And then slabs produced at continuous casting machines were hot rolled After hot rolling process, those coils were sent to cold mill for cold rolling and annealing process. Also some coils were sent to galvanising line after cold deformation. Each process are controlled by high level process computers in Erdemir plants. Therefore process parameters for trial coils are taken from this computer results. Chemical analysis of heats were done at steel shop chemical laboratories and they were produced ac-*

*ording to instructions given by metallurgical department. Mechanical test samples were taken after continuous annealing line and continuous galvanising line processes. Mechanical properties including yield strength, tensile strength, and elongation at fracture strain hardening exponent and anisotropy coefficient were determined by mechanical tensile tests. Tensile specimens were cut along rolling direction, transverse direction and 45° to the rolling direction. Samples were taken from the middle section of each coil. Tests were done on Zwick Z-100 testing machine. All tests were made at a strain ratio of 2 % Lo/min. The tensile test samples were processed according to DIN EN 10002-1 type 2 standards. The effect of process parameters on mechanical properties were investigated according to these results. Optical microscopy was used for the microstructural examinations and grain size measurements of the samples. Microstructural examinations were conducted on the cross sections perpendicular to the rolling direction. Microstructures of materials including ferrite grain size, carbide type and distributions were investigated with a leco 500 optical microscope. Also scanning electron microscopy was used for the determination of the microstructure and carbide distribution of the samples. The scanning electron microscope was a jeol 5600 jsm type machine. As a result of microstructure analysis effect of process parameters on microstructures analysed. In this study, texture analysis was conducted with a rigaku d-max ultima x-ray diffractometer with a pole figure attachment. Test samples were prepared from annealed samples, punched to a 4mm diameter and then metallographically prepared.*

*The next step was data collection from an x-ray diffractometer. The xrd measurements of samples were carried out in the range of 20-90 2theta degrees with 0.02 steps. Then pole figure measurements were done with different alfa and beta angles in 110, 111 and 200 diffraction lines. As a result of that study, the best composition of interstitial free steel containing titanium and niobium were determined by optimization of titanium and niobium content. Also the best process parameters at the cold mill determined through analysis of results taken from mechanical tests and microstructure analysis in which the highest r value obtained. And interstitial free steel produced after that study put into use for the automotive market as a new quality of steel.*

**Keywords:** *Interstitial free steel, cold mill process parameters, r-value, mechanical properties.*

## Giriş

Otomotiv ve beyaz eşya sektörüne yönelik çelik üretiminde şekillendirebilirlik özelliği önemli bir parametredir. Arayer atomsuz (Interstitial-Free) çeliklerin geliştirilmesinde otomotiv ve beyaz eşya sektörünün bu talebi önemli yeniliklerin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. IF çelikleri yüksek şekillendirilebilirlik ve iyi mekanik özellikleri nedeni ile otomotiv ve beyaz eşya üreticilerinin en fazla kullandıkları malzeme haline gelmiştir. Ancak bu tür çeliklerin üretimi için gerekli teknolojik donanım ve uygulama pratikleri çok hassas teknolojiler gerektirmektedir (Gupta vd., 1998).

Ti ve Nb içeren çok düşük karbonlu IF çelikleri bu tür uygulamalar için uygun olup geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Ti ve Nb ilaveleri sonucunda mevcut ara yer atomları TiC, TiN veya NbCN kararlı bileşikler şeklinde çözeltilmektedir. (Kırmanoğlu, 2001). IF çelikleri düşük karbon ve azot içermeleri dolayısıyla biçimlendirmeye çok uygun olup, düşük akma dayanımına sahiptirler. Otomotiv ve yan sanayi uygulamalarında kullanılmak üzere üretilen soğuk haddelenmiş çeliklerde yüksek r-değeri ile iyi derin çekilebilirlik ve düşük yaşlanma özellikleri kolaylıkla yakalanabilmektedir (Carabajal vd. 2000). Günümüzde yüksek derin çekilebilirliğe sahip arayer atomsuz çelik saclar, Sürekli Tavlama ve Sürekli Galvanizleme hatlarında üretilmektedir.

IF çelikleri, çoğunlukla soğuk haddelenmiş olarak üretilmesiyle birlikte aynı zamanda sıcak haddelenmiş veya galvanizli olarak da çelik sac kullanımında pazar bulmaktadır. Sürekli tavlama hatlarının düşük karbon ve azot içeren çeliklerde ekonomik ve çok verimli olarak kullanılması, arayer atomsuz çeliklerin gelişmesine ve yaygınlaşmasına olumlu katkı sağlamıştır (Bakkaloğlu vd., 2001).

IF çeliklerinde, Ti ve Nb ilave edilerek elde edilen yüksek derin çekilebilirlik özellikleri, malzemedeki C ve N elementlerini bağlamaları nedeniyle olmaktadır. Sadece Ti veya Nb ilavesi ile derin çekilebilirliğin artırılması çok hassas işletme şartları ile mümkün olabilmektedir

(Kato vd., 1985). Her işletmenin uyguladığı haddeleme pratikleri farklı Ti ve Nb kompozisyonları ve haddeleme şartlarını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada % 0.067 Ti ve % 0.010 Nb + % 0.03 Ti içeren IF çeliklerinde soğuk haddeleme ve tavlama proses parametrelerinin mekanik özellikler, anizotropi katsayıları ve tekstür değişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## DeneySEL çalışmalar

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (ERDEMİR) 2.Soğuk Haddehane tesisleri kullanılarak endüstriyel ortamda ve ölçekte gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda Ti ve Ti+Nb içeren IF çeliklerinde soğuk haddeleme ve tavlama parametrelerinin mekanik özellikler ve doku yapısı (tekstür) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla Tablo 1’de bileşimleri verilen farklı Ti ve Ti+Nb bileşimlerine sahip slablar, 1200°C’ye ısıtıldıktan sonra istenilen kalınlıklara yarı sürekli olarak sıcak haddelenmiştir. Sıcak haddelenen bobinler 700°C’de sarılmışlardır. Deneysel çalışmalar boyunca sıcak haddeleme değişkenleri (slab ısıtma fırını, ikmal, sarılma sıcaklıkları) sabit tutulmuştur. 200 mm kalınlığındaki slablar sıcak haddelenerek üretilen 4 mm kalınlığındaki bobinler, asitleme tankları ve 4 ayaklı haddeden oluşan Sürekli Asitleme Tandem Hattında % 47-82 soğuk ezme (deformasyon) oranlarında deforme edilerek 0.8-2.0 mm kalınlıklarına haddelenmişlerdir. Soğuk haddelenen bobinler 830-870°C sıcaklığındaki %5 H<sub>2</sub> içeren HN<sub>x</sub> kontrollü atmosferinde sürekli tavlama fırınında 50-220 saniye süreyle tavllanmışlardır. Üretilen bobinlerin orta bölgesinden metalografik inceleme ve mekanik testler için numuneler alınmıştır.

Haddeleme yönünde, haddeleme yönüne dik ve haddeleme yönüne 45° açıda alınarak hazırlanan numunelerle her yönde en az üç numune almak kaydıyla mekanik testlere tabi tutulmuş ve bu testlerin sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Metalografik yöntemlerle hazırlanmış numunelerin mikroyapısal özelliklerinin karakterizasyonu yapılmıştır. Mikroyapı inceleme çalışmalarında EDS sistemle bağlantılı JEOL 5600 JSM marka taramalı elektron mikroskobu (SEM), faz ve tekstür analizleri için tekstür ataçmanlı

RIGAKU D-Max Ultima marka X-Işınları difraktometresi ve mekanik testler için ise Zwick Z-100 marka çekme test cihazı kullanılmıştır.

### Deneysel sonuçların irdelenmesi

Soğuk haddeleme parametrelerinin mekanik özellikler üzerine etkisini belirlemek amacıyla % 47-82 deformasyon oranlarında, 830-870 °C tavlama sıcaklıkları arasındaki üretim koşulları ile üretilen bobinlerden sağlanan numuneler irdelenmiştir. Bu çalışmada incelenen numunelere ait kimyasal kompozisyonları Tablo 1’de verilmiştir.

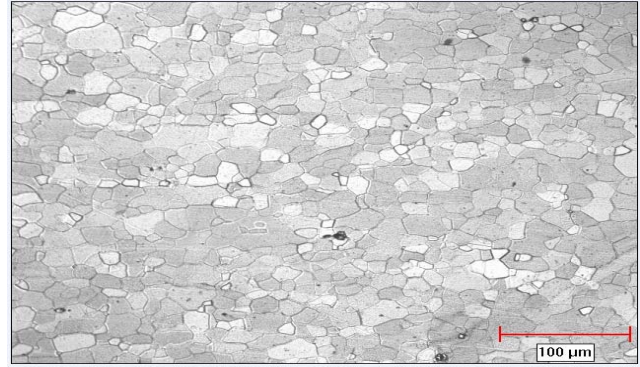
Tablo 1. İncelenen numunelerin kimyasal kompozisyonları

Elementler (in %)	Numune Kodu			
	A-1	A-2	A-3	A-4
C	0.003	0.003	0.003	0.0027
Mn	0.098	0.117	0.07	0.0857
P	0.007	0.006	0.005	0.0063
S	0.007	0.006	0.005	0.0043
Si	0.004	0.004	0.005	0.0044
Al	0.037	0.053	0.034	0.0391
Cu	0.012	0.022	0.012	0.0204
Cr	0.009	0.013	0.01	0.0094
Ni	0.014	0.025	0.016	0.0213
Mo	0.005	0.003	0.002	0.0011
V	0.003	0.001	0.001	0.0008
Nb	-	-	0.009	0.0134
Ti	0.067	0.063	0.029	0.0393
N ppm	37	39	39	38
O ppm	25	10	23	41
CE	0.025	0.029	0.019	0.022

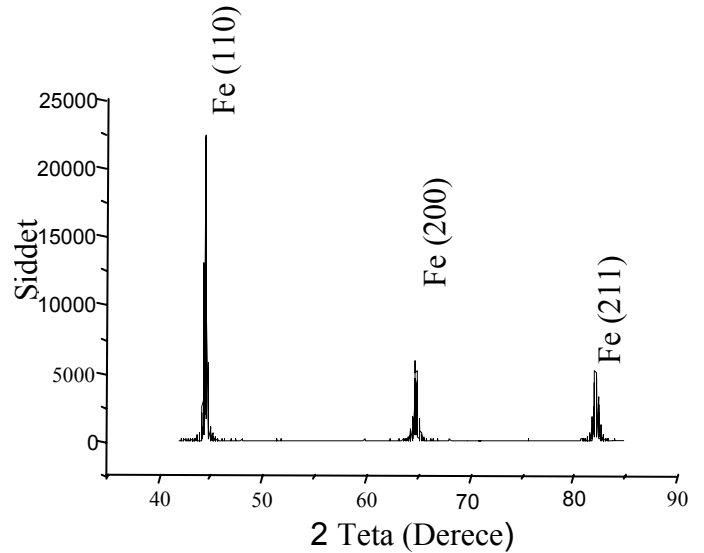
Malzemelere uygulanan farklı deformasyon ve ısıl çevrimlerde malzemeler mekanik özellikler açısından benzer davranışlar sergilemişlerdir. Sadece Ti içeren A1 ve A2 numuneleri benzer kimyasal kompozisyonlara sahip olmalarına karşın farklı % uzama özellikleri göstermişlerdir. Bunun muhtemel nedenlerinden birisi farklı ezme oranlarıdır. Ezme oranının artması malzemede daha yüksek % uzama ve r değerlerinin

elde edilmesine neden olmuştur. Benzer ilişki Ti+Nb içeren A3 ve A4 numunelerinde de gözlenmektedir. Düşük tavlama sıcaklığı ve ezme oranı malzemelerin mekanik özelliklerinden r değerinde düşüşe neden olmuştur.

Mikroyapı incelemelerinde tane yapısı açısından benzer yapılar elde edilmiştir. A4 malzemesine ait tipik mikroyapı görüntüsü Şekil 1’de gösterilmiştir. Mikroyapı tipik bir sürekli tavlama mikroyapısı olup, tüm numuneler eş eksenli tane yapısına sahiptir.



Şekil 1. A4 numunesinin mikroyapısı



Şekil 2. A4 numunesine ait X-ışınları difraksiyon paterni

Şekil 2’de A4 numunesine ait XRD analizleri görülmektedir. Malzemelerin r değerleri, kristal yapısında meydana gelen değişimin bir göster-

gesi olduğundan kristal yapılarında oluşan değişimler X ışınları tekstür deneyleri ile incelenmiştir. Malzemelerin (110) düzleminde kuvvetli yönlenmeye sahip oldukları tespit edilmiştir.

Sürekli tavlama hattından üretilen soğuk mamüllerin numunelerine ait mekanik özellikler yukarıda gösterilen Tablo 2’de verilmiştir. Aynı soğuk haddeleme ve tavlama koşulunda Nb elementi ilavesinin malzemenin r değerini artırıcı yönde etkilediği gözlenmektedir.

En yüksek r değeri (3.02) Ti+Nb elementleri içeren A4 numunesinde elde edilmiş olup buna karşılık gelen soğuk haddeleme ve sürekli tavlama parametreleri, 870 °C tavlama sıcaklığı ve % 80 deformasyon oranıdır. Whilshynsky-Dresler ve diğerlerinin (Whilshynsky-Dresler vd., 1995) yaptığı çalışmada da Ti ilavesinin yanı sıra Nb ilavesinin r değerini artırıcı yönde etkisi olduğu belirtilmiştir. Bunun muhtemel nedeni olarak Nb’un C atomunu bağlamada Ti’a göre daha etkili olması söylenebilir (Kato vd., 1985).

Tavlanmış malzemede (110) yönündeki difraksiyon piki derin çekilebilirliğin bir göstergesi olan r değeri açısından incelendiğinde sadece Ti içeren A1 ve A2 kodlu malzemelerde yakın r değerleri elde edilmiştir ( $r_{A1}=2.71$ ,  $r_{A2}=2.82$ ).

Bu malzemenin (110) yönündeki tane yönlenmesinin daha kuvvetli olduğunu göstermektedir. Şekillendirilebilirlik özellikleri açısından  $\{111\}/(110)$  yönlenmelerinin yüksek olması gerekmektedir (Liu vd., 2003), (Eloot vd., 1998). Bu çalışmada, tüm numunelerde de (110) doğrultusunda kuvvetli yönlenmeler tespit edilmiş-

tir. Kalitatif pole figure analizlerinde numunelerin deformasyon oranına göre kuvvetli tekstür oluşumları tespit edilememiştir. Numunelerde düzensiz tekstür davranışları gözlenmiştir. Bunun muhtemel nedeni mevcut haddeleme ve tavlama şartlarında numunelerde her iki yönde de (110 ve 200) yönlenmelerinin olmasıdır.

## Sonuçlar

İncelenen Ti ve Ti+Nb içeren IF çeliklerinde sürekli haddeleme ve tavlama ile homojen ürün özellikleri elde edilmiştir.

Mekanik özelliklerin incelenmesinde bobinlerin uzunluğu boyunca mekanik özelliklerinde önemli bir değişim görülmemiştir.

Ti ve Nb elementlerinin etkilerinin soğuk haddeleme ezme oranı ve tavlama sıcaklıkları ile doğrudan ilişkili oldukları gözlenmiştir. En yüksek r değerleri soğuk haddelemede deformasyon oranı % 70’in üzerinde, tavlama sıcaklığının da 870 °C civarında olduğunda elde edilmiştir. Ayrıca Nb ilavesinin malzemenin r değerinin artmasında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, en yüksek r değeri (3.02) % 80 deformasyon oranı ve 870 °C tavlama sıcaklığında işlem görmüş olan A4 kodlu Ti+Nb içeren arayer atomsuz çelikte elde edilmiştir.

## Teşekkür

Türkiye’de sanayi üniversite işbirliğinin gelişmesine çok değerli katkıları olan Erdemir’in değerli Genel Müdürleri Sn. K. Dervişoğlu ile

Tablo 2. Numunelerin mekanik özellikleri

Malzeme Kodu	r Değeri	Mekanik Özellikler					Proses Parametreleri	
		Akma Dayanımı (Kg/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (kg/mm <sup>2</sup> )	Uzama %	$\sigma_A/\sigma_n$	n	Tavlama Sıcaklığı (°C)	Ezme Oranı %
A3	2.66	15.6	27.1	43.0	0.57	0.23	872	73
		15.0	29.0	47.4	0.51	0.24	872	82
A3	2.66	15.9	28.6	48.0	0.55	0.23	853	73
A4	3.02	16.4	28.8	48.4	0.56	0.22	870	80

Sn.Fadıl DEMİREL başta olmak üzere, doktora tezimi hazırlama sürecinde bana desteğini esirgemeyen Erdemir'deki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- Bakkaloğlu A., (2001). IF çeliklerinin özellikleri üzerinde proses parametrelerinin etkisi, *1nci Demir-Çelik Sempozyumu*, 695-697, 12-13 Ekim, Kdz.Ereğli.
- Carabajar S., Merlin J., Massardier ve V., Chabanet S., (2000), Precipitation evolution during, the annealing of an interstitial free steel, *Materials Science and Engineering*, **A281**, 132-142.
- Eloot K., Okuda K., Sakata ve K., Obara T., (1998). Texture evolution during cold rolled steel with a strong {111} hot rolling and recrystallization band texture, *ISIJ International*, **386**, 602-609.
- Gupta I., Parayil T.ve Shiang L-T., (1998). Effect of processing parameters on the properties of cold rolled interstitial free steels, hot-& cold-rolled sheet steels, edited by R.Pradhan, G.Ludkovsky, *The Metallurgical Society*, 140-142.
- Goodman S.R., Mould P.R. ve Siple J.C., (1984). Effects of composition and processing on the recrystallization behavior and tensile properties of continuous annealed titanium –containing interstitial free steel sheet, 167-184.
- Hayakawa H., Takahashi N., Shibata M., Kawano A. ve Matsuda M., (1987) Effects of ti addition and hot and cold rolling condition on the recrystallization behaviour during continuous annealing of very low carbon cold rolled steel sheet, 109-116.
- Kırmanoğlu I., (2001) IF çeliklerinin üretim prosesleri ve derin çekme özelliklerinin araştırılması, YTÜ, *Bitirme Tezi*, 1-78.
- Katoh H., Takechi H., Takahashi N. ve Abe M., (1985). Cold rolled steel sheets produced by continuous annealing, 37-60, *Technology of Continuously Annealed Cold Rolled Sheet Steel*, R. Pradhan ed., TMS-AIME, Warrendale, PA
- Liu Y., Sun J., Zhou L., Tu Y., Xing F., Guo Y. ve Tong Q., (2003). Experiment of investigation of deep drawing sheet texture evolution, *Journal of Material Processing Technology*, **140**, 509-513.
- Wilshynsky-Dresler D.O., Matlock D.K., ve Krauss G. (1995). Mechanical properties of IF steels *ISS Mechanical Working and Steel Processing Conference*, **33**, 927-940. 12-15 August, Ottawa.