

Fe-%5,23V VE Fe-%15V ALAŞIMLARININ YENİDEN KRİSTALLEŞME KİNETİĞİ

Bülent BOSTAN ve A.Tamer ÖZDEMİR

Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500
Teknikokullar, Ankara, bbostan@tef.gazi.edu.tr, tozdemir@tef.gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, %50 soğuk deforme edilmiş Fe-%5,23 V ve Fe-%15 V alaşımları oksijensiz ortamda 560, 570, 580 ve 590°C'lerde tavllanmış ve alaşımların yeniden kristalleşme kinetiği araştırılmıştır. Kinetiğin Avrami denkleminde uyduğu ve zaman üstü katsayının sabit değerler aldığı tespit edilmiştir. Vanadyum miktarındaki artışın yeniden kristalleşme hızını artırdığı, buna karşın sertlik değişiminde fazla etkin olmadığını gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeniden kristalleşme, kinetik, Fe-V alaşımı

RECRYSTALLIZATION KINETIC OF Fe-5.23%V AND Fe-15%V ALLOYS

ABSTRACT

In this work, binary alloys of Fe-5.23%V and Fe-15%V were first cold rolled by 50% and then annealed in an oxygen-free set-up at 560, 570, 580 and 590°C, respectively. It was found that the rate of recrystallization obeyed an Avrami type equation in which time exponent was temperature independent. It was concluded that increase in vanadium content accelerated the rate of transformation where on the contrary did not influenced the general trend of the hardness variation.

Keywords: Recrystallization, kinetics, Fe-V alloy

1. GİRİŞ

Düşük alaşımlı çelikler genellikle vanadyum, titanyum ve niobyum temelli ince karbürler (MC) ve nitrürlerle (MN) takviye edilerek güçlendirilirler [1]. Bu tür karbürlerin ve nitrürlerin bilhassa ferritik yapı içerisindeki çözünürlükleri çok düşük olduğundan yapı içerisindeki dağılımları ince olmakta ve buna bağlı olarak düşük alaşımlı çelikler oldukça yüksek dayanım değerlerine ulaşabilmektedirler.

Yine, bu karbür ve nitrürlerin (çöktürlerin) yüksek sıcaklıklardaki büyüme hızları çok yavaş olduğundan, malzemenin yüksek sıcaklıklardaki dayanımı uzun süre devam etmekte ve bu da malzemenin sürünme dayanımının iyi olduğu anlamına gelmektedir [2-4]. Buna paralel olarak, malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi için termo-mekanik olarak işlenebilmesi de içerisinde bulunan bu çöktürlerin dağılımları ve irileşme hızlarına bağlı olarak kolay veya zor olmaktadır. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak çözünmemiş çöktür miktarı alaşımda termo-mekanik işlem, ardışık olarak yapılan deformasyon ve toparlanma/yeniden kristalleşmeyi (dinamik yeniden kristalleşme) kapsadığı için, işlemin kolaylığı veya zorluğu yeniden kristalleşme hızına ve bu hızı etkileyen mikro-mekanizmalara doğrudan bağlıdır. Dinamik yeniden kristalleşme mekanizmalarını incelemek ve değerlendirmek pratik olarak zor olduğundan, genellikle yeniden kristalleşme kinetiğini incelemek için, deneysel ortamda, statik şartlar (soğuk deformasyon ve sonrası sabit yüksek sıcaklıkta tavlama) irdelenir [5,6].

Tane boyutu, deformasyon oranı, deformasyon sıcaklığı, alaşımın kompozisyonu ve yabancı parçacıkların hepsi dislokasyonların hareketlerini ve dağılımlarını doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bütün bu etkiler, malzemedeki sertlik değerleriyle izlenebilir.

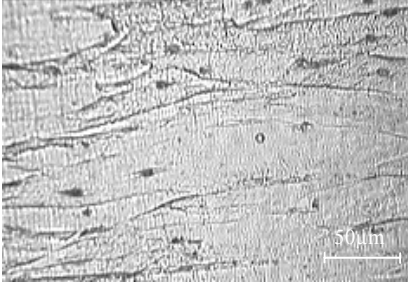
Bu çalışmada, bir temel oluşturabilmek için, takviye parçacıkları oluşturmaksızın, Fe-%5.23V Fe-%15V alaşımları statik yeniden kristalleşme işlemine tabii tutulmuş ve yeniden kristalleşme kinetiği parametrik olarak incelenmiştir. Sertlik değişimine etki eden faktörler araştırılmıştır.

2. MALZEME VE DENEYSEL METODLAR

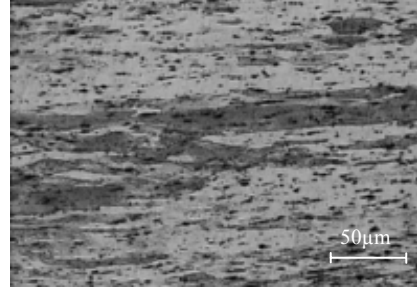
Deney numunesi olarak, içerisinde en fazla %0.01 C bulunan Fe-%5.23V ve Fe-%5V alaşımları kullanılmıştır. Malzeme BISRA (British Iron and Steel Research Agency)'den temin edilmiş olup, 12 mm çapında sıcak çekilmiş çubuklar halindedir. Deney için numuneler 5x12x20 mm ebatlarında hazırlanmış, çift yönlü hareket edebilen merdanelerden geçirilerek %50 oranında soğuk olarak haddelenmişlerdir. %50 deforme edilmiş Fe-%5.23V alaşımının mikroyapısını gösteren optik mikroskop fotoğrafı Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 2'de ise %50 deforme edilmiş Fe-%15V alaşımının mikro yapısı verilmiştir.

Isıl işlem

Fe-%5.23 V ve Fe-%15 V alaşımlarına ait %50 deforme edilmiş numuneler, yüksek sıcaklıkta oksitlenmeyi önlemek amacıyla bakır zarflar içerisinde 560, 570, 580 ve 590°C'lerde tavllanmışlardır. Bu sıcaklıklardaki tavlama süreleri 1-12 saat arasında değişmektedir.



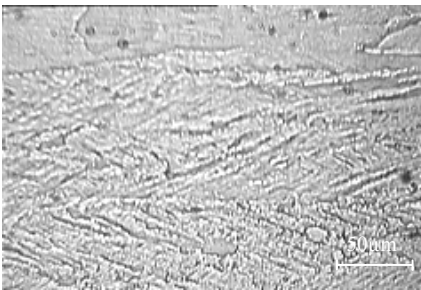
Şekil 1. %50 deforme edilmiş Fe-%5,23 V alaşımının mikroyapısı



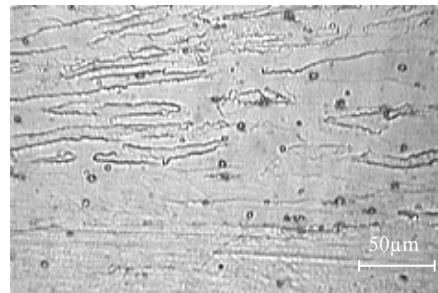
Şekil 2. %50 deforme edilmiş Fe-%15 V alaşımının mikroyapısı

Mikroyapı

Isıl işlemler sonrası zarflar içerisinden çıkarılan numuneler zımparalama ve parlatma işleminin ardından %5'lik nital ile dağlanmıştır. İdeal dağlama suresi yaklaşık olarak Fe-%5.23V alaşımı için 90-120 sn. Fe-%15V için de 180-300 sn'dir. Farklı sıcaklık ve zaman aralıklarında yapılan ısı işlemler sonrasında yeniden kristalleşme oranının belirlenmesi için optik mikroskobunun ekranı üzerinden, istatistiki hata payını minimuma indirebilmek için her numunenin, 20 farklı bölgesinden en az 80'er sayım yapılmıştır. %50 deforme edilmiş numunelerden Şekil 3, 4, 5, 6'da, Fe-%5.23V alaşımının Şekil 7, 8, 9 ve 10'da da Fe-%15V alaşımının farklı sıcaklık ve zaman aralıklarında yeniden kristalleşme ısı işlemine tabi tutulmuş numunelere ait mikroyapı fotoğrafları verilmiştir.



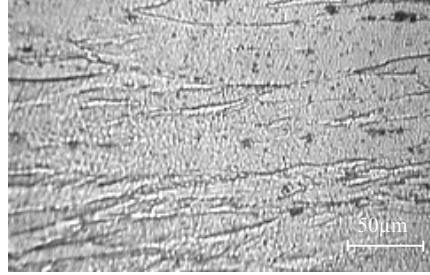
Şekil 3. 560°C'de 1 saat yeniden kristalleşme ısı işlemi görmüş Fe-%5.23V alaşımının mikroyapısı



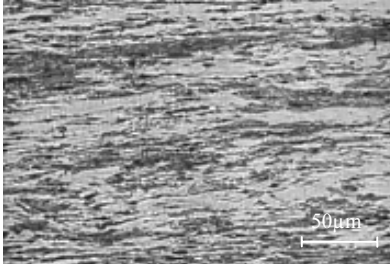
Şekil 4. 580°C'de 8 saat yeniden kristalleşme ısı işlemi görmüş Fe-%5.23V alaşımının mikroyapısı



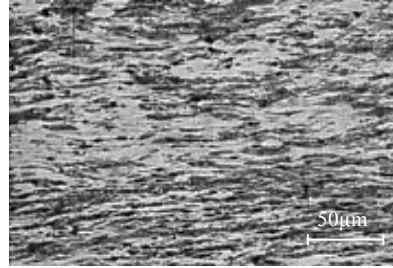
Şekil 5. 590°C'de 1 saat yeniden kristalleşme ısı işlemini görmüş Fe-%5.23V alaşımlarının mikroyapısı



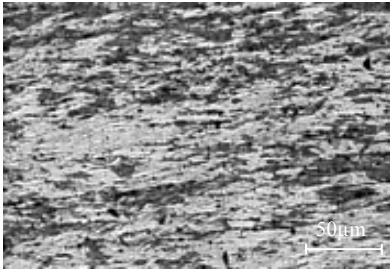
Şekil 6. 590°C'de 2 saat yeniden kristalleşme ısı işlemini görmüş Fe-%5.23V alaşımlarının mikroyapısı



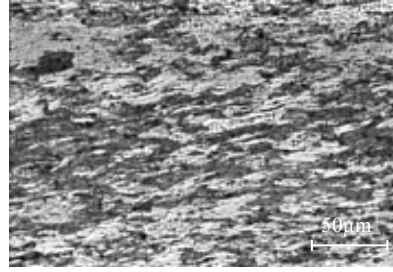
Şekil 7. 560°C'de 1 saat yeniden kristalleşme ısı işlemini görmüş Fe-%15V alaşımlarının mikroyapısı



Şekil 8. 570°C'de 2 saat yeniden kristalleşme ısı işlemini görmüş Fe-%15V alaşımlarının mikroyapısı



Şekil 9. 580°C'de 2 saat yeniden kristalleşme ısı işlemini görmüş Fe-%15V alaşımlarının mikroyapısı



Şekil 10. 590°C'de 1 saat yeniden kristalleşme ısı işlemini görmüş Fe-%15V alaşımlarının mikroyapısı

Sertlik Ölçümü

Sertlik ölçümü Instron Wolpert marka sertlik ölçme cihazında Vickers sistemine göre yapılmıştır. Uygulanan yük 97.08 kN olup, cihaz tüm ölçüm değerlerini yapılan

kalibrasyondan sonra ölçülen iz çapına göre otomatik olarak vermektedir Tüm numuneler üzerinden hata payını azaltmak amacıyla en az üç noktadan alınan değerlerin ortalaması deney sonuçlarında kullanılmıştır. Parçalardan sertlik ölçme metalografik işlemlerden sonra yapılmıştır. Sertlik ölçümü sırasında malzeme mikroyapısındaki değişik noktalar belirlenmiş ve yeniden kristalleşmenin yoğun olduğu bölgeler ile diğer kısımlar arasında farklılık olup olmadığı araştırılmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR

%5.23 ve %15 Vanadyum içeren %50 deforme edilmiş Fe-V alaşımı için çeşitli zaman ve sıcaklık aralıklarında yapılan ısıl işlem (tavlama) sonrası bulgular, yeniden kristalleşme kinetiğinin Avrami bağıntısına uyduğunu göstermektedir.

$$X_{tr} = 1 - \exp(-kt^n) \quad (1)$$

Burada, X_{tr} ; yeniden kristalleşme oranını, k ; çekirdeklenme ve oluşan tanelerin büyüme hızlarını, t ; yeniden kristalleşme zamanını, n ; yeniden kristalleşme morfolojisini tanımlayan bir sabiti tanımlamaktadırlar.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen, yeniden kristalleşme miktarının zamana bağlı olarak artması, aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Bu tablolar aynı zamanda Avrami denklemine dayanarak yapılan hesaplamaları da içermektedir.

%50 deforme edilmiş Fe-%5,23V ve Fe-%15V alaşımlar için zamana ve sıcaklığa bağlı ilişkiler verilmiştir. Fe-%5,23V alaşımına ait yeniden kristalleşme sonuçları Tablo 1’de 560°C ve 570°C, Tablo 2’de 580°C ve 590°C görülmektedir. Fe-%15V alaşımına ait sonuçlar ise Tablo 3’de 560°C, ve 570°C, Tablo 4’de de 580°C ve 590°C için özetlenmiştir. Sabit sıcaklık şartlarında yapılan tavlama sonucunda elde edilen bu verilerden daha sonra dönüşüm şekil eğrileri (S) çizilmiştir. Şekil 11’de %50 deformasyona ait 560, 570, 580 ve 590°C’lerdeki yeniden kristalleşme ve zaman ilişkileri gösterilmiştir. Burada zaman (sn) logaritmik olarak alınmıştır. Şekil 11 ve 12’deki S eğrilerinin Avrami denklemi ile tanımlanabildiği anlaşılmıştır. Zaman üstü katsayının (n) hesaplanması için, $\log.\ln.(1/(1-X_{tr}))$ karşın zaman grafikleri çizilmiştir (Şekil 13, 14).

Tablo 1. Fe-%5.23V alaşımının 560 ve 570°C’deki yeniden kristalleşme sonuçları

log t (sn)	560 °C		570 °C	
	X _{tr}	log.ln.A	X _{tr}	log.ln.A
3,550	0,05	-1,289	0,07	-1,139
3,857	0,10	-0,977	0,14	-0,821
4,033	0,17	-0,729	0,22	-0,604
4,158	0,26	-0,521	0,29	-0,465

Tablo 2. Fe-%5.23V alaşımının 580 ve 590°C’deki yeniden kristalleşme sonuçları

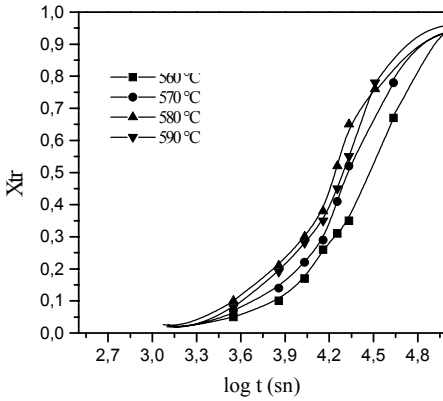
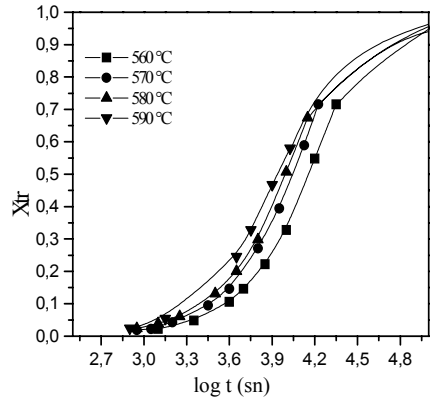
log t (sn)	580 °C		590 °C	
	X _{tr}	log.ln.A	X _{tr}	log.ln.A
3,550	0,10	-0,977	0,14	-0,821
3,857	0,25	-0,541	0,32	-0,413
4,033	0,38	-0,320	0,47	-0,197
4,158	0,47	-0,197	0,59	-0,049

Tablo 3. Fe-%15V alaışımının 560 ve 570°C'deki yeniden kristalleşme sonuçları

log t (sn)	560 °C		570 °C	
	X _{tr}	log _e .ln.A	X _{tr}	log _e .ln.A
3,550	0,10	-0,977	0,08	-1,078
3,857	0,21	-0,627	0,19	-0,676
4,033	0,30	-0,447	0,28	-0,483
4,158	0,38	-0,320	0,35	-0,365

Tablo 4. Fe-%15 V alaışımının 580 ve 590°C'deki yeniden kristalleşme sonuçları

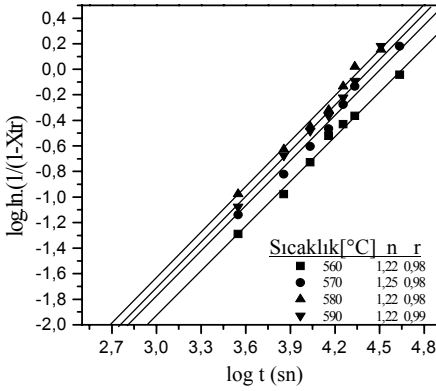
log t (sn)	580 °C		590 °C	
	X _{tr}	log _e .ln.A	X _{tr}	log _e .ln.A
3,550	0,16	-0,758	0,19	-0,676
3,857	0,36	-0,350	0,44	-0,250
4,033	0,50	-0,159	0,61	-0,037
4,158	0,65	0,021	0,72	0,104

**Şekil 11.** Fe-%5,23V alaışımının farklı sıcaklıklarda yeniden kristalleşme dönüşüm S eğrileri**Şekil 12.** Fe-%15V alaışımının farklı sıcaklıklarda yeniden kristalleşme dönüşüm S eğrileri

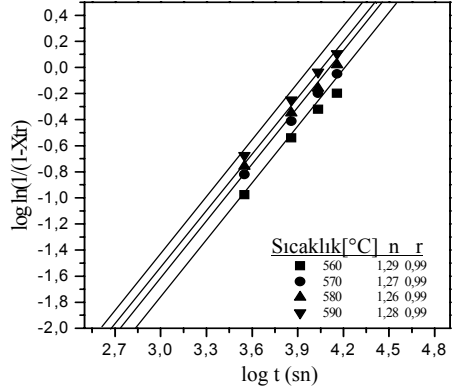
Avrami bağıntısındaki n değeri yeniden kristalleşme oluşumunun belirlenmesi için kullanılan bir faktördür ve n' deki değişim yeni tanelerin oluşum morfolojisi hakkında bilgiler vermektedir [7-10]. Şekil 13'de Fe-%5,23 V alaışımı için %50 yeniden kristalleşmede sıcaklığın ve zamanın değişimi logaritmik olarak verilmiştir. Aynı değişim Fe-%15 V alaışımı içinde Şekil 14'de verilmiştir.

4. SONUÇLAR

Şekil 15-16'da görüldüğü gibi sertlik değişimi zaman ve sıcaklığa bağlı olarak düşmektedir. Vanadyum miktarındaki artış, sertlikteki azalmayı etkilemekle beraber, bu önemsiz miktardadır. Sertlikteki azalma 4 saatin ardından durağan bir seyir izlemektedir. Başlangıçta deformasyona bağlı olarak sertlikteki artışın ve bu durumun toparlanma sırasında etkisini yitirmesi literatürle uyum göstermektedir.



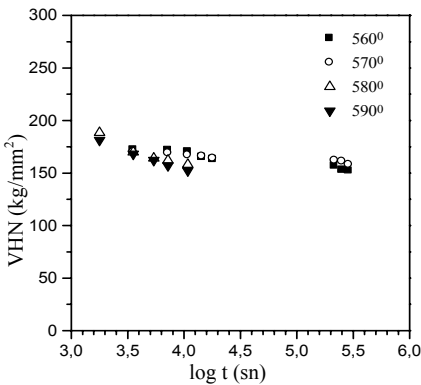
Şekil 13. %50 oranında deforme edilmiş Fe-%5,23V alaşımının normalize edilmiş yeniden kristalleşme kinetik eğrileri



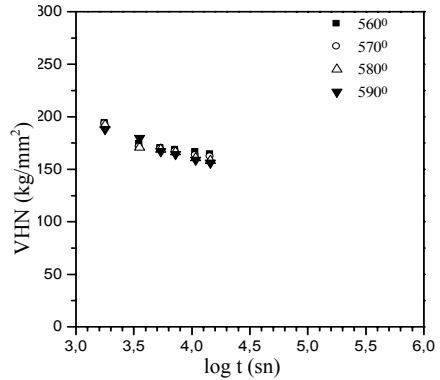
Şekil 14. %50 oranında deforme edilmiş Fe-%15V alaşımının normalize edilmiş yeniden kristalleşme kinetik eğrileri

Yeniden kristalleşmede, yeni tanelerin oluşum morfolojisini tanımlayan zaman üstü katsayısı n 'nin sıcaklığa bağımlı olmadığı ve %50 deforme edilmiş malzemeler için yaklaşık olarak 1.2 civarında olduğu gözlenmiştir. Literatürde de [5,7] n değerinin yaklaşık olarak 1 ile 2 arasında olması, çekirdeklenmenin eski tane sınırlarından başladığını ve oluşan yeni tanelerin tek boyutlu olarak (tel şeklinde) geliştiği şeklindedir. Metalografik gözlemler de, oluşan yeni tanelerin genelde uzantılı şekilde geliştiği görülmektedir.

Isıl işlem sürelerin yada sıcaklıklarının artırılması ile deneylerin ileri süreçlerinde yeniden kristalleşmenin ardından tane büyüme mekanizmasının devreye gireceği söylenebilir.



Şekil 15. %50 oranında deforme edilmiş Fe-%5,23V alaşımının sıcaklık ve zamana bağlı sertlik değişimi.



Şekil 16. %50 oranında deforme edilmiş Fe-%15V alaşımının sıcaklık ve zamana bağlı sertlik değişimi

Daha önceki çalışmalarda [11,12] Fe-%5,23V alaşımında deformasyon miktarının artmasıyla birlikte yeniden kristalleşme zamanının düştüğü görülmüştü. Şekil 11-14'de görülebileceği gibi, vanadyum miktarı arttıkça hem yeniden kristalleşme başlangıcı azda olsa daha erken olmakta, hem de yeniden kristalleşme hızı artmaktadır. Buradan, düşük V oranında tane sınırı hareketinin daha etkin bir şekilde yavaşladığı söylenebilir. Buna karşın V miktarının artmasıyla, tane sınırlarında kümeleşen vanadyumun sınır ilerleme hızına etkisinin azaldığı görülmektedir. Vanadyum miktarındaki artışın, mikroyapısal oluşum mekanizmalarının ve deformasyon miktarındaki artışın etkileri araştırılmaya devam edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Gladman., T., Mcivor., I.D. and Dulieu., D., in **Proceedings of the International Conference on Microalloying 75**, Washington, USA, 32, October 1975.
2. Aronsson., D., in “**Climax Molybdenum Symposium on Steel str. Mechanisms**”, Zurich, Switzerland, 77, 1969.
3. C. Garcia-Mateo, J.L. Romero, J.M. Rodriguez-Ibabe, **Warm Forging of a Vanadium Microalloyed Steel** Proceedings of the 41st Mechanical Working and Steel Processing Conference, vol. 37, Warrendale, PA, USA, 1999, pp. 653–663.
4. C. Garcia-Mateo, J.L. Romero, J.M. Rodriguez-Ibabe, **Warm Forging of a Vanadium Microalloyed Steel** Materials Science Forum 284–286 (1998) 435–442.
5. Christian, J.W., **The Theory of the Transformations in Metals**. Pergaman Press, New York, 1970.
6. Verhoeven., J.D., **Fundamentals of Physical Metallurgy**, John Wiley U.S.A, 1975.
7. Chan., R.W., **Physical Metallurgy**, North Holland, Amsterdam.
8. Özdemir., A. T. **High Temperature Annealing of Cold Worked and Nitrided 1%V-Fe Alloy** M.E.T.Ü. Master Thesis, 1984.
9. Özdemir., A.T., Atasoy., Ö.E., **Microstructural Changes on High Temperature Treatment of a Cold-Worked and Nitrided Fe-1%V Alloy** Journal of Materials Science, 33, 2683-2690, 1998.
10. **Recrystallization, Grain Growth and Texture**, ASM, City., 1966.
11. Bostan B. **Fe-%5,23V Alaşımında Yeniden Kristalleşme Kinetiği** G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 1999 Ankara.
12. Bostan B., Özdemir, A.T., **Farklı Deformasyon Oranlarında Fe-%5,23V Alaşımının Yeniden Kristalleşme Kinetiği** Politeknik Dergisi Özel sayı 15-19 2002 Ankara.