

RULO KIRIĞININ İNCELENMESİ

Mehmet ÜNLÜ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2007

ANKARA

Mehmet ÜNLÜ tarafından hazırlanan “RULO KIRIĞININ İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nizami AKTÜRK



Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yaşar HONDUR



Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Nizami AKTÜRK



Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ercan CANDAN



Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

Tarih:/...../.....

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet ÜNLÜ

RULO KIRIĞININ İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet ÜNLÜ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2007

ÖZET

Sac üretiminde karşılaşılan haddeme sonrası görülen hatalardan biri de rulo kırıklarıdır. Rulo kırıkları, sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelik bobinlerin kesme hatlarında açılması sırasında haddeme yönüne dik olarak düzensiz aralıklarla ve değişik şiddette ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı rulo kırığı hatalarının oluşma sebeplerinin ve tane büyümesinin rulo kırığı üzerinde ne kadar etkili olduğu göstermektir. Çalışmalar; karakterizasyon testleri ve sonlu elemanlar analizlerini içermektedir. SEM görüntüleri ile tane boyutları arasındaki karşılaştırmalar sonucunda, yüksek sıcaklığın uzun süre etkideği rulonun iç kısımlarında tane yapısında büyüme gözlenmiştir. Tane boyutu büyük olan kısımlar daha düşük gerilmelerde deformasyona uğrayacağı göz önüne alındığında rulonun iç kısımlarında rulo kırığı kusurunun gözlenme olasılığı daha yüksektir. Rulonun çap değeri arttıkça soğuma hızı da o oranda azalmaktadır. Soğuma hızının düşmesi yüksek sıcaklığın rulo üzerine daha uzun süre etkimesi demektir. Bu da tane çapının irileşmesine, dolayısıyla da rulo kırığı oluşma riskinin artmasına sebebiyet vermektedir.

Bilim Kodu : 914.1.092
Anahtar Kelimeler : Rulo, kırık
Sayfa Adedi : 59
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Nizami AKTÜRK

RESEARCH OF COIL BREAK

(M.Sc. Thesis)

Mehmet ÜNLÜ

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

October 2007

ABSTRACT

One of the deficiency which can be seen at production of the plates after rolling is the coil breaks. Coil breaks exists at a vertically and untidy time breaks meanwhile hot rolled middle carbon contained steel coils at the cutting lines. The aim of this thesis is to emphasize the reasons for the existence of coil breaks and to show how effective is the grain growth on the coil breaks. This work contains SEM tests and finite elements analysis. By the help of the comparing results of SEM analysis and grain size, grain growth has been observed at the inner part of the coil which is effected by the high temperature. Since the parts which have bigger grain size will be exposed to more deformation breaks at lower stress, it is more often possible to see coil breaks at the inner side of the coil. There is an inverse ratio between the coil radius and cooling time so an increase of coil radius has an inverse effect on cooling time. As a result, by the exposure of high temperature within a more time an growth will be observed at the grain radius so the risk of coil break appearance increases.

Science Code : 914.1.092

Key Words : Coil, break

Page Number : 59

Adviser : Prof. Dr. Nizami AKTÜRK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nizami AKTÜRK' e, yine kıymetli tecrübelerinden yararlandığım Sayın Yrd. Doç Dr. Metin U. SALAMCI' ya, deneysel çalışmalarımda her türlü desteği veren Gazi Üniversitesi TEF öğretim görevlilerinden hocalarım Sayın Prof. Dr. Süleyman TEKELİ' ye ve Dr. Ahmet GÜRAL' e, Karabük Üniversitesi TEF öğretim görevlilerinden Sayın Prof. Dr. Ercan CANDAN' a ve araştırma görevlilerinden Sayın Mustafa TÜRKMEN' e, ERDEMİR T.A.Ş. mühendislerinden Sayın Burak GÖRMEZ ve Sayın Doğan KAPLAN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme, arkadaşlarıma ve çalışma arkadaşım değerli amirim inşaat mühendisi Sayın İsmail TÜLÜ' ye sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. YASSI ÇELİK ÜRETİMİ.....	3
2.1. Sıcak Haddelme ile Yassı Çelik Üretimi.....	3
2.2. Soğuk Haddelme ile Yassı Çelik Üretimi.....	4
3. SACLARDA RULO KIRIĞI.....	6
3.1. Rulo Kırığının Tanımı.....	6
3.2. Tane Boyutu ve Tane Büyümesinin Etkisi.....	9
3.2.1. Tane büyümesi.....	10
3.2.2. Tane büyümesinin malzeme özelliklerine etkisi.....	12
3.2.3. Tane boyutunu küçültme.....	13
3.2.4. Tane boyutunun ölçülmesi.....	13
3.3. Akma Başlangıcı ve Akma Uzaması.....	14
3.3.1. Akma uzamasının rulo kırığı üzerine etkisi.....	16
3.4. Kimyasal Kompozisyon.....	17

	Sayfa
3.5. Bobin Açma Sistemleri.....	19
3.6. Bobin Sarılma Sıcaklığı.....	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
4.1. Malzeme.....	23
4.2. Karakterizasyon Testleri.....	23
4.2.1. Sertlik deneyleri.....	24
4.2.2. Mikroyapı incelemesi.....	24
4.3. Sonlu Elemanlar Analizi.....	24
5. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	25
5.1. Sertlik Deneyi Sonuçları ve İrdelenmesi.....	25
5.2. Metalografik İnceleme Sonuçları ve İrdelenmesi.....	26
5.2.1. Rulo çapı ile tane boyutu arasındaki ilişki.....	41
5.3. Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları ve İrdelenmesi.....	42
6. SONUÇ.....	56
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Tane büyüklükleri	10
Çizelge 4.1. 6222 ve 4237 kodlu çelik sac mamullerin kimyasal bileşimi	23
Çizelge 5.1. 6222 kalite numaralı çelikte rulo kırıklı ve kırıksız numunelerdeki sertlik değerleri.....	25
Çizelge 5.2. 4237 kodlu çelikte mesafelere göre tane boyutundaki değişim.....	40
Çizelge 5.3. Rulo çapı ile tane boyutu arasındaki ilişki.....	42
Çizelge 5.4. Farklı çaptaki ruloların zamanla oluşan soğuma eğrileri	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Haddeme yönüne dik doğrultuda görülen rulo kırıkları.....	6
Şekil 3.2. Çelik şeridin rulo açıldıktan sonraki görünümü.....	7
Şekil 3.3. Merdaneye sarılmış çelik üzerine etkiyen gerilmeler.....	8
Şekil 3.4. Ergimiş metalin katılaşması ve tane sınırlarının meydana gelişi.....	9
Şekil 3.5. Tane büyümesinin sıcaklık ve zamanla değişimi.....	10
Şekil 3.6. Sıcak işlenmiş düşük karbonlu bir çeliğe ait uzama eğrisi.....	15
Şekil 3.7. Rulo kırığını en aza indirmek için geliştirilmiş bir açma sistemi.....	20
Şekil 4.1. Sertlik değeri alınan noktalar.....	24
Şekil 5.1. Tane boyutu ile uzunluk arasındaki ilişki.....	40
Şekil 5.2. Rulo çapı ile tane boyutu arasındaki ilişki.....	42
Şekil 5.3. Zamanla değişen soğuma eğrileri arasındaki ilişki.....	55

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. 6222 kalite çeliğe ait rulo kırığı olan ve olmayan numunelerin SEM görüntüleri	27
Resim 5.2. 4237 kalite numaralı rulonun 40. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	28
Resim 5.3. 4237 kalite numaralı rulonun 80. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	28
Resim 5.4. 4237 kalite numaralı rulonun 120. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	29
Resim 5.5. 4237 kalite numaralı rulonun 160. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	29
Resim 5.6. 4237 kalite numaralı rulonun 200. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	30
Resim 5.7. 4237 kalite numaralı rulonun 240. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	30
Resim 5.8. 4237 kalite numaralı rulonun 280. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	31
Resim 5.9. 4237 kalite numaralı rulonun 320. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	31
Resim 5.10. 4237 kalite numaralı rulonun 360. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	32
Resim 5.11. 4237 kalite numaralı rulonun 400. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	32
Resim 5.12. 4237 kalite çelikte 400. metrede yapının demir ve karbon haritaları .	33
Resim 5.13. 4237 kalite numaralı rulonun 420. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri.....	33
Resim 5.14. 4237 kalite numaralı rulonun 40. metresinden alınan numunedeki EDS analiz sonucu	34

Resim	Sayfa
Resim 5.15. 4237 kalite numaralı rulonun 120. metresinden alınan numunedeki EDS analiz sonucu.....	35
Resim 5.16. 4237 kalite numaralı rulonun 160. metresinden alınan numunedeki EDS analiz sonucu	36
Resim 5.17. 4237 kalite numaralı rulonun 240. metresinden alınan numunedeki EDS analiz sonucu	37
Resim 5.18. 4237 kalite numaralı rulonun 400. metresinden alınan numunedeki EDS analiz sonucu	38
Resim 5.19. 4237 kalite numaralı rulonun 420. metresinden alınan numunedeki EDS analiz sonucu	39
Resim 5.20. Sonlu elemanlar analizi aşamaları	44
Resim 5.21. 750 °C deki rulodan alınmış kesit görüntüsü.....	45
Resim 5.22. 1400 mm dış çapa sahip rulonun 1 saat sonraki sıcaklık değerleri.....	46
Resim 5.23. 1500 mm dış çapa sahip rulonun zamanla değişen sıcaklık değerleri.....	47
Resim 5.24. 1700 mm dış çapa sahip rulonun zamanla değişen sıcaklık değerleri.....	48
Resim 5.25. 1400 mm dış çapa sahip ruloda 3 saat sonraki sıcaklık değerleri.....	49
Resim 5.26. 1500 mm dış çapa sahip ruloda 3 saat sonraki sıcaklık değerleri.....	50
Resim 5.27. 1700 mm dış çapa sahip ruloda 3 saat sonraki sıcaklık değerleri.....	51
Resim 5.28. 1400 mm çaptaki rulonun 5 saat sonraki sıcaklık değerleri.....	52
Resim 5.29. 1500 mm çaptaki rulonun 5 saat sonraki sıcaklık değerleri.....	53
Resim 5.30. 1700 mm çapa sahip ruloda 5 saat sonundaki sıcaklık değerleri.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Al	Alüminyum
B	Bor
Cu	Bakır
Mo	Molibden
Sb	Antimon
Ti	Titanyum

Kısaltmalar	Açıklama
EDS	Elektron Dağılım Tarama
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu
TEF	Teknik Eğitim Fakültesi

1. GİRİŞ

Günümüzde gerek otomotiv endüstrisi gerekse genel konstrüksiyon vb. işlemlerde kullanılmak üzere gerçekleştirilen yassı çelik imalatında bir takım sorunlarla karşılaşilmektedir. Yassı çelik üretimi; sıcak haddeleme, soğuk haddeleme ve galvanizli sac üretimi ile gerçekleştirilir.

İş parçasını eksenleri etrafında dönen merdaneler arasından geçirerek uygulanan basma kuvvetleri etkisiyle plastik şekil verme işlemine “haddeleme” adı verilir. Haddelemenin her aşamasında yüzey şartlarının önemi büyüktür. Bu nedenle haddelenecek malzeme yüzey kusurlarından tamamen arındırılmış olmalıdır. Sıcak haddelemeden önce malzemenin ısıtılması önemli bir üretim aşaması olup metale en iyi plastik özelliklerin kazandırılması ve hadde ürünün istenen kaliteye sahip olması amaçlarını taşır. Bu tavlama işleminin başlıca iki parametresi vardır; Sıcaklık ve süre. Malzemeye bağlı olmak üzere gerek sıcaklık aralığının seçilmesi gerek bu sıcaklıkta gereğinden uzun tutma süresi doğrudan ürünü etkiler. Tutma süresinin gereğinden uzun olması ise yakıt harcamasını artırdığı gibi malzemede oksitlenmeye ve bu sayede demir kaybına yol açar [1].

Haddeleme ile üretilen parçalar yüksek yüzey/hacim oranına sahip olduklarından haddeleme işleminin her safhasında yüzey şartlarının önemi büyüktür. Bu nedenle haddelemeden önce hammadde olarak kullanılan ingot veya kütük gibi yarı ürünün yüzey hataları giderilmelidir.

Haddeleme sırasında deformasyonun homojen olmaması çatlaklara neden olur. Haddeleme sırasında sac boyca uzarken yayılma eğilimindedir. Yayılma sac ile merdaneler arasındaki sürtünme kuvvetleri ile engellenir. Sürtünme kuvveti sacın ortasında en fazla olduğundan kenarları orta kısma göre daha çok genişler. Bu durumda orta kısmın kalınlığındaki azalma biraz enine çokça da boyuna olacaktır. Böylece sacın baş ve sonunda azda olsa yuvarlaklaşma olacaktır. Eğer orta kısmın uzaması kenar kısımlara göre çok fazla ise bu durum sacın ortasından ikiye ayrılması şeklinde boyca çatlamasına neden olur.

Sac üretiminde karşılaşılan haddeleme sonrası görülen hatalardan bir diğeri de rulo kırıklarıdır. Rulo kırığı çoğunlukla sıcak haddeleme sonrası sac ürün üzerinde haddeleme yönüne dik oluşan bir yüzey problemidir. Çelik şerit yüzeyindeki kırık işaretlerine yönelik akademik araştırmalar sınırlıdır. Çelik şerit yüzeyinde meydana gelen kırıklar tane büyümesinden kaynaklanabilir [2]. Sıcaklığın etkisiyle bazı bölgelerde tane boyutunda büyüme gözlemlendiği rapor edilmektedir [3]. Yapılan araştırmada sıcak olarak sarılan şeritlerde soğuk olarak sarılan şeritlere göre daha fazla rulo kırığı gözlemlenmiştir. Şerit sıcak sarıldığında iç bölgelerde kalan kısım daha geç soğuyacaktır ve bu bölgelerde tane yapısında büyüme daha fazla olacaktır.

Bu çalışmanın amacı rulo kırığı hatalarının oluşma sebeplerinin ve tane büyümesinin rulo kırığı üzerinde ne kadar etkili olduğunun araştırılmasıdır.

2. YASSI ÇELİK SAC ÜRETİMİ

Malzemeleri eksenleri etrafında dönen iki merdane arasından geçirerek yapılan plastik şekil verme işlemine haddeleme denir. Haddeleme, üretim hızı ve sürekliliği ile işlemin ve ürünün kontrolünün kolay oluşu nedenleriyle en çok kullanılan plastik şekil verme yöntemidir.

Malzemenin deformasyonu, merdanelerin malzemeyi sıkıştırmasıyla sağlanan radyal basma gerilmeleri ve malzeme ile merdaneler arasında sürtünmeyle oluşan yüzey kayma gerilmeleriyle sağlanır. Bu işlemde haddelenecek malzemenin kesiti küçülürken boyunda uzama gerçekleşir. Haddeleme işlem sıcaklığına göre soğuk haddeleme ve sıcak haddeleme olarak sınıflandırılır.

2.1. Sıcak Haddeleme ile Yassı Çelik Sac Üretimi

İngot ve kütük dökümlerin haddelenmesinde olduğu gibi büyük oranlarda kesit daralması için, haddeleme sıcak olarak yapılmaktadır. Malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yapılan haddeleme ile döküm yapısı bozulurken, daha küçük kesitli ürünler elde edilir.

Sıcak haddelemede genellikle, ileri geri hareket eden 0,6-1,4 m çapındaki merdaneler kullanılır ve haddeler boyutlarına göre sınıflandırılır. Başlangıç pasoları genellikle düşük kesit daralmalarını içerir. İngotun haddelenmesinde, ingot genişliğinin yayılması önemlidir. Arzu edilen genişliği sürdürmek, kenarları muhafaza etmek için ara pasolarda ingot 90° döndürülür ve kenar yivli merdanelerden geçirilir [4].

Yüksek üretim hızları için universal hadde düzenleri kullanılarak kenar pasolar ortadan kaldırılmaktadır. Sıcak haddeleme ile döküm ingotlardan slabların üretimi sürekli döküm kullanılarak ergimiş çelikten doğrudan slab üreterek ortadan kaldırılabilir. Universal hadde düzeninde, eğik haddeleme ile genişlik artırılırken dikey kenar merdaneleri ile kontrol edilmektedir. Sıcak haddelemede slablar başlangıçta 1100 – 1300 °C arasında yapılmaktadır. Son bitirme ayağında sıcaklık

700 – 900 °C arasında değişmektedir. Ancak eş taneli uniform ferrit taneleri üretmek için üretim, kritik sıcaklığın(A_1) üzerinde olmalıdır. Daha düşük ingot boyutları ve daha düşük deformasyon gerilmesi gerektiren demir olmayan alaşımların haddelenmesinde küçük boyutlu hadde düzenleri kullanılmaktadır [4].

2.2. Soğuk Haddeleme ile Yassı Çelik Sac Üretimi

Soğuk haddeleme sac, folyo, ince çubuk ve tel gibi küçük kesitli ürünlerin elde edilmesinde kullanılmakta ve düzgün bir yüzey, hatasız boyutlar ve yüksek mukavemet sağlamasının yanı sıra kesit daralmasının sebep olduğu gerinim pekleşmesi malzeme mukavemetini arttırmaktadır. Bu durum, işlem için gerekli haddeleme kuvvetini ve gücünü artırmaktadır. Çekme mukavemetine oranla akma sınırı çabuk yükselmekte ve soğuk şekillendirme miktarının artması ile akma ve çekme mukavemeti arasındaki fark azalmaktadır. Demir olmayan metallerin büyük bir bölümünün bitirme pasosu soğuk haddeleme ile yapılmaktadır.

Ardı ardına dizilmiş 3-5 ayaklı dörtlü düzen hadde tezgahı(tandem) çelik levha, alüminyum ve bakır alaşımlarının soğuk haddelenmesinde kullanılır. Bu tip merdaneler ön ve arkadan çekmeli olarak tasarlanmıştır ve işçilik maliyetini düşürmektedir. Merdaneler arasındaki çap farkı malzemenin küçük çaplı merdaneye doğru kıvrılmasına sebep olacağından soğuk haddelemede karşılıklı merdanelerin eşit çapta olması gerekmektedir.

Soğuk haddeleme ile elde edilen toplam kesit daralması % 50 ile % 90 arasında değişmektedir. Her bir paso veya ayakta kesit daralmasının belirlenmesi, kesit daralmasının olabildiğince düzgün olarak, her bir pasoya düşen maksimum kesit daralmasının altına düşmeksizin, şekillendirmenin bütün pasolarına yayılması arzu edilir. Genellikle en az kesit daralması kalınlık, çap ve yüzey kalitesini daha iyi kontrol etmek için son pasoda yapılmaktadır.

Tavlanmış metal levhalardan akma gerilmesinin yükseltilmesi, şekillendirme veya derin çekme sırasında homojen olmayan deformasyonun sebep olduğu bir akma

noktası uzamasının mevcudiyeti, önemli bir uygulama problemidir. Genel uygulama, tavllanmış çeliğin bir nihai, küçük kesit daralması, temper haddelemesi veya düzeltme pasosu(skin pass) akma noktası uzamasını ortadan kaldırır [4]. Temper haddelemesi yüzeyin iyileştirilmesi ve kalınlığın yakın toleranslara getirilmesi için kullanılmaktadır.

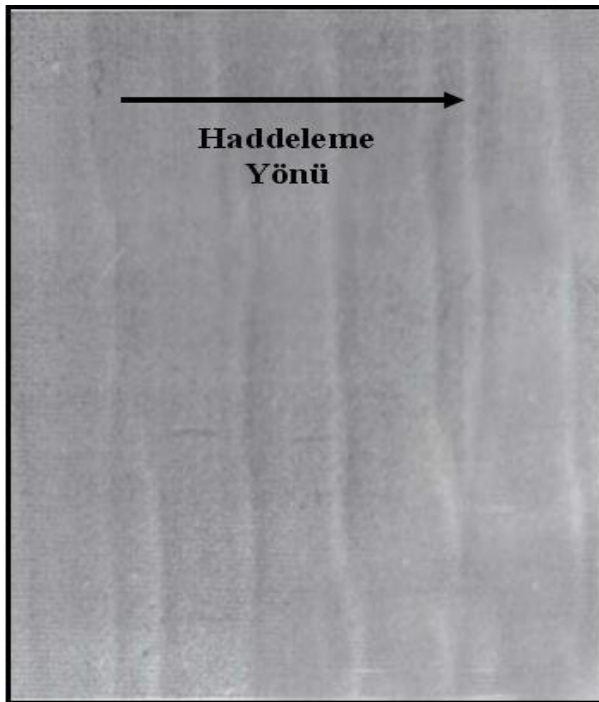
3. SACLARDA RULO KIRIĞI

3.1. Rulo Kırığının Tanımı

Sıcak haddelenmiş ruloların açılması sırasında meydana gelen heterojen plastik deformasyonun şerit üzerinde çizgiler oluşturması ve bu çizgilerin şerit yüzeyindeki düzgünlüğü bozmasıdır.

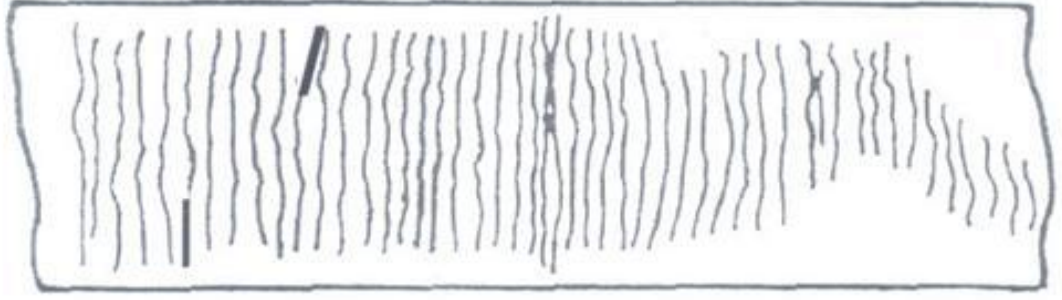
Rulo kırıkları sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çelik bobinlerin kesme hatlarında açılması sırasında haddeleme yönüne dik olarak, bant genişliği boyunca düzensiz bir şekilde ortaya çıkan kırıklardır.

Kırıklar, bobinin haddeleme doğrultusuna dik yönde düzensiz aralıklarla ve değişik şiddette ortaya çıkmaktadır. Malzeme cinsine, sarım sıcaklığına ve bobin açma sistemine bağlı olarak sık veya seyrek aralıklarla, sığ veya derin şekilde malzeme genişliği boyunca görülebilmektedir. Sac üzerinde görülen kırık işaretleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Haddeleme yönüne dik doğrultuda görülen rulo kırıkları [2]

Rulo kırıkları genel olarak bir kalite problemidir. Soğuk sarmada bile çelik şerit üzerinde rulo kırıklarının oluştuğu gözlenmiştir. Problem görünüm problemidir. Bu problem çelik şerit en son halini aldıktan sonra üzerine boya atıldıktan sonra bile ortaya çıkabilir. Şekil 3.2’de kırık işaretlerinin haddeleme yönüne dik olarak gerçekleştiği görülmektedir.



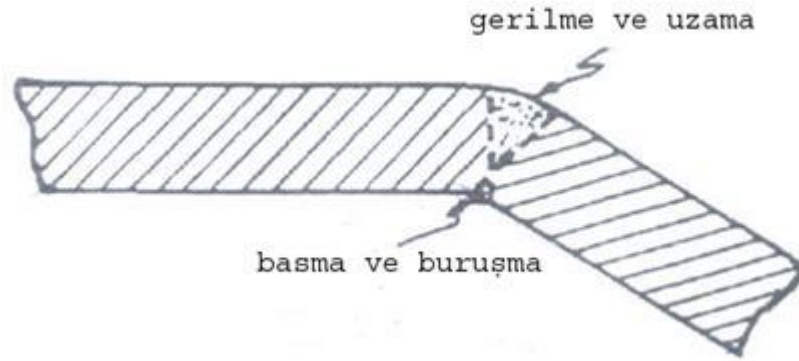
Şekil 3.2. Çelik şeridin rulodan açıldıktan sonraki görünümü [3]

Kırılma genellikle şerit boyunda haddeleme yönüne dik olarak görülür. Çelik şerit üzerindeki rulo kırıkları mikroskobik boyutta da oluşabilir, elle hissedilecek boyutta da oluşabilir.

Şerit üzerindeki bu bozulma kaplanacak veya boyanacak ürünü tamamiyle kabul edilmez hale getirir. Rulo kırıkları, sıcak sarılmış çelik şeritlerde daha fazla görülür. Soğuk sarılmış ürünlerde buruşmalar çok hafifse soğuk değirmen şeridi iyi bir yüzey oluşturacak şekilde rulo haline getirir.

Rulo kırıkları çelik üreticileri ve müşteriler için çok ciddi bir problemdir. Müşteriler sıcak şerit değirmeninden çıkar çıkmaz almak isterler ve temper uygulamasına koymak istemezler. Çelik üreticileri, rulo kırıklarının oluşmasını en aza indirmek için güçlü bir rulo açma sisteminin ve tekniğinin olduğunu söylemektedirler [2,12].

Çelik şeridin rulo haline getirildikten sonra alt işlemlerde kullanılmak üzere müşteri tarafından açılması gerekmektedir. Rulo kırıkları bu açma işlemi esnasında gerçekleşmektedir.



Şekil 3.3. Merdaneye sarılmış çelik üzerine etkiyen gerilmeler [3]

Bir rulonun açma işlemini anlamak için kıvrılmış bir parça çelik şerit örneği kullanılabilir. Şekil 3.3’de gösterildiği gibi çelik şerit merdaneye sarıldığında rulonun üst kısmı gerilmeye alt kısmı ise sıkışmaya maruz kalacaktır. Şeridin bazı nötral noktalarında gerilme oluşmayacaktır. Kıvrım artırmaya devam edilirse sonuç olarak metalin akma noktası geçilecektir. Bu olduğunda çelik şeritin üst tarafı pürüzsüz ve uzamış olacaktır, fakat alt taraf sıkıştırılmış olacak ve çelik şeridin alt yüzeyinde kıvrıma dik şekilde çizgiler ve buruşukluklar gözlenecektir.

Normalde sıcak çelik milleri çap olarak 700 – 750 mm civarındadır. Şeritteki 1000 psi (6895 kPa) lik gerilme rulo kırıklarını meydana getirecektir, sıcak şerit rulosu 1500 mm veya daha kalın olur ve bu 750 mm’lik mandrel ile bütün ürünler rulo kırıklarıyla sonuçlanır [2]. Rulo gerilme altında bile açılrsa kırık işaretlerine rastlanacaktır.

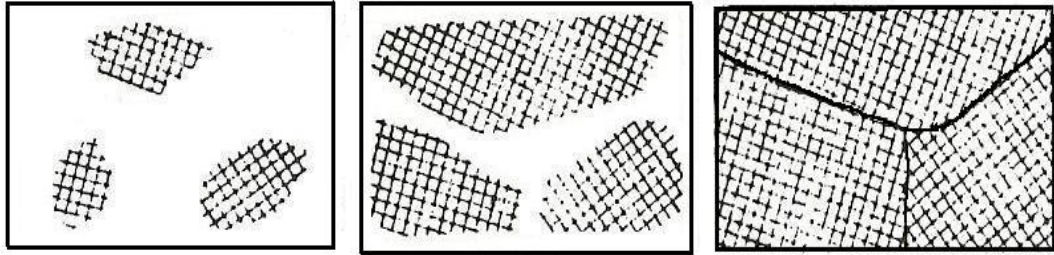
Sac sarıldığında 600 – 800 °C civarındadır [2]. Bu sıcaklıklardaki akma uzaması soğuk şeridin % 50 si kadardır. Yani aynı gerilme altında sıcak şerit daha çabuk akmaya uğrayacaktır. Aynı zamanda yarıçap başlangıçta 380 mm civarında iken sonunda ise 900 mm ye kadar çıkacaktır. Ortalama standart bir ruloda böyledir.

Bütün malzemelerin kendi fiziksel özellikleri vardır. Sıcak şerit rulosu işleme tabi tutulduğunda akma noktasının üzerinde sarıldıysa sarmaya dik olarak çatlaklar oluşacaktır. Rulo kırıklarının altında yatan temel neden sıcak haddelenmiş düşük

karbonlu çeliklerin çekme testinde görülen süreksiz akma bölgesindeki heterojen uzamadır. Bu da düşük karbonlu çeliklerin özelliklerinden kaynaklanmakta olup akma noktasına bağlıdır.

3.2. Tane Boyutu ve Tane Büyümesinin Etkisi

Metalik parçalar pek çok sayıda tanelerden meydana gelmişlerdir. Ergimiş bir metalin katılaşması sırasında, sıvı içerisinde çeşitli noktalarda eksenleri farklı doğrultuda olan kafesler mevcuttur. Katılaşma ilerledikçe bunların miktarı gittikçe artar ve katılaşma sonunda birbirleri ile birleşerek temas ettikleri bölgelerde tane sınırlarını meydana getirirler. Birim hücre kafes doğrultusu aynı ve tek olan metal parçasına tane denir. Komşu tanelerin kafes doğrultusu tane sınırlarında ani olarak değişir (şekil 3.4).



şekil 3.4. Ergimiş metalin katılaşması ve tane sınırlarının meydana gelişi [8]

Tane büyüklüğünün mekanik özelliklere etkisi önemlidir. Oda sıcaklığında, tane büyüklüğü arttıkça akma gerilmesi, çekme mukavemeti ve sertlik düşer, süneklik artar. Bu etki sıcaklık, şekil değişim hızı ile türü ve tane sınırlarındaki yabancı maddelerin cins ve miktarına bağlıdır. Ortalama tane çapı d ile gösterilirse, demir için akma gerilmesinin $d^{-1/2}$ ile orantılı olduğu gösterilebilir.

Tane büyüklükleri standartlaştırılmıştır.

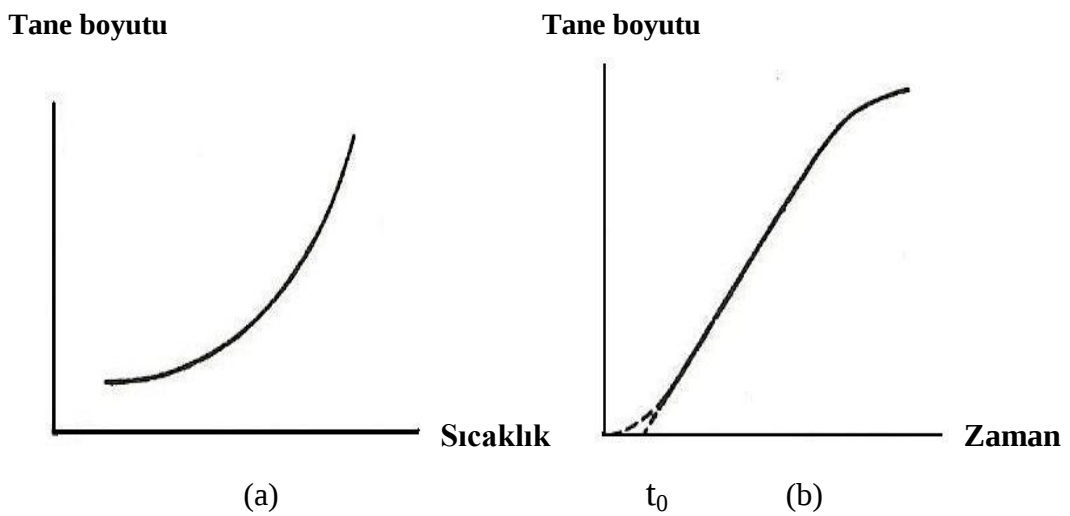
Çizelge 3.1. Tane büyüklükleri [10]

ASTM No	Ortalama tane çapı in x 0.01	mm ³ de ortalama tane sayısı
00	20	7,63
0	14,1	21,6
1	10	61
3	5	488
5	2,5	3910
7	1,25	31000
9	0,625	250000
12	0,221	5,66x10 ⁶
14	0,111	45,2x10 ⁶

Tane sınırları da malzeme özelliklerine etki ederler. Çeşitli elemanların tane sınırlarında toplanmaları (Cu, Sb gibi) kırılganlığa neden olur.

3.2.1. Tane büyümesi

Yeniden kristalleşen taneler, tavlama sıcaklığında uzun süre tutulursa veya yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda tavlaniırsa yayınma hızı ile zamanla büyürler. Tanelerin büyümesi tavlama süresi ve sıcaklığına bağlıdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Tane büyümesinin sıcaklık ve zamanla değişimi [8]

- Yeniden kristalleşen tane boyutuna tavlama sıcaklığının etkisi
- Yeniden kristalleşen tane boyutuna tavlama süresinin etkisi

Malzeme yapısında küçük ikinci faz tanelerin bulunması tane sınırlarının hareketini kısıtlar dolayısıyla tane büyümesini geciktirir. Tane büyümesi ile malzemenin mukavemetinde ve sertliğinde azalma olur.

Tane irileşmesi malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. İri taneli bir metal plastik şekil değiştirdikten sonra yüzeyi portakal kabuğu görünümünde pürüzlü olur. Bu nedenle iri taneli saclar derin çekme, gererek biçimlendirme, bükme gibi şekil verme işlemlerine uygun değildir.

Bir plastik şekil değiştirme olayı, yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda meydana gelirse soğuk şekil değiştirme, aksi durumda sıcak şekil değiştirme söz konusudur. Yeniden kristalleştirme sıcaklığı yaklaşık $0,4 T_e$ (metal in ergime sıcaklığı) civarındadır.

Soğuk şekil değiştirme de kristal ve tane yapısı sürekli olarak bozulur, sertlik ve dayanım değerleri artar, süneklik ve elektrik iletkenliği azalır. Ayrıca bir soğuk şekil verme işlemi için gerekli kuvvet ve iş aynı işlemin sıcak olarak yapılmasına kıyasla daha büyüktür. Buna karşılık soğuk şekil verme de sıcak şekil vermeye kıyasla daha küçük boyut toleransları ve daha iyi bir yüzey elde edilir

Yüksek sıcaklıklarda yeniden kristalleşme sonucu iri taneli bir yapı oluşur. Yeni iç yapı çabuk meydana gelir. Şekil değiştirmiş kristaller tekrar bir düzene girdiğinde yeniden oluşum son bulur.

Bunlardan bağımsız olarak, şekil değiştirmemiş bir metalinde tavlama sonucu iri taneler oluşabilir. Metalin taneleri arasındaki sınırlarda inklüzyon gibi bazı artıklar kalmış olabilir. Yüksek sıcaklıklara çıkılınca kristal kafesi bu yabancı atomu kendi iç yapısı içinde eritir, yeni kristal yapısı içine alır. Böylece sınır tabakaları ortadan kalkarak aynı özellikteki taneler yan yana gelir. Yavaş yavaş küçük taneler büyük taneler tarafından yutulur. Bu olay kademeler şeklinde meydana gelir. Küçük taneler enerjisini düşürmek için büyük tanelere dahil olurlar.

Yüksek sıcaklıkta uzun süre bekleme sonucu çok kristalli bir yapının tek kristale dönme ihtimali vardır. İri taneler, malzemeyi yüksek sıcaklıkta ısıtma (aşırı ısıtma) veya yüksek sıcaklıkta uzun süre bekletme (aşırı bekletme) sonucunda oluşur. Küçük taneler dağılarak büyük tanelere dahil olurlar ve iç yapı değişir.

Tane büyümesini daha anlaşılır bir hale getirmek için güncel bir örnek vermek gerekirse; yağlı bir sosun üzerinde yağ kabarcıkları vardır. Bu kabarcıklardan küçük olanları daima büyük olanlara yapışır ve bir zaman sonra da aralarındaki sınır ortadan kalkar.

Tane büyümesi, şayet yapı içerisinde yüksek sıcaklıklarda bile ayrıışmayan maddeler (yabancı kristaller) tane sınırlarına yerleşmişse büyük ölçüde engellenir. Tane büyümesini azaltıcı tesir yapan alaşım elementlerinin en önemlileri; Alüminyum(Al), Molibden(Mo) ve Titanyum(Ti) dur.

3.2.2. Tane büyümesinin malzeme özelliklerine etkisi

Tane büyüklükleri birbirinden farklı olan iki çelik, kimyasal bileşimleri aynı olsa dahi mekanik özelliklerinde büyük farklılık gösterir.

İnce taneli yapılar daha yüksek mukavemet ve uzama miktarı ile iyi bir çelik çentik darbe mukavemetine sahiptirler. İri taneli yapılar ise düşük çentik darbe mukavemeti gösterirler.

Mekanik özelliklerin tane büyüklüklerine göre farklılık göstermesinin sebebi tane sınırıdır. Bu bölgelerde atomların düzenli durumları bozulmuştur, yani atomların birbirlerini bağlayan kuvvetleri daha zayıftır.

İri taneli bir telin kopması tane sınırından gerçekleşir. Çünkü tane içerisindeki atomlar daha sıkı bir şekilde bağlanmıştır. İnce taneli malzemeden yapılmış bir tel ise farklı bir davranış gösterir ve tanelerin ortasından kopar. Kopma tane sınırları boyunca olsa idi kopma yüzeyi daha geniş olurdu, yani kopma için daha büyük

kuvvet gerekirdi. İri taneli yapının şekil değiştirmeden kopmaya eğilimi vardır. İnce taneli yapı kopmadan önce şekil değiştirir. Oda sıcaklığında tane büyüklüğü arttıkça akma sınırı, çekme dayanımı ve sertlik düşer, süneklik artar.

3.2.3. Tane boyutunu küçültme

Tane boyutunu küçülterek de malzemenin mukavemeti artırılabilir. Tane boyutunu hızlı soğutma veya çeşitli termomekanik işlemlerle küçültmek mümkündür.

Tane boyutu ve akma gerilmesi arasındaki ilişki,

$$\sigma_a = \sigma_i + k \cdot D^{-1/2}$$

ile gösterilir (hall – petch denklemi).

Burada

- σ_a : Akma gerilmesi
- σ_i : Sürtünme gerilmesi
- k : Sabit
- D : Tane boyutunu ifade etmektedir.

Dislokasyonların hareketine karşı sürtünme gerilmesi (σ_i) , malzemenin kimyasal bileşimine, deformasyon miktarına ve sıcaklığa bağlıdır. Uygulanan gerilemenin σ_i ye etkisi yoktur. k terimi ise sıcaklığa bağlı değildir.

3.2.4. Tane boyutunun ölçülmesi

Malzemelerin tane yapıları üç boyutlu olduğundan iki boyutlu tane boyutu ölçme metotları büyük zorluklara neden olur. Bununla birlikte malzeme alanındaki öneminden dolayı sıklıkla başvurulanan bir yöntemdir [11].

Tane boyutunu ölçmek için çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bu metotların pratik ve yaygın olanları şöyledir:

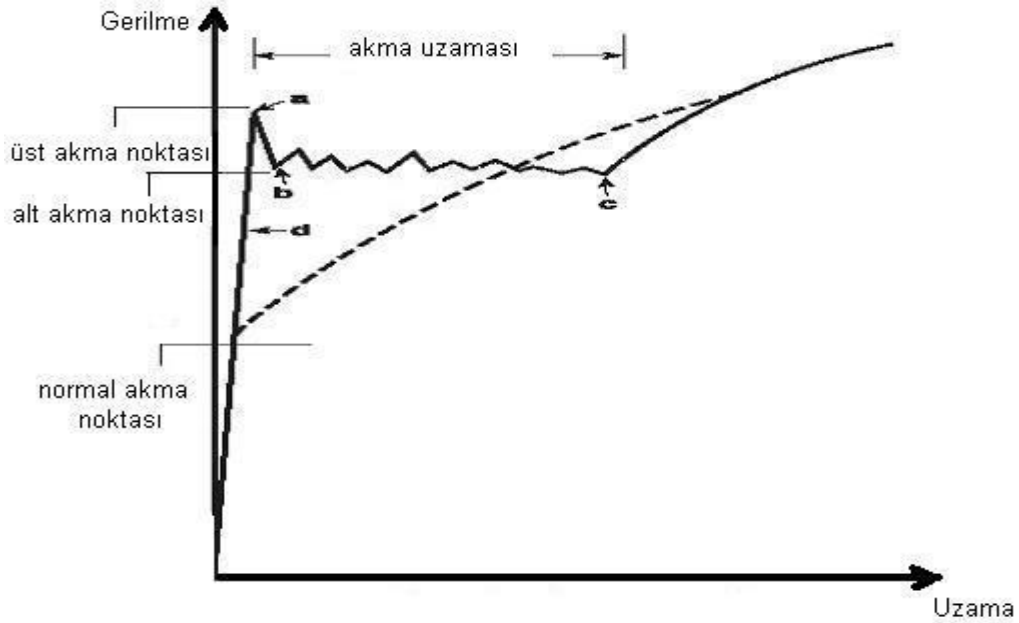
- ASTM tane boyutu
- Lineer kesişme metodu
- Kırık tane boyutu
- Planimetrik metot
- Snyder – Graff kesişme metodu
- Tane boyut dağılım metodu

Lineer kesişme metodunda SEM görüntüleri üzerinde çok sayıda birbirine paralel fakat eşit aralıklarda olmasına dikkat edilmeden çizgiler çizilir. Çizgilerin her taneyi kestiği yerdeki ölçüler kaydedilir. Resim üzerindeki referans çizgisi dikkate alınarak milimetre cinsinden bulunan değerler mikrometreye kolaylıkla çevrilir ve ortalama bir tane çapı değeri elde edilir.

3.3. Akma Başlangıcı ve Akma Uzaması

Bazı metallerde, özellikle de sıcak işlenmiş düşük karbonlu çeliklerde elastik deformasyon bölgesinden plastik deformasyon bölgesine geçişte gerilim ani olarak düşer ve daha sonra çelikte heterojen bir uzama meydana gelir. Gerilimin ani olarak düşmesi “akma başlangıcı” dır, heterojen uzamanın meydana gelmesi de “akma uzaması “ olarak adlandırılır. Akma başlangıcındaki en yüksek gerilim “üst akma noktası”, en düşük gerilim ise “alt akma noktası” dır.

Şekil 3.6’da; sıcak işlenmiş düşük karbonlu bir çeliğin tipik yük-uzama eğrisi görülmektedir.



Şekil 3.6. Sıcak işlenmiş düşük karbonlu bir çeliğe ait uzama eğrisi [2]

Başlangıçta üst akma noktasına kadar olan kısım elastik deformasyon bölgesini, alt akma noktasından sonraki çan şeklindeki kısım plastik deformasyon bölgesini, arada kalan tırtıklı kısım ise süreksiz akma bölgesini göstermektedir.

Çeliğe gerilim verilip elastik deformasyon bölgesinin sonuna ulaşıldığında ilk aşamada gerilimin uygulandığı eksene 45^0 açıda ve sadece sınırlı bir bölgede akma meydana gelir, gerilim aniden düşer. Bunun akabinde uzama miktarı artırıldıkça henüz akmanın meydana gelmediği diğer kısımlarda bu akma izine paralel ya da 90^0 açıda yeni akma izleri oluşur. Akma uzaması bölgesinin sonuna gelindiğinde artık oluşan akma izleri tamamen birleşmiş, çelikte akacak yeni bölge kalmamıştır.

Çeliğin deformasyonu sırasında oluşan her akma izi, akma geriliminde bir iniş çıkışa neden olur. Yukarıdaki şekilde akma uzaması bölgesinde görülen inişlerin sebebi yeni akma izlerinin oluşması, çıkışların sebebi ise akma izlerinin olduğu kısımlarda gerilim sertleşmesi meydana gelmesidir.

Çelikteki akma uzaması yapıda çözünen karbon ve azot atomlarının kenar dislokasyonlarının pozitif ucuna yerleşmesi veya dislokasyonlar etrafında küçük

nitrürler ve karbürler oluşturmaya bağlıdır. Bu oluşum mekanizması ile deformasyon için gerekli olan dislokasyon hareketlerinin başlaması zorlaştırılmış olur. Çünkü kenar dislokasyonlarının pozitif ucuna yerleşen karbon veya azot atomları ile dislokasyonlar etrafında oluşan küçük çökelmeler dislokasyonların ilk hareketi için gerekli olan enerji miktarını artırmaktadır. Bu nedenle plastik deformasyonun başlayabilmesi için gerekli olan ilk dislokasyon hareketleri daha yüksek yüklerde meydana gelmektedir.

Diğer taraftan dislokasyonlar bir kez yerlerinden koparıldıklarında ve hareket etmeye başladıklarında yapı içinde tane sınırı veya çökelti gibi bir engelle karşılaşınca kadar düşük yüklerde hareketlerini devam ettirirler.

Dislokasyonların hareketinin başlayabilmesi için daha yüksek yüklere, hareket başladıktan sonra da hareketin yapı içinde devam etmesi için daha düşük yüklere ihtiyaç olması, diğer kısımlarda henüz akma meydana gelmezken ilk dislokasyon hareketinin başladığı kısımda deformasyonun devam etmesine neden olur. Bu da makro düzeyde heterojen bir akma meydana getirir ve akma izi olarak görülür.

3.3.1. Akma uzamasının rulo kırığı üzerine etkisi

Rulo kırıklarının anlaşılmasına yönelik yapılan çalışmalarda kıvrılma testinden daha önce bahsedilmiştir. Kıvrılma testinde örnek olarak seçilmiş sıcak yuvarlanmış galvanize çeliklerde meydana gelen kırık işaretlerinin sayısı akma noktası uzamasının bir fonksiyonu olarak düşünülmektedir. Bulunan kırık işaretlerinin sayısı artan akma noktası uzamasıyla doğru orantılıdır. Bazı çelik örneklerinde akma uzaması görülmüştür fakat makroskobik bir kırık işaretine rastlanmamıştır. Bu çelik örnekleri bir büyüteç yardımıyla incelendiklerinde mikroskobik kırık işaretleri gözlenmiştir.

Yapılan deneylerde rulo kırıklarının oluşmasında akma uzamasının etkin olduğu gözlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta sarılmış bobinlerde daha fazla kırık gözlenmiştir. Daha önce incelenen çalışmalardan [2, 14] soğuma hızının da akma mukavemeti

üzerinde etkili olduğunu biliyoruz. Sıcak sarılan bobin hava ortamında soğumaya bırakılacak ve bu bobinin iç kısımları daha geç soğuyacak, yüksek sıcaklık bu bölgede daha uzun süre etkili olacaktır. Bu bölgenin tane yapısında irileşme gözlenecek ve akma mukavemeti de aynı ölçüde düşecektir.

Rulo kırıklarının oluşma sebebinin araştırılmasında birçok deney yapılmış ve aşağıdaki üç neden üzerinde durulmuştur:

- Kimyasal kompozisyon
- Bobin açma ve kesme sistemleri
- Bobinin sarılma sıcaklığı

3.4. Kimyasal Kompozisyon

Karbon miktarı çeliğin kullanım yerine göre belirlendiğinden ve diğer fiziksel özellikleri ile yakından ilgili olduğundan üzerinde fazlaca oynanamaz. Ancak çözünük azot, bilhassa tekrar üflemlerde ve püskürmeli dökümlerde artmaktadır. Çelikteki azot miktarı, tekrar üfleme ve püskürmeli dökümlerin azaltılması ile azaltılabilir. Ayrıca çelik içine azotu bağlayıcı karbon ve azot atomlarının yayılımını azaltıcı, dislokasyonların yapı içerisinde hareketini zorlaştırarak akma sırasında gerilim düşmesini önleyici elementlerin ilavesi de rulo kırığına birer önlem teşkil eder [12].

Orta ve düşük karbonlu çeliklerde, süreksiz akma uzamasını etkileyen en önemli faktör çeliğin kimyasal bileşiminde bulunan çözünmüş haldeki serbest karbon ve azot atomlarıdır.

Orta ve düşük karbonlu çeliklerde süreksiz akma uzamasını en aza indirmek için çelik içerisinde serbest halde bulunan karbon (C) ve azot (N) miktarını olabilecek en asgari seviyelere indirmek gerekir. Bu elementlerin serbest haldeki konsantrasyonları arttıkça dislokasyonlarla etkileşimleri de o oranda artacaktır. Yapıdaki N' u bağlamak için alaşım elementi olarak Al ilave edilerek Alüminyum Nitritür(AlN)

oluşturulur. Diğer yandan çeliğin mukavemeti üzerinde en etkin element olan karbonun miktarı ile oynamak çeliğin mekanik özellikleri açısından istenilen kaliteden uzaklaşmasına neden olmaktadır.

ERDEMİR’de malzemenin kimyasal kompozisyonu üzerine yapılan çalışmalar [2]; Kimyasal kompozisyondaki mangan (Mn) değeri % 0,55 den % 0,60 a yükseltilmiştir. Mangan değerinin artırılması rulo kırığı şiddetini azaltmıştır. Kimyasal kompozisyondaki silisyum (Si) değeri % 0,20 den % 0,30 a yükseltilmiştir. Silisyum değerinin artırılmasının rulo kırığına herhangi bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir [2]. Karbon değerinin artırılması rulo kırığı şiddetini azaltmıştır. Kimyasal kompozisyona bor (B) ilavesi yapılmıştır [2]. Kimyasal kompozisyona yapılan bor ilavesinin rulo kırığına herhangi bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Kimyasal kompozisyona bor ilavesi akma ve çekme değerlerini değiştirmemiştir. Fakat % uzama değerinde büyük bir iyileşme sağlamıştır. Bu tespitin yapılmasından sonra derin çekme soğuk mamullerin kimyasal kompozisyonuna bor (B) ilave edilmiştir [2].

Bor katkılı ve katkısız üretimlerin mekanik özellikleri aşağıda gösterilmiştir:

	<u>Bor katkılı</u>	<u>Bor katkısız</u>
Akma (kg/mm ²)	20	23
Çekme (kg/mm ²)	33	34
% Uzama	53	34

ERDEMİR demir – çelik fabrikasında yapılan araştırmalar sonucunda rulo kırığının en çok 3237, 4237, 6222, 6223 ve 6224 kalite malzemelerde yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

3.5. Bobin Açma Sistemleri

Rulo kırıklarının oluşumun en aza indirilmesi için gelişmiş açma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Müşteri satın aldığı bobini homojen gerilmeler altında açmazsa kırık gözlenme olasılığı artacaktır.

Bobinlerin açılması sırasında bobin açma sistemlerine bağlı olarak, açılan sargıların maruz kaldığı kuvvet bobin yüzeyince homojen bir şekilde dağıtılamadığında malzemenin belirli kısımlarında gerilim konsantrasyonu oluşacak ve o bölgede rulo kırıkları meydana gelecektir.

Ayrıca bobin sargısının iç ve dış yüzey uzunlukları arasındaki fark, üst yüzeyin daha fazla uzamasına neden olmaktadır. Bobin açma sırasında meydana gelen farklı uzama miktarı da malzemede rulo kırığı oluşumunu artırmaktadır.

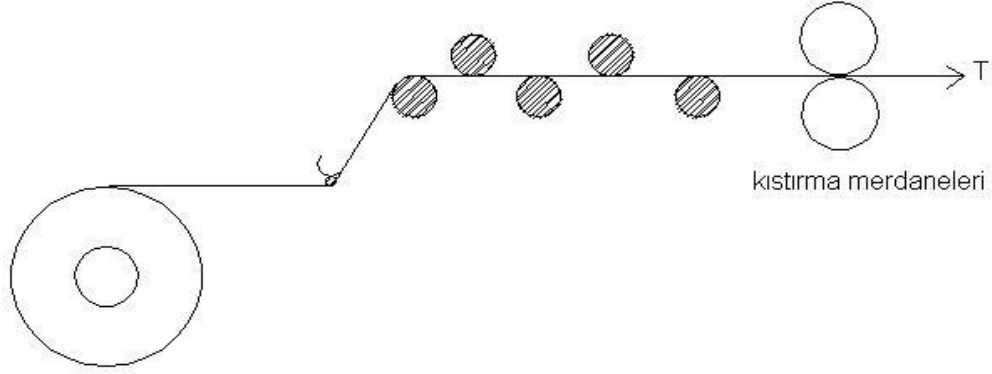
Bobin açma sisteminde bulunan ekipmanlar

Kenar kontrol sistemi, bobinin hat ekseninde açılmasını sağlarlar.

Geriye doğru gergi sistemi, mandrelde açılan bobinin gergide açılmasını sağlar. Dur – kalk sırasında bobinin üst sargılarını boşaltmasını engeller.

Hangi bobin açma sistemi seçilirse seçilsin, dikkat edilecek en önemli nokta bobin açma esnasında bobin yüzeyinde oluşacak gerilimlerin malzeme yüzeyine homojen bir şekilde dağıtılmasıdır. Bu şekilde malzeme yüzeyinin belirli bölgelerinde gerilim konsantrasyonlarının oluşması engellenecektir.

Bobin sıcak haddelendikten sonra açılırken meydana gelebilecek yükler akma izlerinin, dolayısı ile de rulo kırıklarının oluşmasına neden olacaktır. Bu yüklerin oluşması, genellikle bobin açılırken mandrel üzerinde ileri-geri ya da düzgün olmayan duraklamalı dönüş yapması, açılma açısının dar, sıkma merdanesi çapının düşük olması gibi nedenlere bağlıdır. Bu durum Şekil 3.7’de izah edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.7. Rulo kırığını en aza indirmek için geliştirilmiş bir açma sistemi [3]

Ayrıca, bobinin sıcak olarak açılması dislokasyonların yapı içindeki hareketlerini kolaylaştıracağından akma başlangıcındaki gerilim düşmesini ve akma uzamasını artırarak rulo kırıklarının oluşumunu kolaylaştıracaktır.

Bobinin iç sargılarında ve ince malzemelerde rulo kırığının artması da açma sırasında bobinin mandrel üzerinde kolaylıkla ileri-geri kesintili hareket yapabilmesine ve açma açısının değişmesine bağlıdır. Bu konuda getirilebilecek çözüm ise bobinlerin soğuduktan sonra açılması, açma açısının 180^0 ye yakın tutulması ve bobinin mandrel üzerinde yapacağı ileri-geri hareketlerin bir gergi sistemi ile önlenmesidir.

3.6. Bobin Sarılma Sıcaklığı

Sıcak haddelemeden sonra sarılma sıcaklığının yüksek olması karbon ve azot atomlarının kolaylıkla ve daha hızlı olarak yayınmasına müsaade edeceğinden bu atomların dislokasyonlar üzerinde ve etrafında birikmesine sebep olacaktır. Bu nedenle çelikteki akma uzamasını ve akma başlangıcındaki gerilim düşmesini artırarak rulo kırığı miktarını olumsuz yönde etkileyecektir. Diğer taraftan sarılma sıcaklığının düşürülmesi yayınma hareketlerini kısıtlayacağından rulo kırığını azaltacaktır. Fakat şeridin soğutulması sonucunda da başka bir sorunla karşılaşmaktadır. Şeridin enine soğutma farklılıklarından “kenar dalgası” problemiyle karşılaşmaktadır [2, 12]. Sarılma sıcaklığı rulo kırığı üzerinde etkin

olduğu için ERDEMİR de buna yönelik çeşitli denemeler yapılmıştır. Sarılma sıcaklığı 10 °C aralıklarla 600 – 640 °C arasında değiştirilerek deneme üretimleri yapılmıştır.

Deneme üretimi yapılan bu bobinlerin incelenmesinde alınan sonuçlar şöyledir [2]

- Rulo kırığı ve sarılma sıcaklığı arasında belirgin bir ilişki tespit edilmiştir. Sarılma sıcaklığı düştükçe rulo kırığının şiddeti azalmaktadır.
- Sarılma sıcaklığı düştükçe akma mukavemeti yükselmektedir.
- Sarılma sıcaklığı 610 °C den daha düşük bobinlerde yüksekliği 7 – 18 mm arasında değişen kenar dalgası tespit edilmiştir.

Bobin sarılma sıcaklığının düşük olması

Bu durumda yapıdaki sabit karbon miktarı ve dolayısıyla da malzemedeki süreksiz akma uzaması azalacaktır. Bu da rulo kırığı riskinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Bobinin sarılma sıcaklığının düşürülmesi daha küçük taneli bir yapının oluşmasına yol açmaktadır. Küçük taneli bir yapı, çeliğin akma mukavemetini artırdığından malzemenin rulo kırığına hassasiyetini de düşürmüş olacaktır.

Ancak bobinin sarılma sıcaklığının çok fazla düşürülmesi mekanik özellikleri değiştirdiği gibi malzemede dalga kusuruna da neden olmaktadır.

Bobin sarılma sıcaklığının yüksek olması

Bu durumda çeliğin yapısı içerisinde serbest kalan karbon, süreksiz akma uzamasının oluşumuna katkıda bulunacağından rulo kırığının ortaya çıkma olasılığı artacaktır.

Haddelemede malzeme sıcaklığını artıran etkenler [16]

- 1- Ezme miktarı
- 2- Ezme bölgesindeki sürtünme
- 3- Ezme bölgesindeki oksidasyon
- 4- Malzeme bünyesindeki fiziksel ve metalurjik değişimler
- 5- Coil-box ve ısıtma fırınları yöntemleriyle yapılan ısıtmalar

Haddelemede malzeme sıcaklığını düşüren etkenler [16]

- 1- Merdaneler ile olan doğrudan temas
- 2- Işıma
- 3- Hava ile soğutma
- 4- Su ile soğutma

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 6222 ve 4237 kodlu Erdemir çelik sac mamullerinde görülen rulo kırığı kusurlarının nedenlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmalar; karakterizasyon testleri ve sonlu elemanlar analizlerini içermektedir.

4.1. Malzeme

Deneysel çalışmalarda Erdemir T.A.Ş firmasından temin edilen kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri Çizelge 4.1’de verilen 6222 ve 4237 kalite çelik sac mamuller kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. 6222 ve 4237 kodlu çelik sac mamullerin kimyasal bileşimi

	Elementler(%)						
Malzeme Kodu	C	Mn	Si	P	S	Al	N
6222	0,07	0,4		0,02	0,02		
4237	0,17	1	0,05	0,025		0,02	0,009

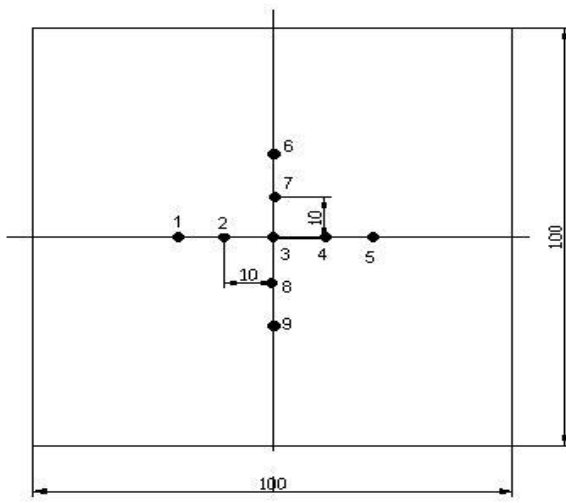
6222 kalite çeliğe ait rulo kırığı kusuru gözlenen ve gözlenmeyen olmak üzere iki ayrı bobinden numuneler alınmıştır. 4237 kalite çeliğe ait rulo kırığı kusuru gözlenen bobinin orta bölgesinden her 40 metrede bir olmak üzere 2x2 cm ebatlarında 11 adet numune alınmıştır.

4.2. Karakterizasyon Testleri

6222 kalite çelikten alınan numunelere sertlik deneyleri ve mikroyapı incelemesi için Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri alınırken, 4237 kalite çelikten alınan numunelere mikroyapı incelemesi için SEM görüntüleri ile faz veya kimyasal bileşim tespiti için Elektron Dağılım Tarama (EDS) işlemi yapılmıştır.

4.2.1. Sertlik deneyleri

Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesine ait Mukavemet Laboratuvarında bulunan sertlik ölçüm cihazında Rockwell yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 100 kg yük kullanılmıştır. Sertlik deneyi için 100x100 mm ebatında numuneler kesilmiştir. Kesilen numunelerin hangi noktalarından sertlik değeri alındığı Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Sertlik değeri alınan noktalar

4.2.2. Mikroyapı incelemesi

Metalografik işlemler; 2x2 ebatlarında kesilen numuneleri kalıplama, ardından 240-1200 mesh arasındaki SiC abrazif kağıtlar üzerinde zımparalama, parlatma ve son olarak %2 Nital solüsyonu ile dağlamayı içermektedir. Metalografik olarak hazırlanan numune yüzeylerinden Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümün de bulunan Jeol JSM6060 LV marka cihazda SEM görüntüleri alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır.

4.3. Sonlu Elemanlar Analizi

ALGOR Termal Analiz Programı ile 750 °C de 3 farklı rulo çapında analiz işlemi yapılmıştır.

5. DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ

5.1. Sertlik Deneyi Sonuçları ve İrdelenmesi

6222 kalite rulo kırığı olan ve olmayan çeliklerden alınan 2 farklı numunenin sertlik değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Sertlik değerlerinin alındığı noktalar Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 6222 kodlu çelikte, rulo kırıklı ve kırıksız numunelerdeki sertlik değerleri (R_B)

NO	Rulo kırığı gözlenen numune için sertlik değeri (R_B)	Rulo kırığı gözlenmeyen numune için sertlik değeri (R_B)
1	36	94
2	42	94
3	41	88
4	45	65
5	41	92
6	46	62
7	47	73
8	47	95
9	42	75

Yapılan sertlik deneyinde rulo kırığı görülen çelik örneğinde sertlik değerinin, kırıksız örneğe kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum rulo kırıklı numunenin tane yapısı diğer kırıksız numuneye göre daha farklı veya yapıda sertleşmeyi sağlayan farklı parametrelerin olabileceğini işaret etmektedir.

Çelik bobinlerinin iç kısımlarında fazla kırık gözlenmektedir. Bunun sebebi bu bölgelerin diğer bölgelere kıyasla daha yavaş soğuması olarak açıklanabilir. Yüksek sıcaklığın uzun süre etkimesinden dolayı yapının bu kısımlarında tane irileşmesi

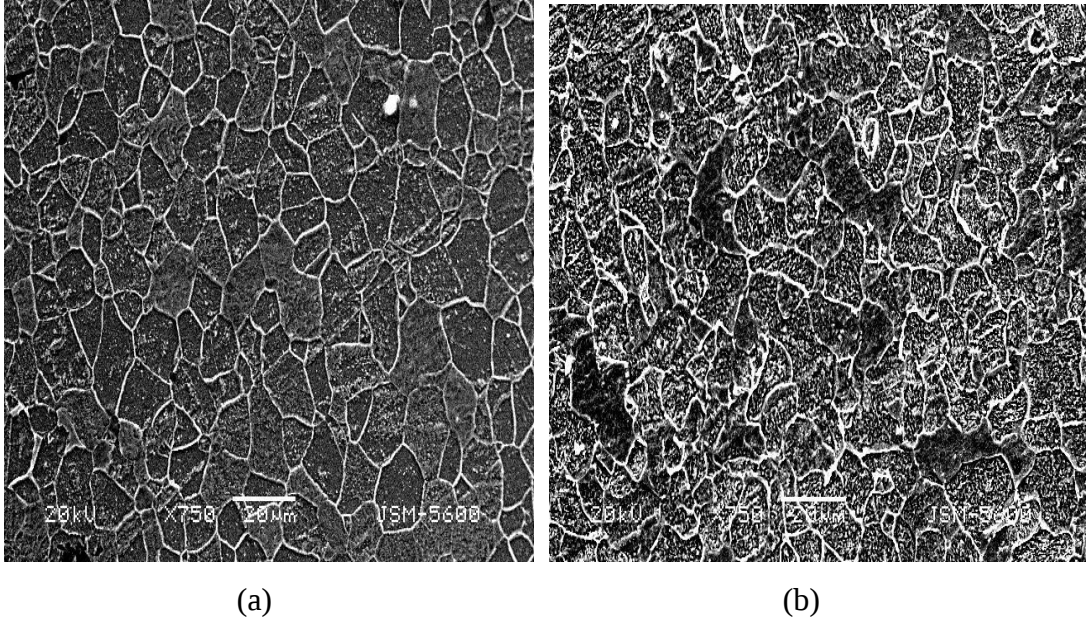
gözlenebilir ve bunun sonucu olarak akma uzamasının artması kırık oluşumuna neden olabilir.

İri taneli yapıya sahip malzemenin ise akma mukavemetinin düştüğü yani daha düşük gerilme değerlerinde deforme olduğunu ve sertlik değerinin de bununla birlikte düştüğü daha önceki araştırmalar tarafından da rapor edilmektedir [3, 14].

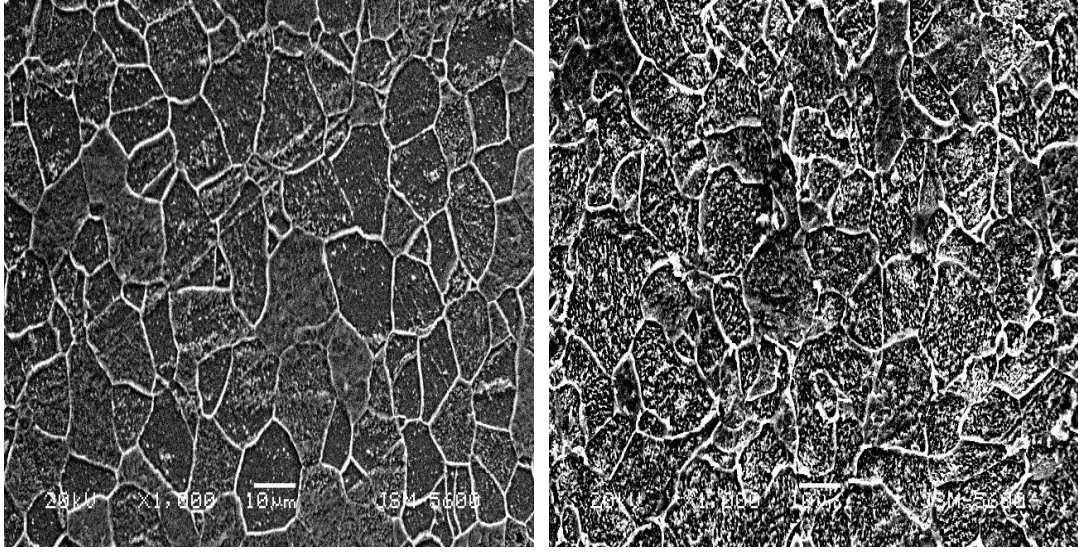
Aynı kimyasal bileşime sahip iki numuneden birinde gözle görünür derecede rulo kırığına rastlanırken, diğer üründe hiçbir kırık işareti kaydedilmemesi ise rulo açılmasında farklı açma sistemleri kullanılmış olmasından kaynaklanabilir. Literatür kısmında da açıklandığı üzere açma sistemleri malzeme üzerinde uniform olmayan gerilmeler oluşturabilir ve lokalize olmuş gerilme akmaya neden olabilir.

5.2. Metalografik İnceleme Sonuçları ve İrdelenmesi

6222 kalite rulo kırığı olan ve olmayan çeliklerden alınan 2 farklı numunenin SEM görüntüleri Resim 5.1’de verilmiştir.



Resim 5.1. 6222 kalite çeliğe ait rulo kırığı olan ve olmayan numunelerin SEM görüntüleri a) rulo kırığı olan (750X), b) rulo kırığı olmayan (750X)



(c)

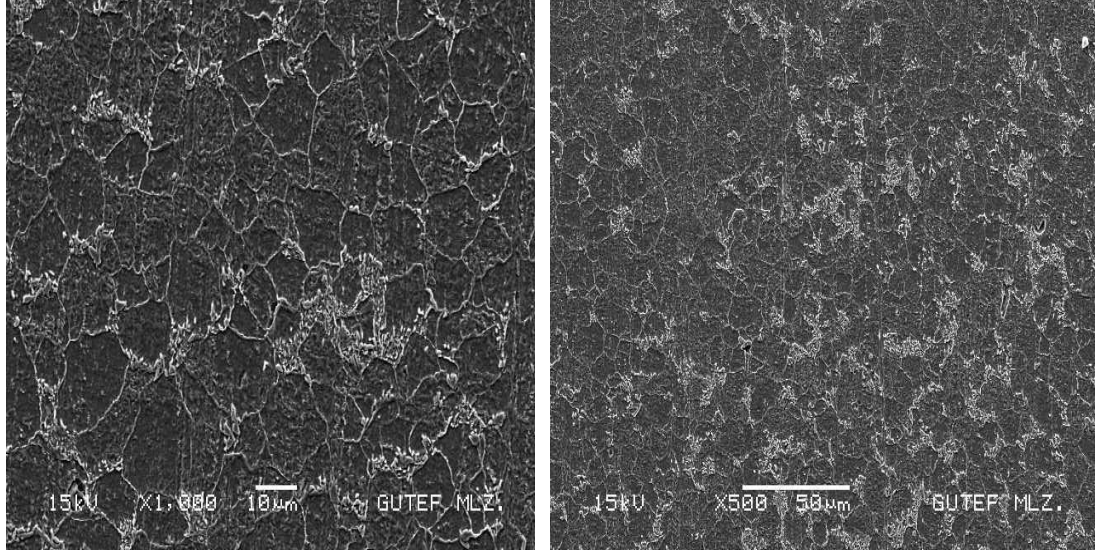
(d)

Resim 5.1 (devam). 6222 kalite çeliğe ait rulo kırığı olan ve olmayan numunelerin SEM görüntüleri c) Rulo kırığı olan (1000X) ve d) Rulo kırığı olmayan (1000X)

SEM görüntüleri tane boyutlarının benzer büyüklükte olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, rulonun değişik mesafelerinden numuneler alınmış ve SEM incelemeleri tekrar gerçekleştirilmiştir.

Çelik şerit üzerinde dıştan iç kısma doğru numune örnekleri incelenmesinin gerekli olduğu göz önüne alınarak her 40 metre mesafede şeridin ortasından numune örnekleri alınmış ve numuneler hazırlanmıştır.

40.metre,

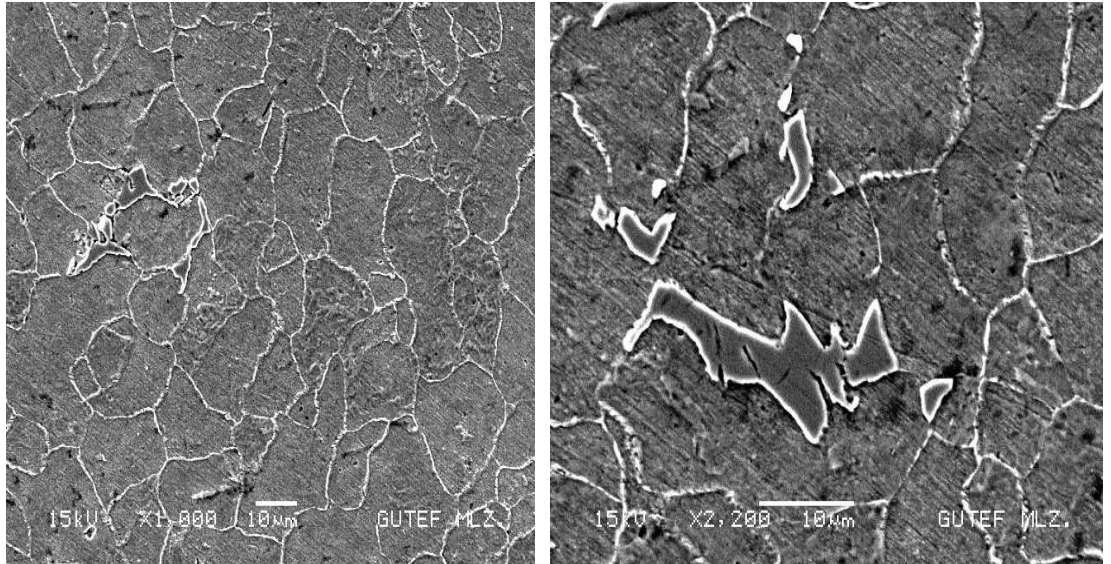


(a)

(b)

Resim 5.2. 4237 kalite numaralı rulonun 40. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (1000X) b) (500X)

80. metre,

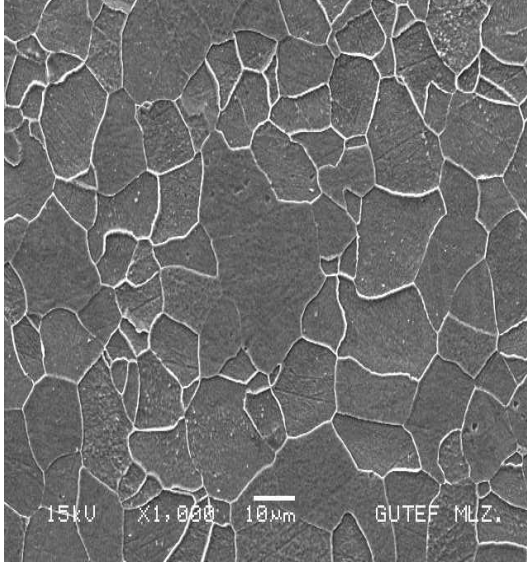


(a)

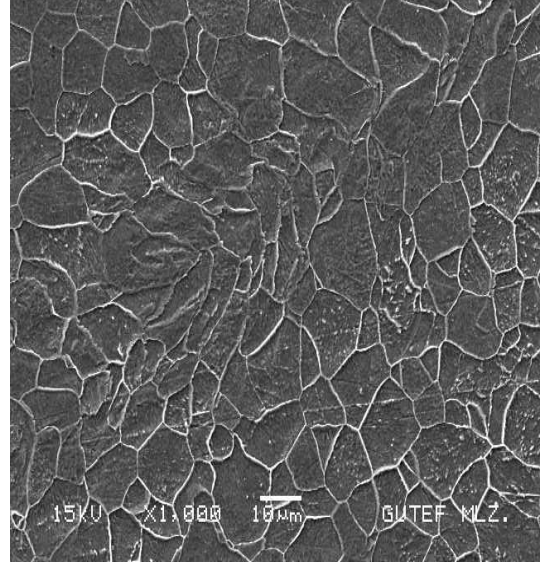
(b)

Resim 5.3. 4237 kalite numaralı rulonun 80. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (1000X) b) (2200X)

120. metre,



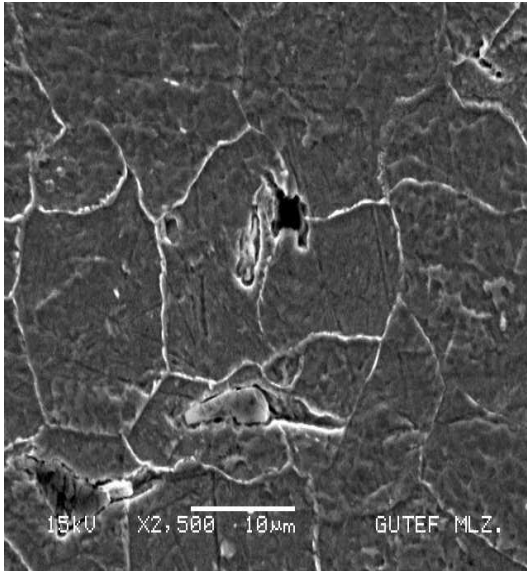
(a)



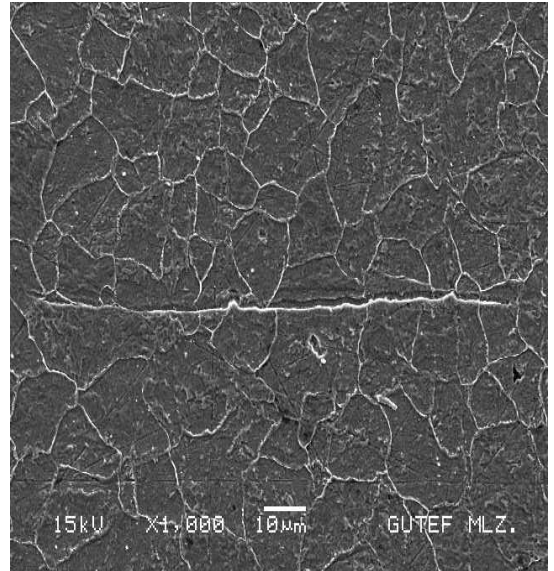
(b)

Resim 5.4. 4237 kalite numaralı rulonun 120. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (1000X) b) (1000X)

160. metre,



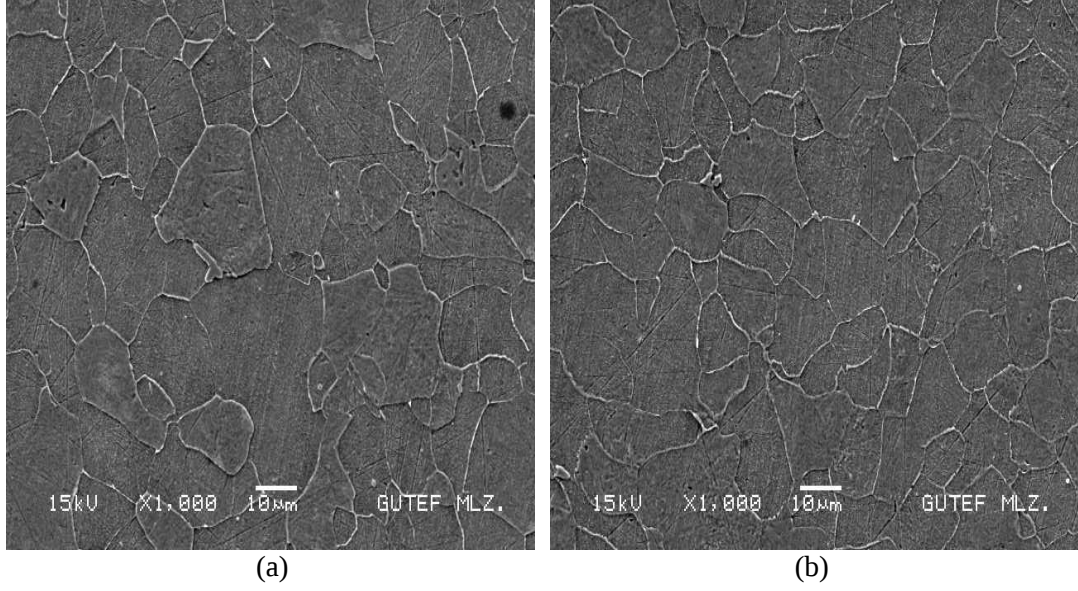
(a)



(b)

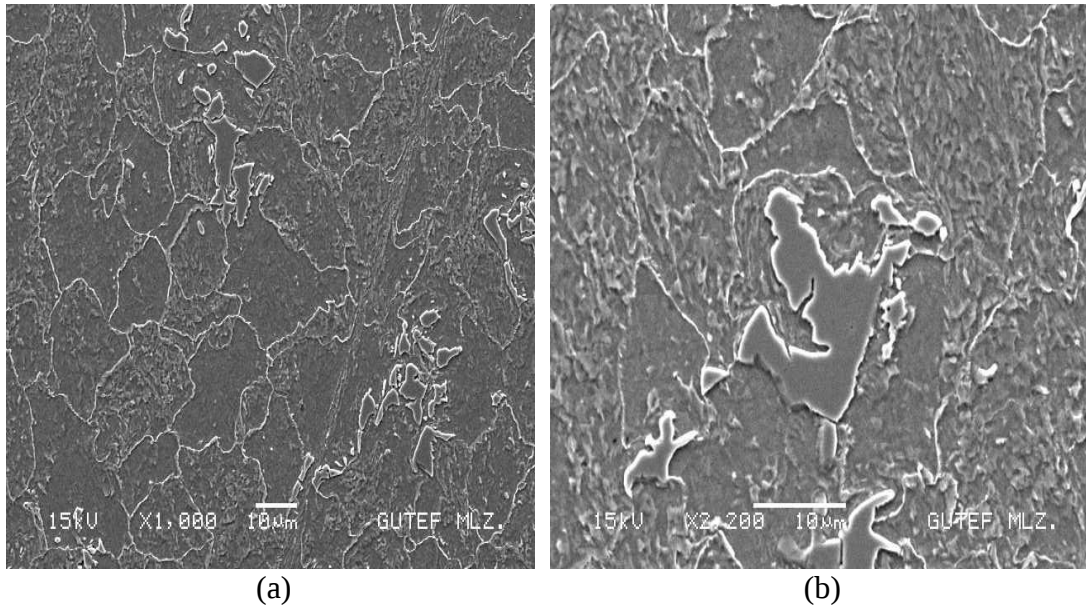
Resim 5.5. 4237 kalite numaralı rulonun 160. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (2500X) b) (1000X)

200. metre,



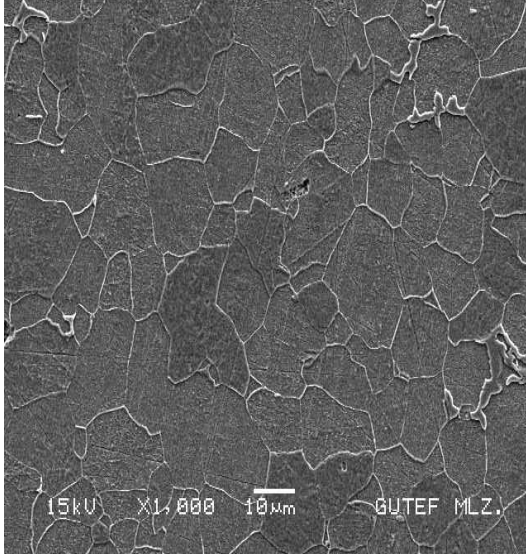
Resim 5.6. 4237 kalite numaralı rulonun 200. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (1000X) b) (1000X)

240. metre,

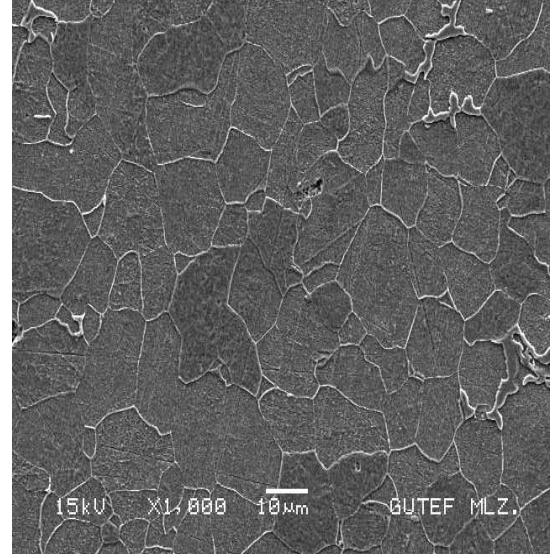


Resim 5.7. 4237 kalite numaralı rulonun 240. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (1000X) b) (2200X)

280. metre,



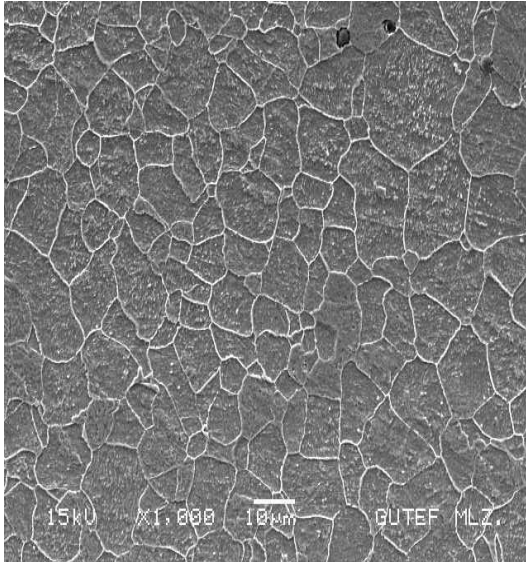
(a)



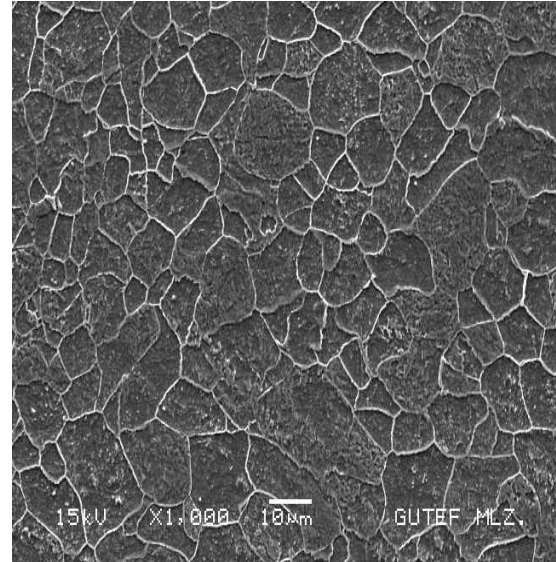
(b)

Resim 5.8. 4237 kalite numaralı rulonun 280. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (1000X) b) (1000X)

320. metre,



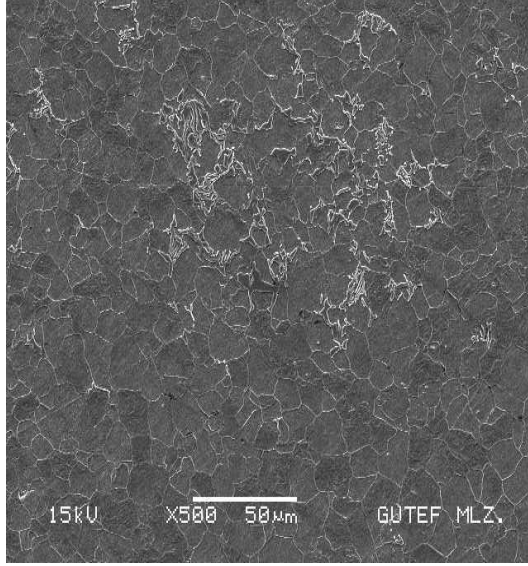
(a)



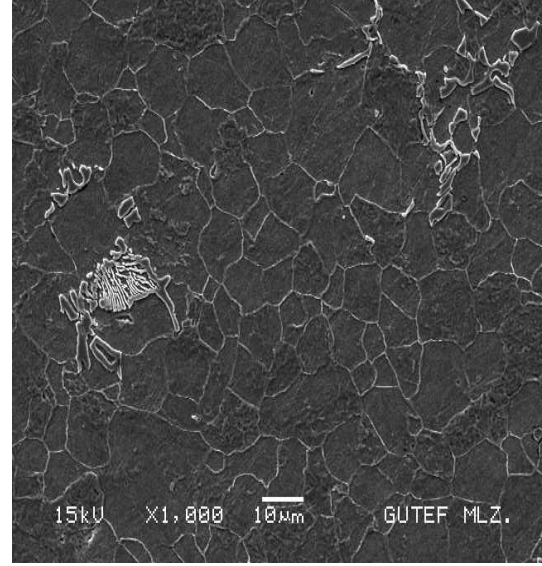
(b)

Resim 5.9. 4237 kalite numaralı rulonun 320. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri a) (1000X) b) (1000X)

360. metre,



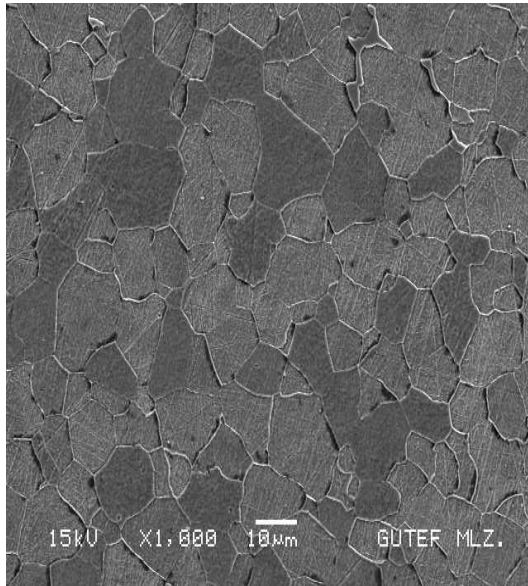
(a)



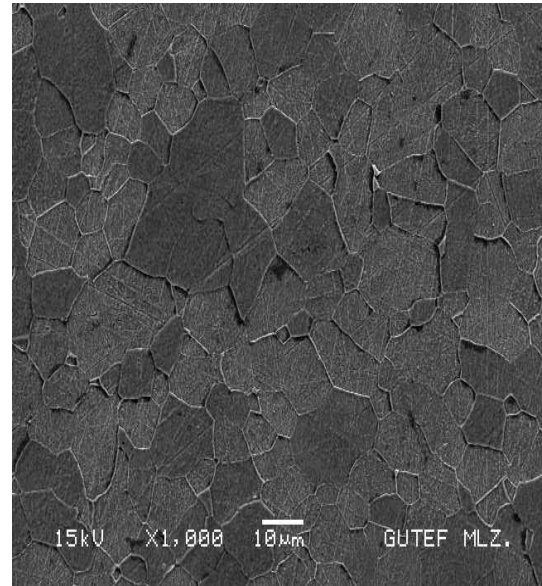
(b)

Resim 5.10. 4237 kalite numaralı rulonun 360. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (500X) b) (1000X)

400. metre,

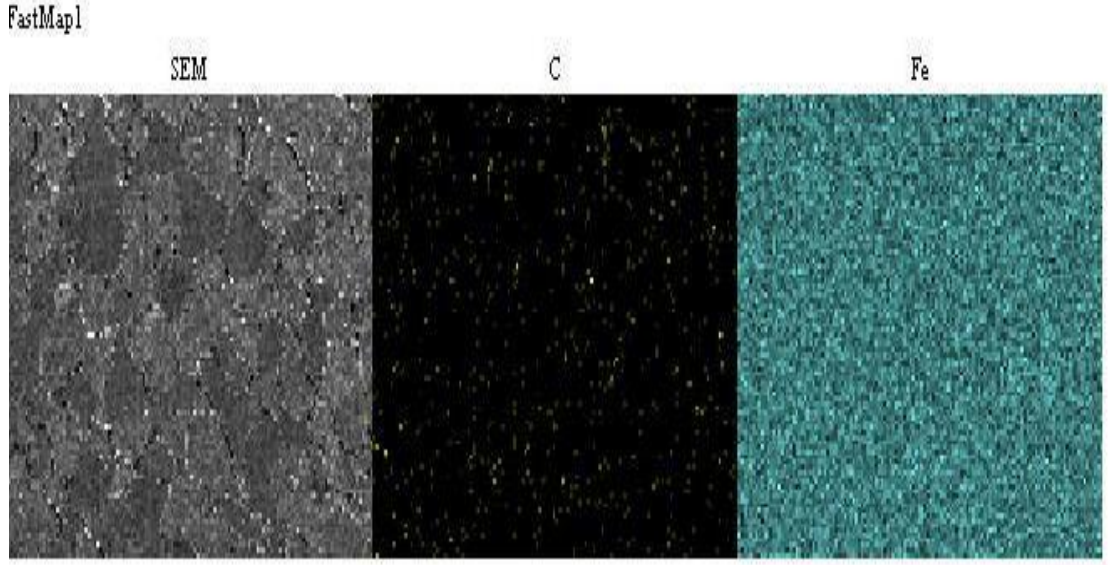


(a)



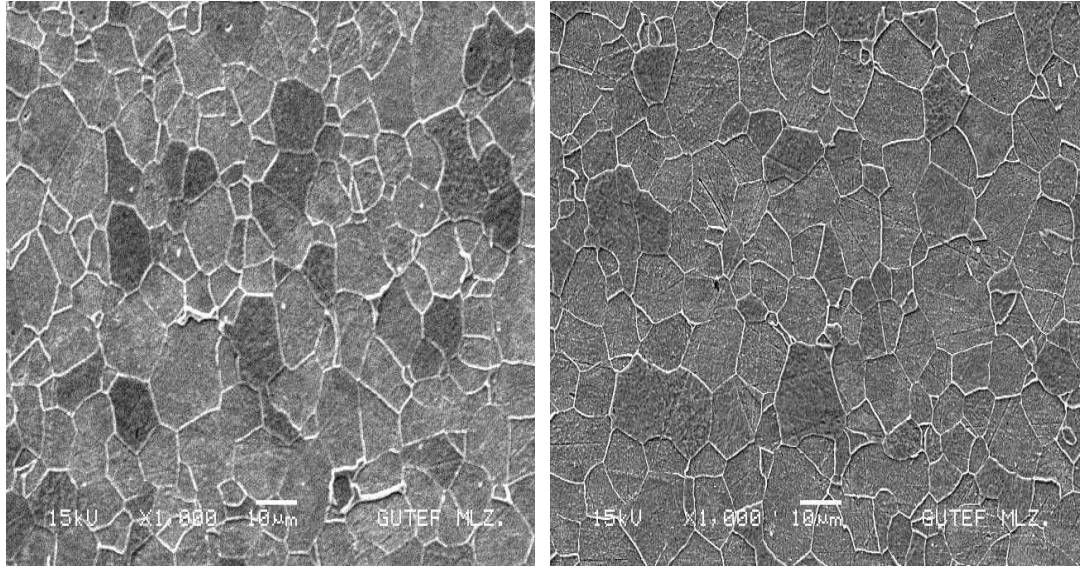
(b)

Resim 5.11. 4237 kalite numaralı rulonun 400. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri, a) (1000X) b) (1000X)



Resim 5.12. 4237 kalite çelikte 400. metrede yapının demir ve karbon haritaları

420. metre,

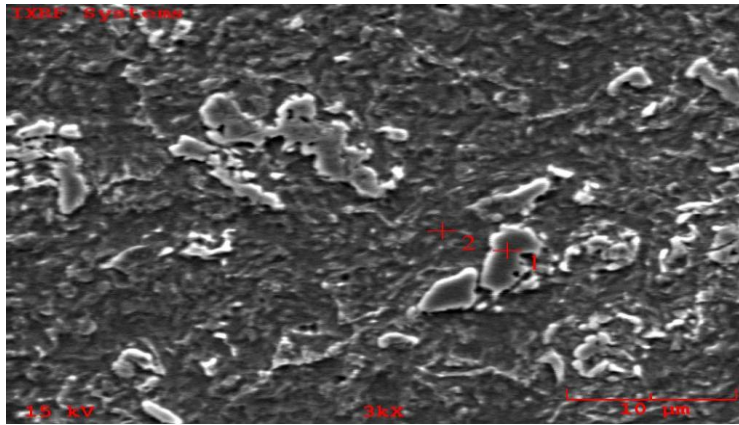


(a)

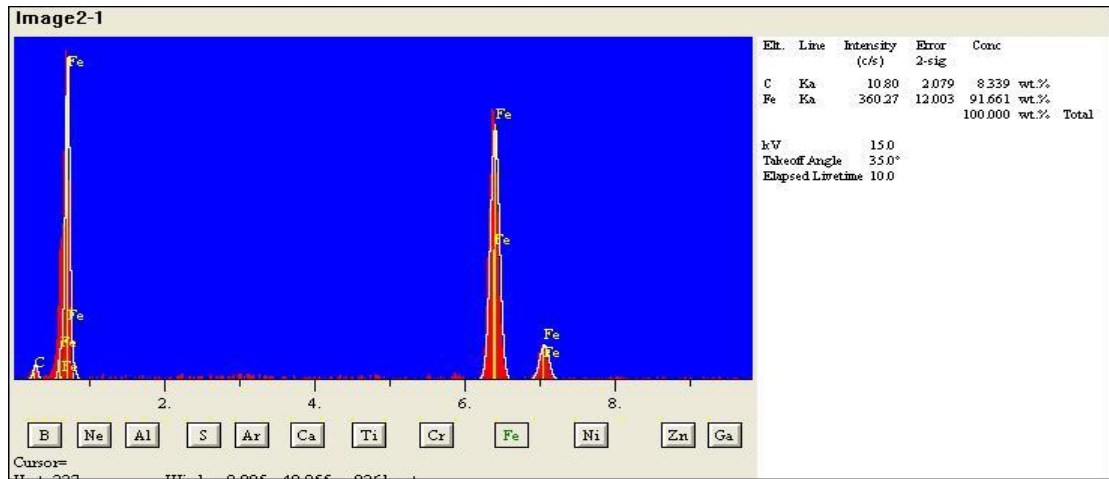
(b)

Resim 5.13. 4237 kalite numaralı rulonun 420. metresinden alınan numunedeki SEM görüntüleri a) (1000X) b) (1000X)

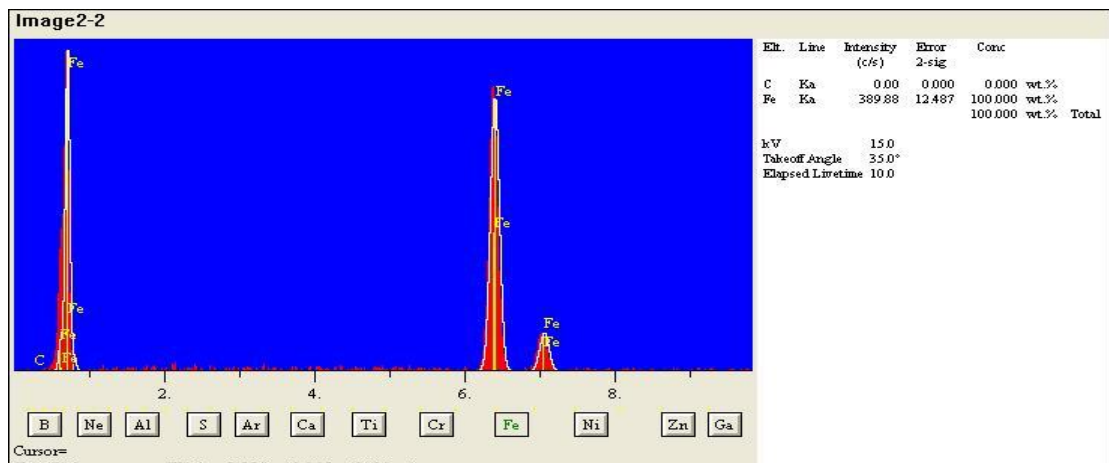
Mesafelere göre EDS analiz sonuçları,



(a)

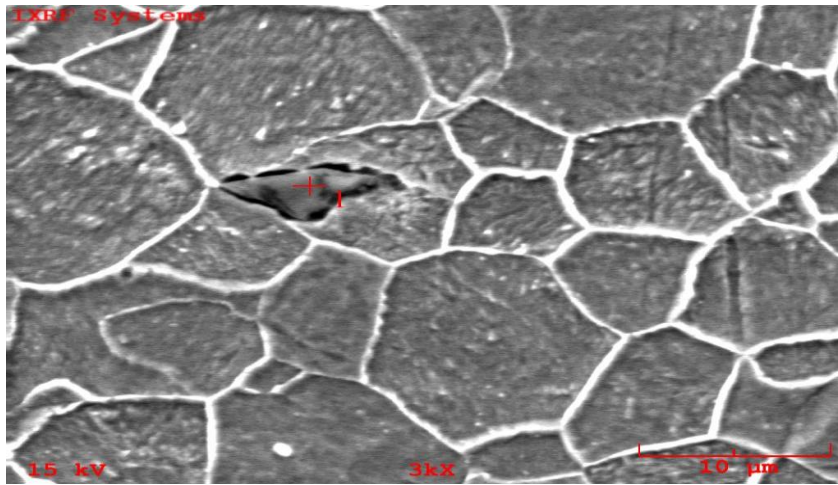


(b)

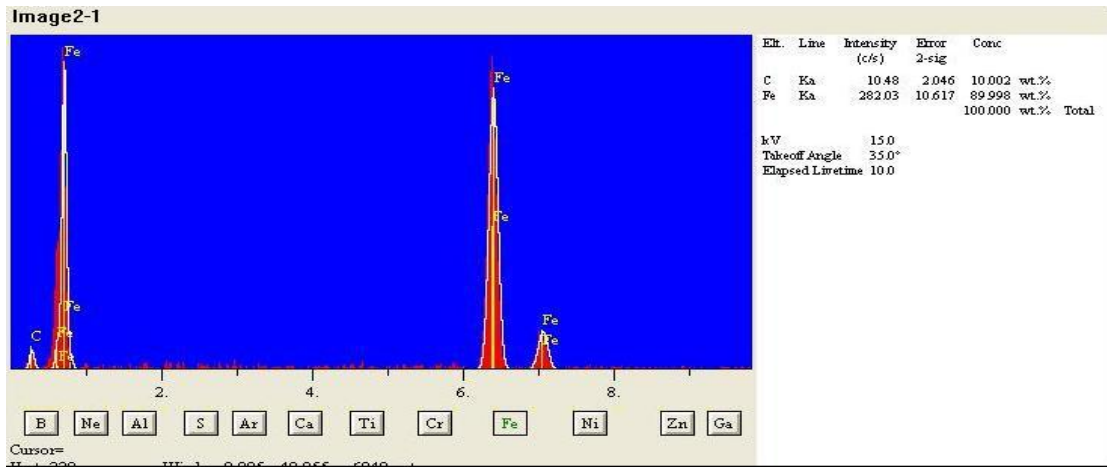


(c)

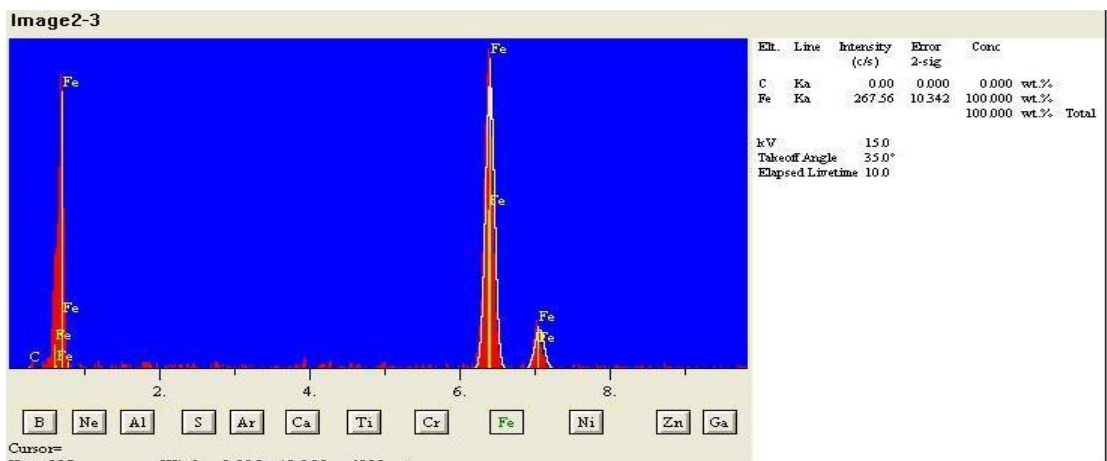
Resim 5.14. 4237 kalite çeliğin 40. metresinden alınan numune a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analiz sonucu ve c) 2 noktasındaki EDS analiz sonucu



(a)

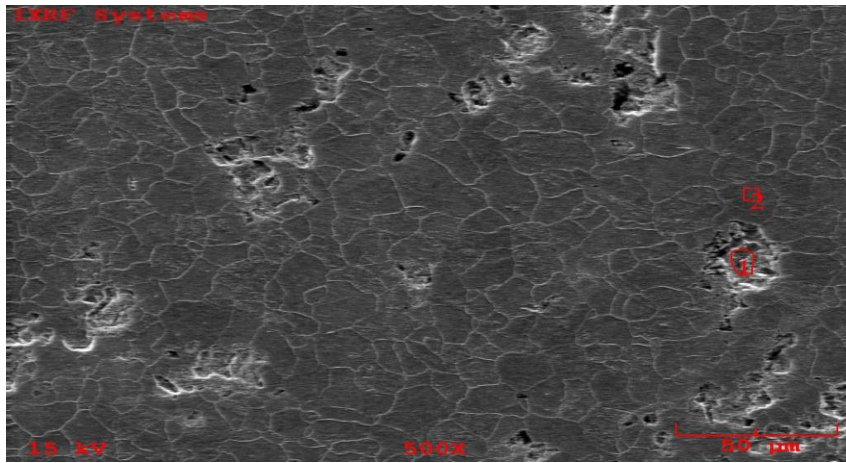


(b)

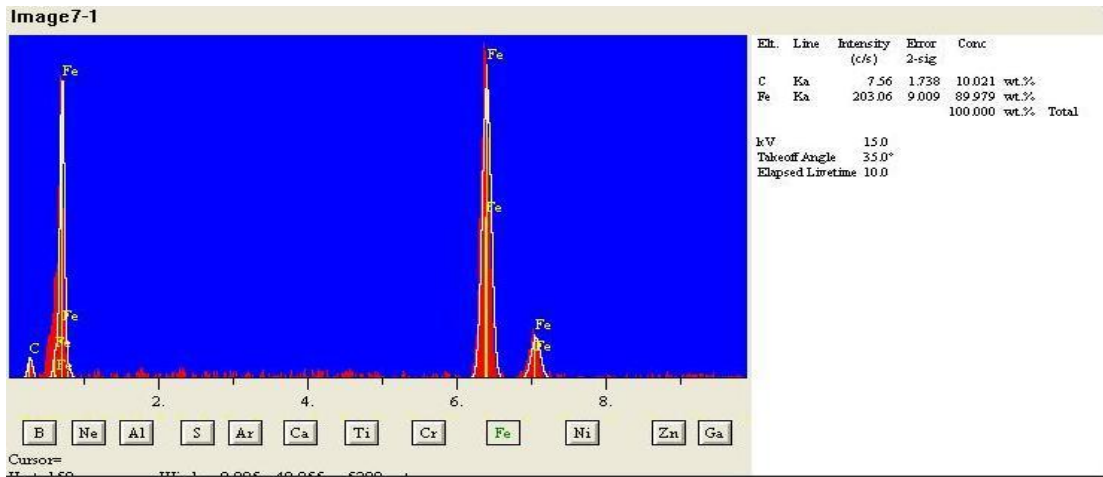


(c)

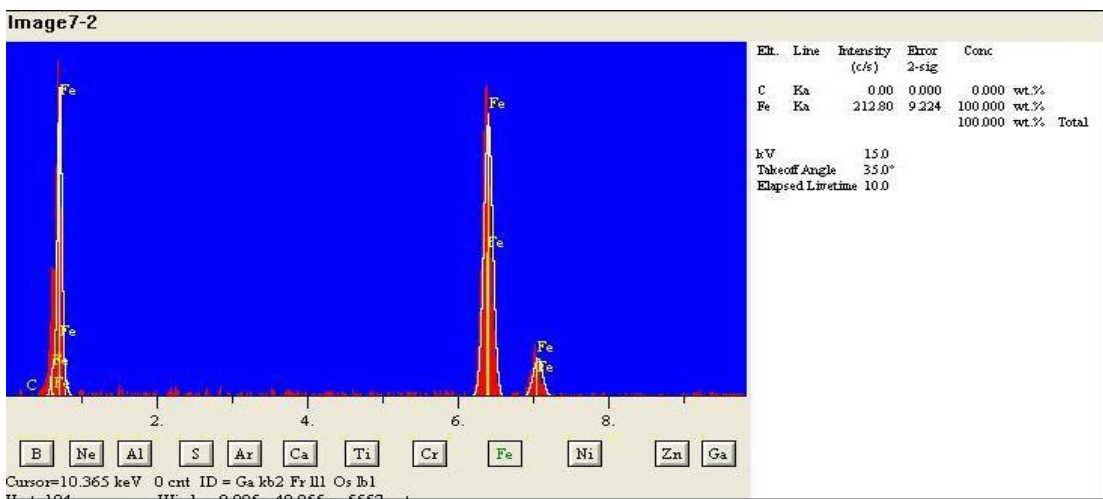
Resim 5.15. 4237 kalite çelikte 120. metrede, a) mikro yapıda gözlenen inklüzyon b) inklüzyon gözlenen noktadaki EDS analiz sonucu, c) inklüzyon gözlenmeyen noktadaki EDS analiz sonucu



(a)

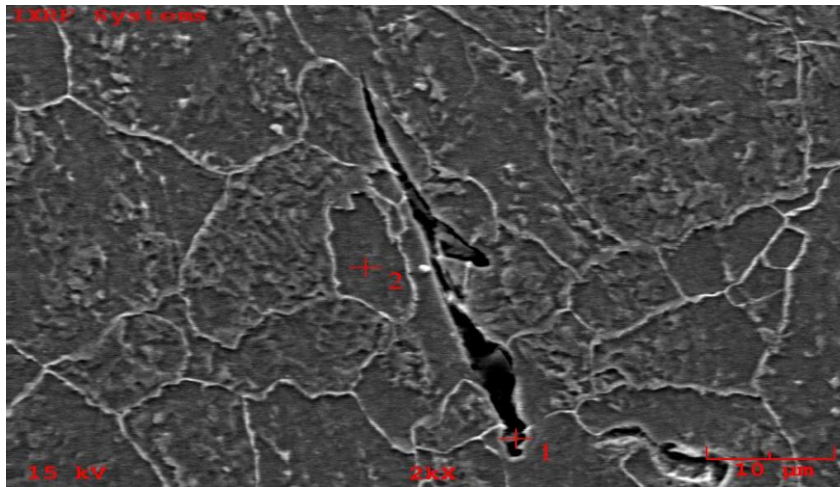


(b)

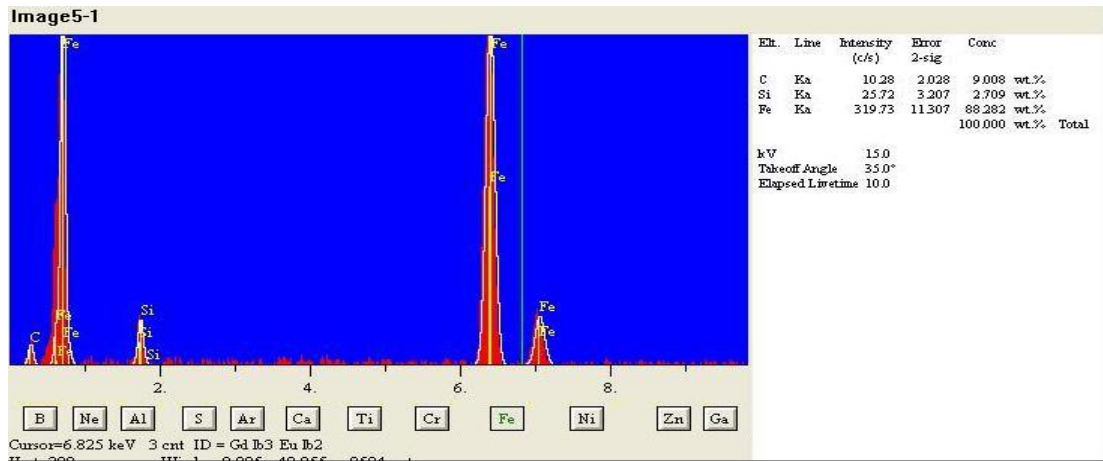


(c)

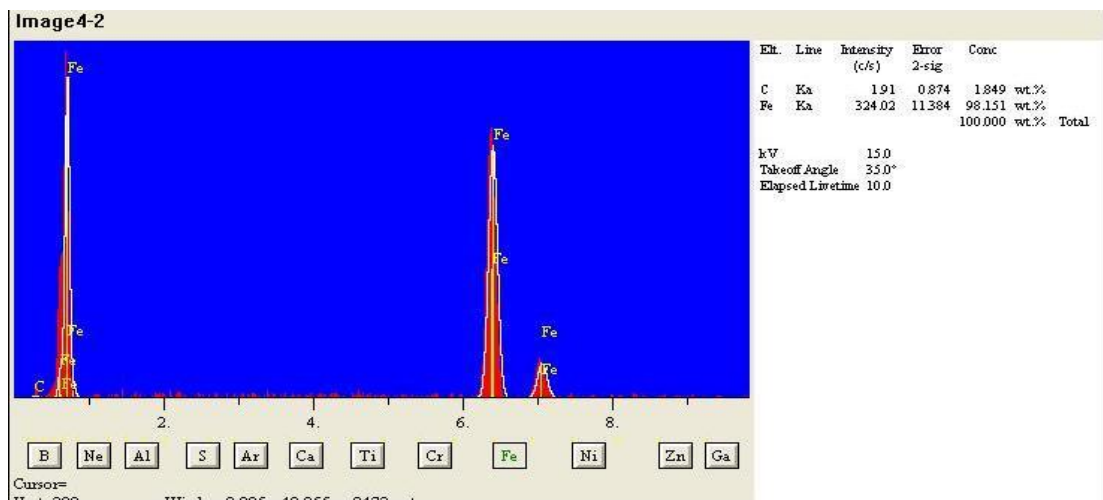
Resim 5.16. 4237 kalite çelikte 160. metrede, a) mikro yapıda gözlenen inklüzyon, b) inklüzyon gözlenen noktadaki EDS analiz sonucu, c) inklüzyon gözlenmeyen noktadaki EDS analiz sonucu



(a)

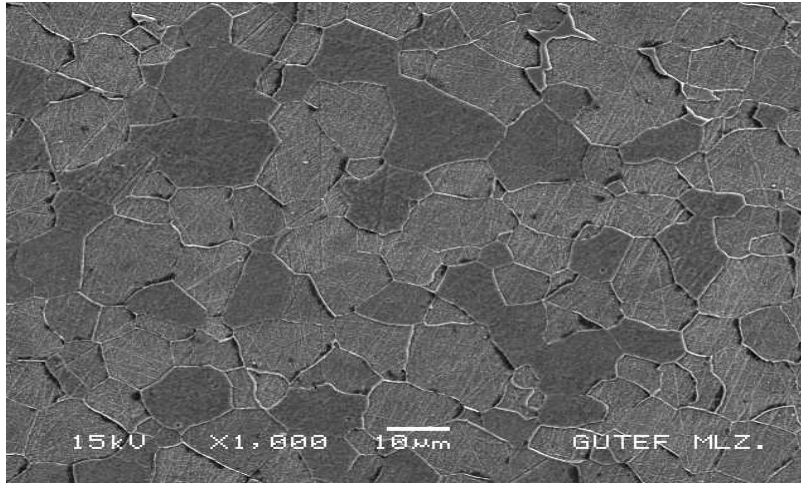


(b)

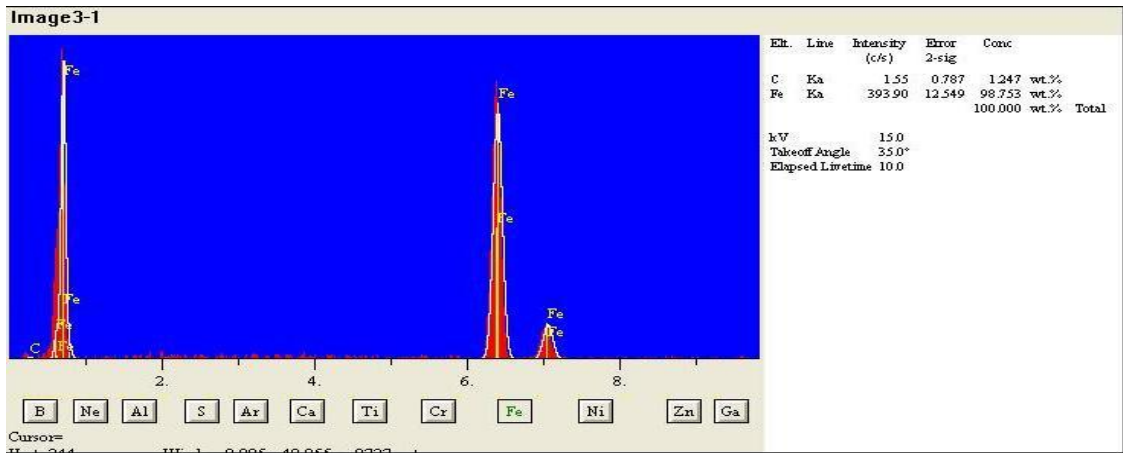


(c)

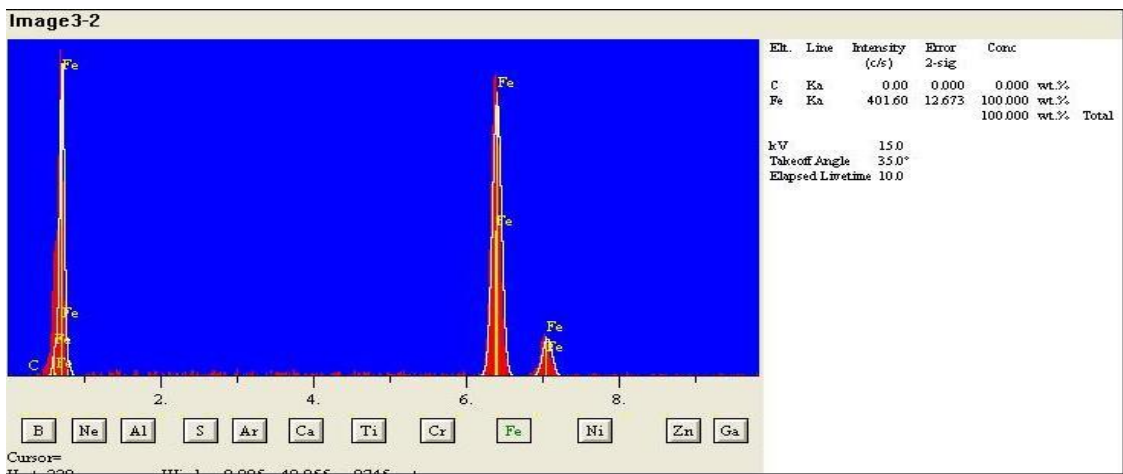
Resim 5.17. 4237 Kalite çelikte 240. metrede, a) tane yapısında gözlenen inklüzyon, b) inklüzyon gözlenen noktadaki EDS analiz sonucu, c) inklüzyon gözlenmeyen noktadaki EDS analiz sonucu



(a)

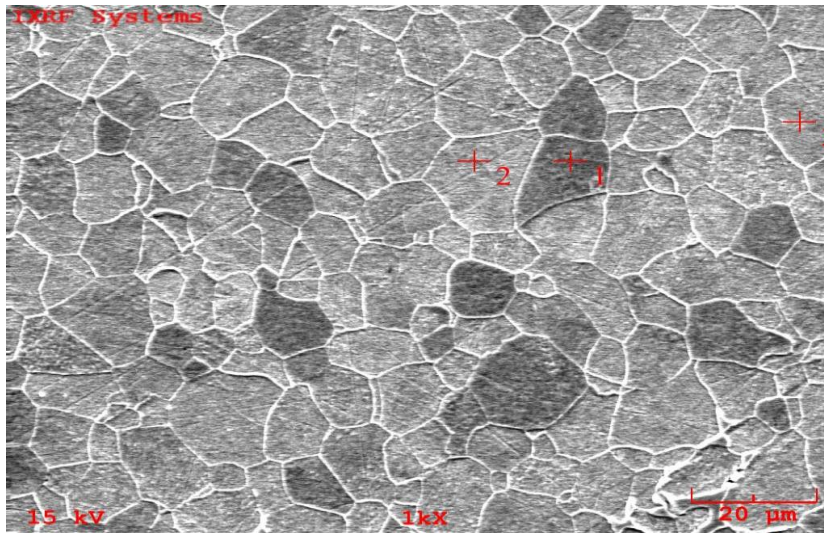


(b)

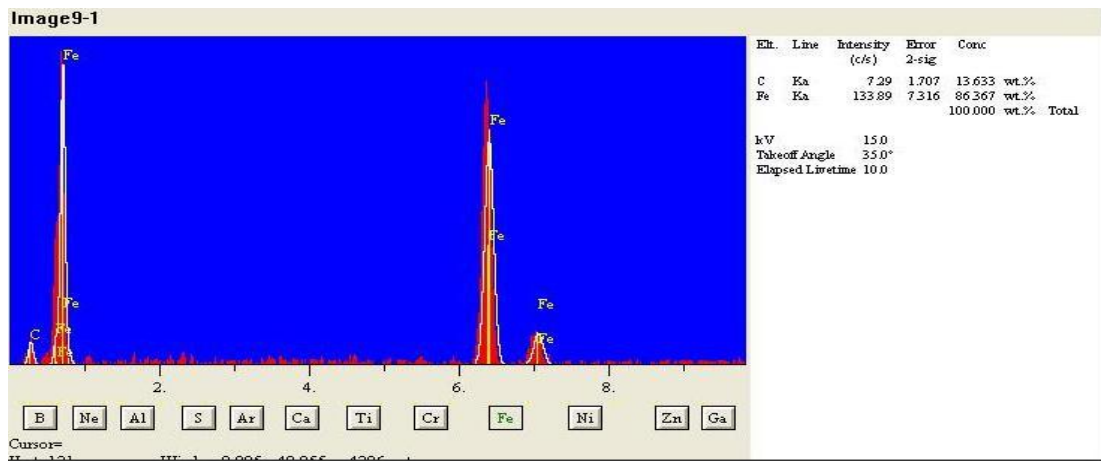


(c)

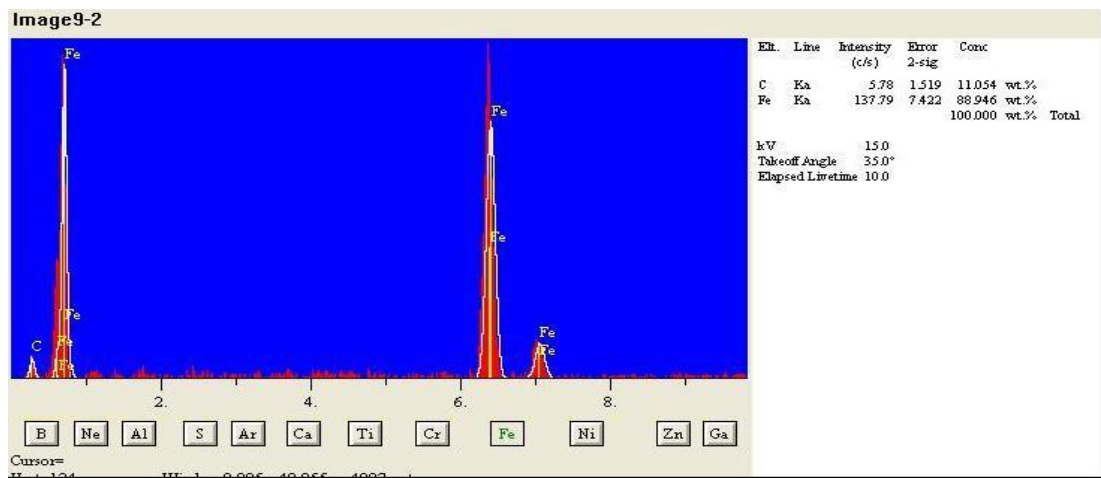
Resim 5.18. 4237 kalite çelikte 400. metrede a) SEM görüntüsü, b) koyu renkli taneye ait EDS analiz sonucu, c) açık renkli taneye ait EDS analiz sonucu



(a)

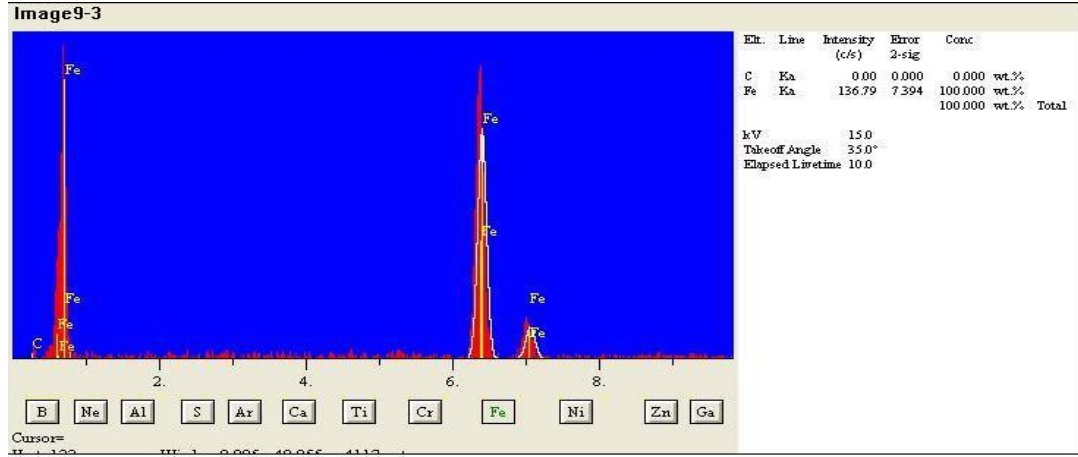


(b)



(c)

Resim 5.19. 4237 kalite çelikte 420. metrede, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasında yapılan EDS analiz sonucu, c) 2 noktasında yapılan EDS analiz sonucu



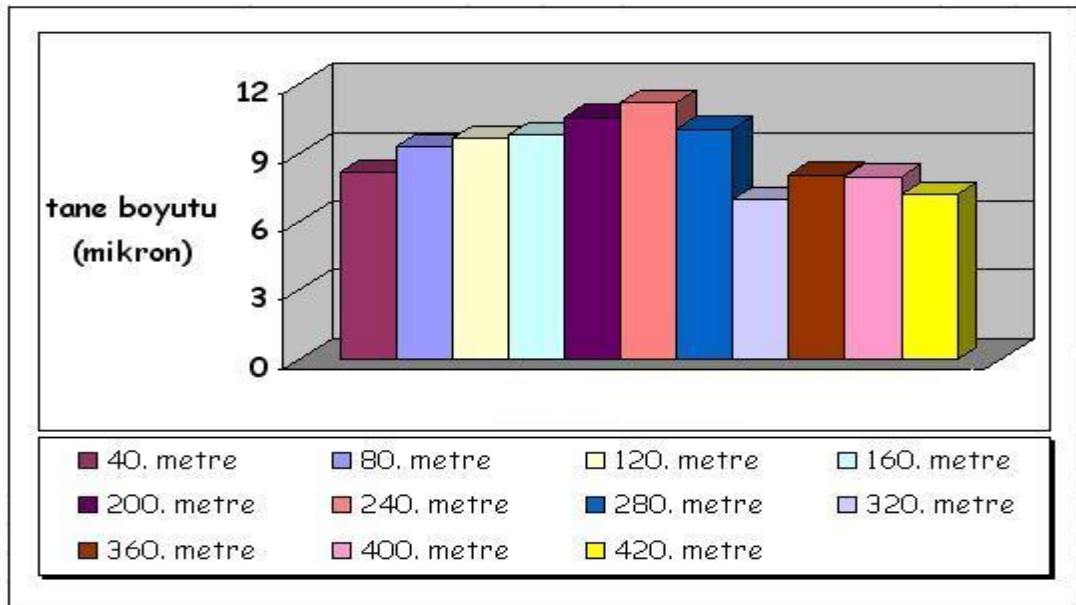
(d)

Resim 5.19 (devam). 4237 kalite çelikte 420. metrede, d) 3 yapılan EDS analiz sonucu

Her bir numune için ölçülen ortalama tane çapları aşağıdaki gibidir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. 4237 kalite çelikte mesafelere göre tane boyutundaki değişim

mesafe (m)	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	420
tane boyutu (mikron)	8,19	9,33	9,69	9,85	10,61	11,26	10,09	7,03	8,08	8,00	7,24



Şekil 5.1. Tane boyutu ile uzunluk arasındaki ilişki

SEM görüntüleri sac bobinlerde rulo kırığı şiddetinin, sıcaklığın daha uzun süre etkidiği bölümlerde yani rulonun iç kısımlarında daha fazla olduğunu göstermektedir.

SEM görüntüleri ile tane boyutları arasındaki karşılaştırmadan ve bunlardan elde edilen Çizelge 5.2' de gösterildiği gibi yüksek sıcaklığın uzun süre etkidiği 120. – 280. metreler arasında tane yapısında büyüme gözlenmiştir. Bu bölgelerin akma mukavemetleri diğer kısımlara kıyasla daha düşük olması beklenir. Literatürden [1, 8, 14] tane boyutu büyük olan kısımlar daha düşük gerilmelerde deformasyona uğrayacağı göz önüne alındığında rulonun iç kısımlarında rulo kırığı kusurunun gözlenme olasılığı daha yüksektir.

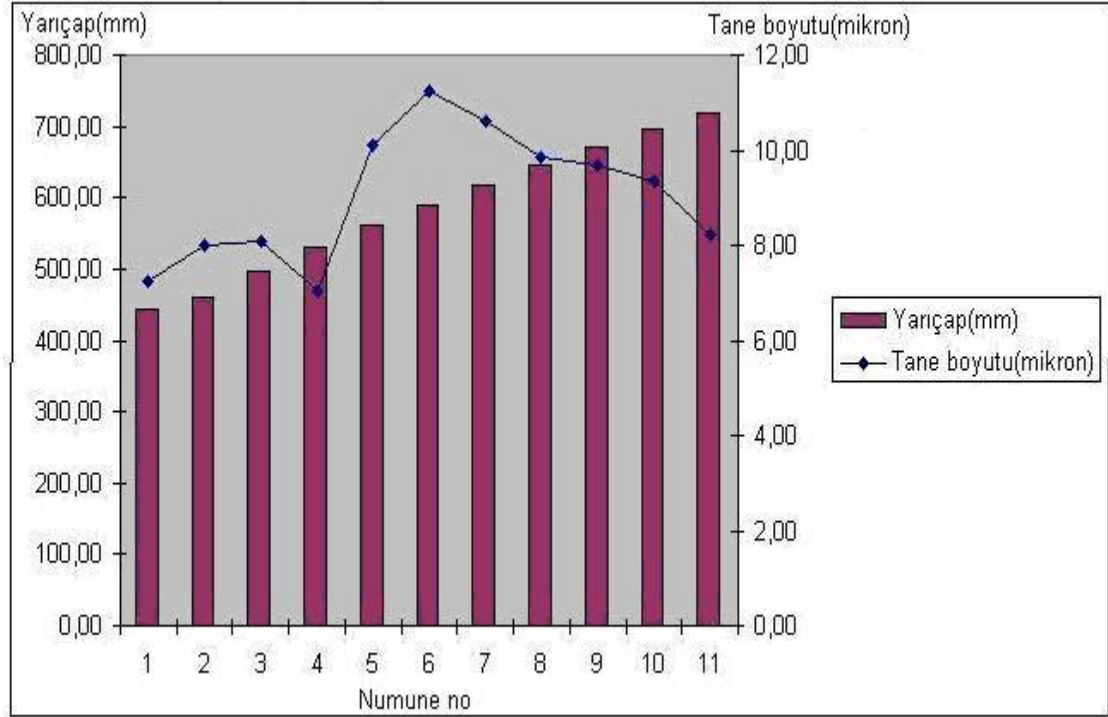
5.2.1. Rulo çapı ile tane boyutu arasındaki ilişki

Rulo üzerinde tane boyutları ölçülen numuneler doğrusal mesafelere göre alınmıştır. Doğrusal uzunlukların rulo üzerinde hangi yarıçap değerine karşılık geleceği lineer kesişme metodu ile hesaplanmıştır (Çizelge 5.3).

Yarıçap artışı ile tane boyutu arasındaki ilişki Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Rulo çapı ile tane boyutu arasındaki ilişki

Yarıçap(mm)	442,68	461,41	496,75	529,75	560,80	590,23	618,25	645,06	670,80	695,59	719,52
Tane boyutu(mikron)	7,24	8,00	8,08	7,03	10,09	10,26	10,61	9,85	9,69	9,33	8,19



Şekil 5.2. Rulo çapı ile tane boyutu arasındaki ilişki

Çizelge 5.3 'de rulo yarıçapının büyümesi ile tane boyutunun arttığı gösterilmektedir. Bu durum rulonun iç kısımlarında daha iri tane yapısı meydana geldiğini göstermektedir. Bunun nedeni iç bölgelerde soğumanın daha yavaş gerçekleşmesi ve dolayısı ile yüksek sıcaklığın daha uzun süre etkimesi sonucunu ortaya çıkartmaktadır ve tane yapısının irileşmesine neden olmaktadır. İri taneli yapının akma mukavemeti daha düşük olduğundan ince taneli yapıya göre daha fazla rulo kırığı oluşma riski taşımaktadır.

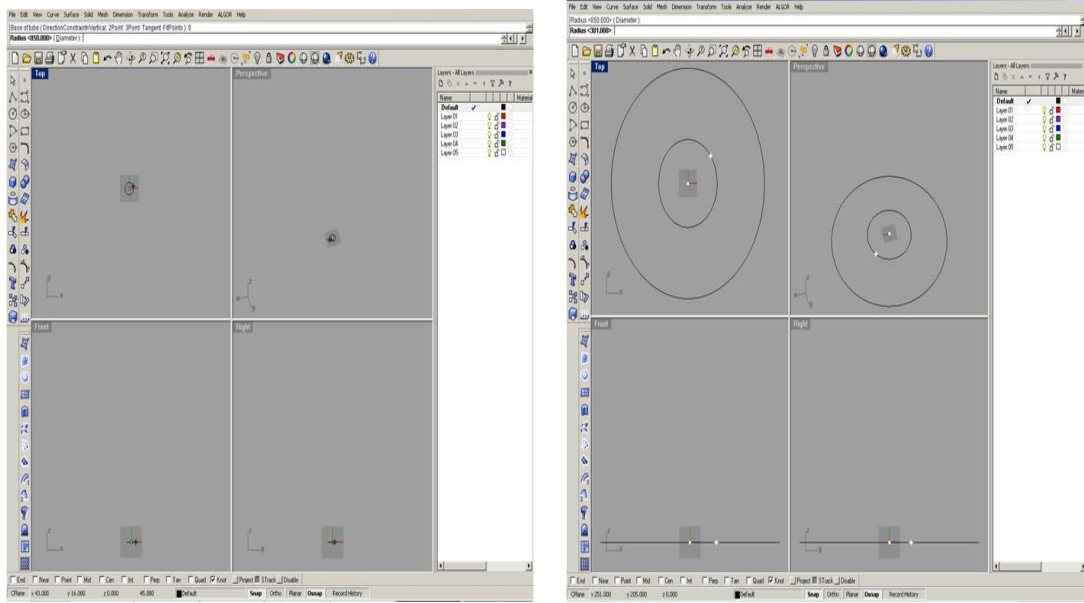
5.3. Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları ve İrdelenmesi

750 °C sıcaklıktaki 1700 mm çapındaki rulo üzerinde rulo kırığı kusuru gözlemlendiğini deneysel çalışmalar göstermektedir. İç kısımlarda kırık şiddetinin daha fazla olduğu gerçeğinden bu bölgelerde yüksek sıcaklığın bu bölgelerde daha

uzun süre etkidiği gerçeği temel alınarak, önce 1400 mm çapa sahip rulonun daha sonra da sırasıyla 1500 ve 1700 mm çaplarına sahip ruloların soğuma grafikleri incelenmiştir. Burada çap değerindeki değişimin sıcaklığa etkisi analiz edilecektir. Soğuma grafikleri ile sıcaklığın rulonun hangi bölgelerinde daha uzun süre etkidiği anlaşılmaya çalışılmıştır.

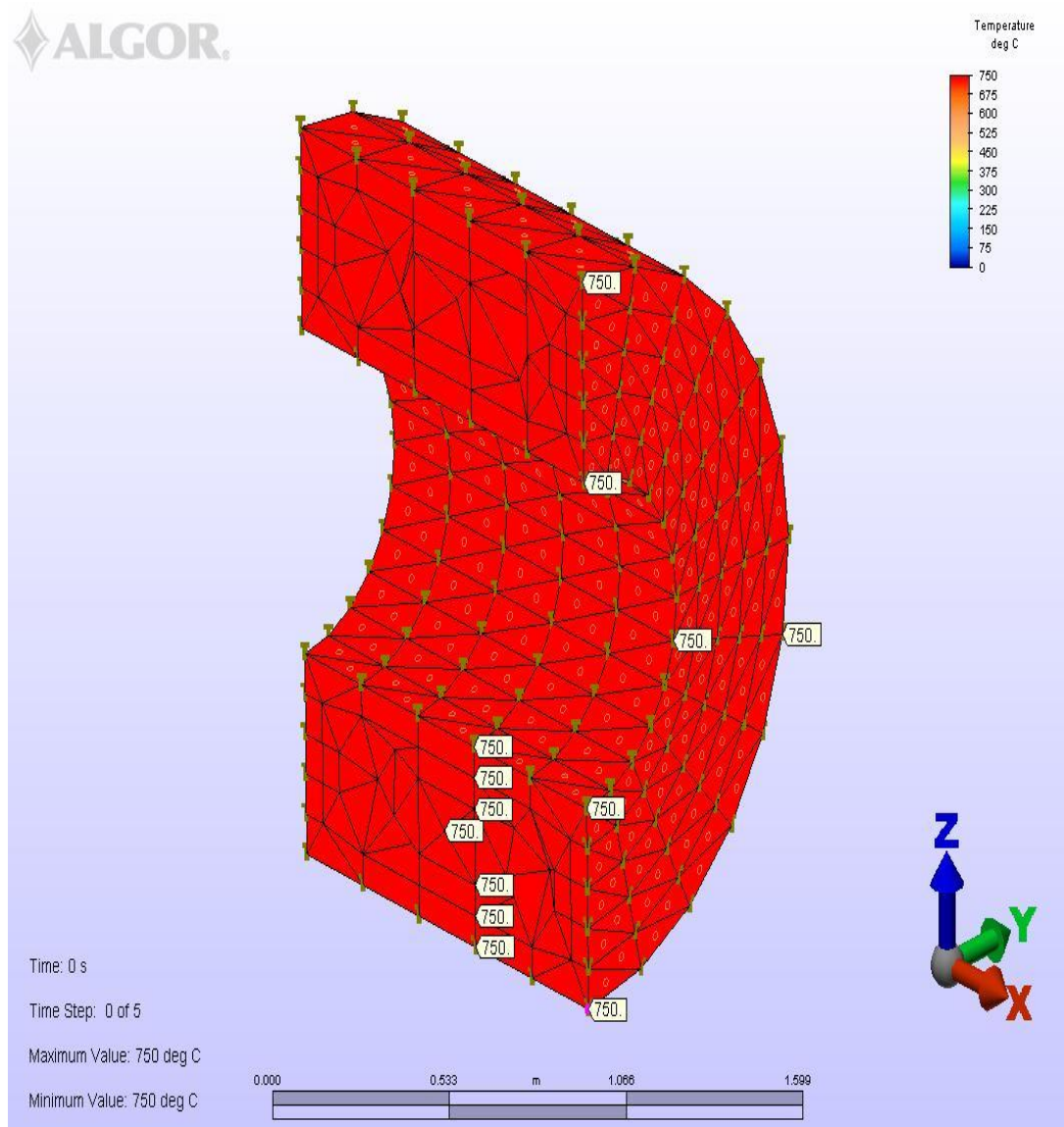
Yapılan analizde taban yalıtımı bilinmediğinden, parçanın havada askıda bulunduğu düşünülerek analiz gerçekleştirilmiştir.

Rulonun analiz aşamaları kısaca Resim 5.20’de gösterilmektedir.



Resim 5.20. Sonlu elemanlar analizi aşamaları, a) referans noktasının belirlenmesi
b) silindirin çizim aşamaları

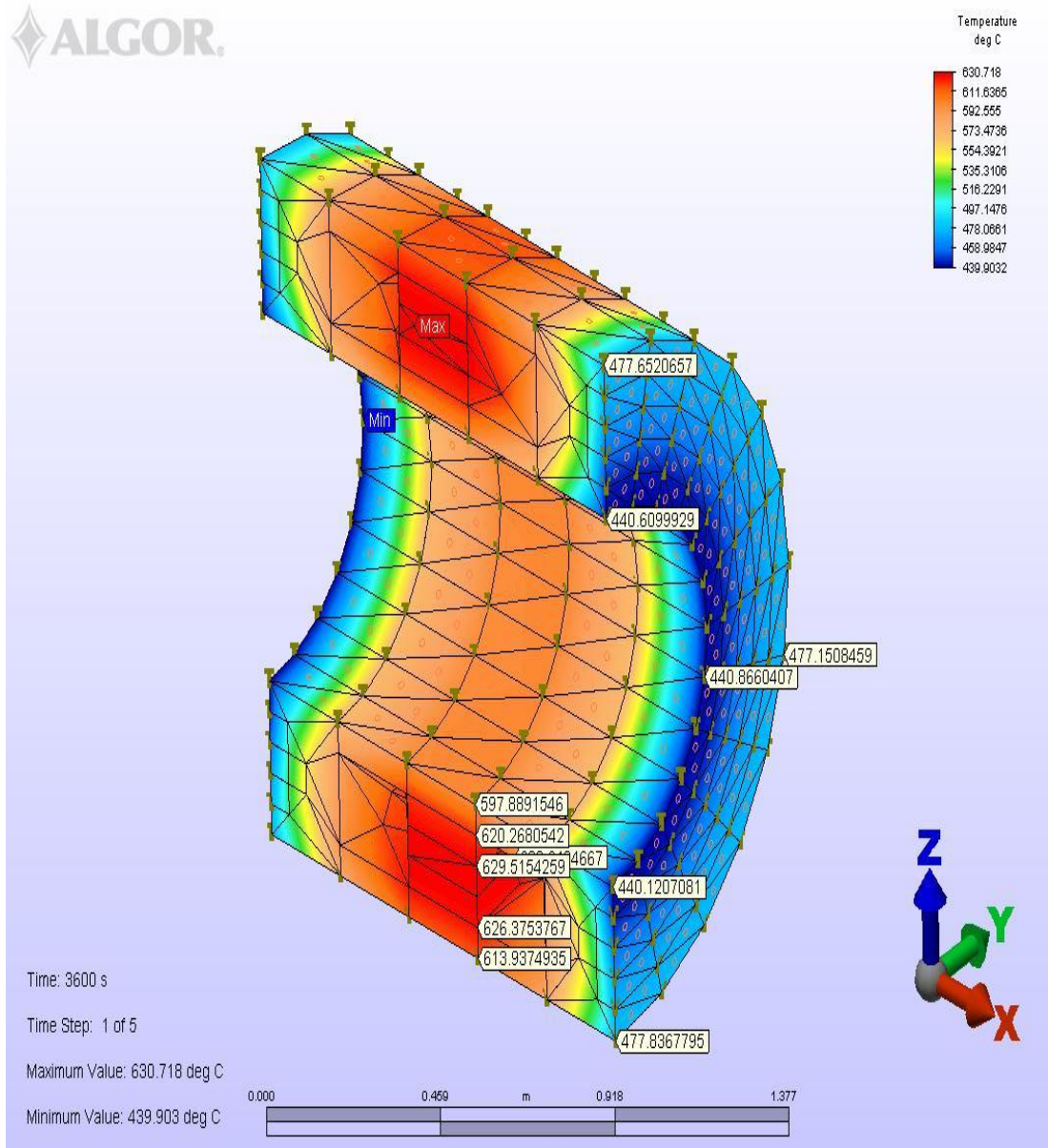
Başlangıçta 750 °C sıcaklığa sahip rulonun hava ortamında soğumaya bırakılmadan hemen önceki durumu Resim 5.21’de gösterilmektedir.



Resim 5.21. 750 °C deki rulodan alınmış kesit görüntüsü

Resim 5.21’de kesiti alınan rulonun her noktasında başlangıçta sıcaklık değeri 750 °C dir. Her bir noktanın kırmızı renkte olması da bunu göstermektedir.

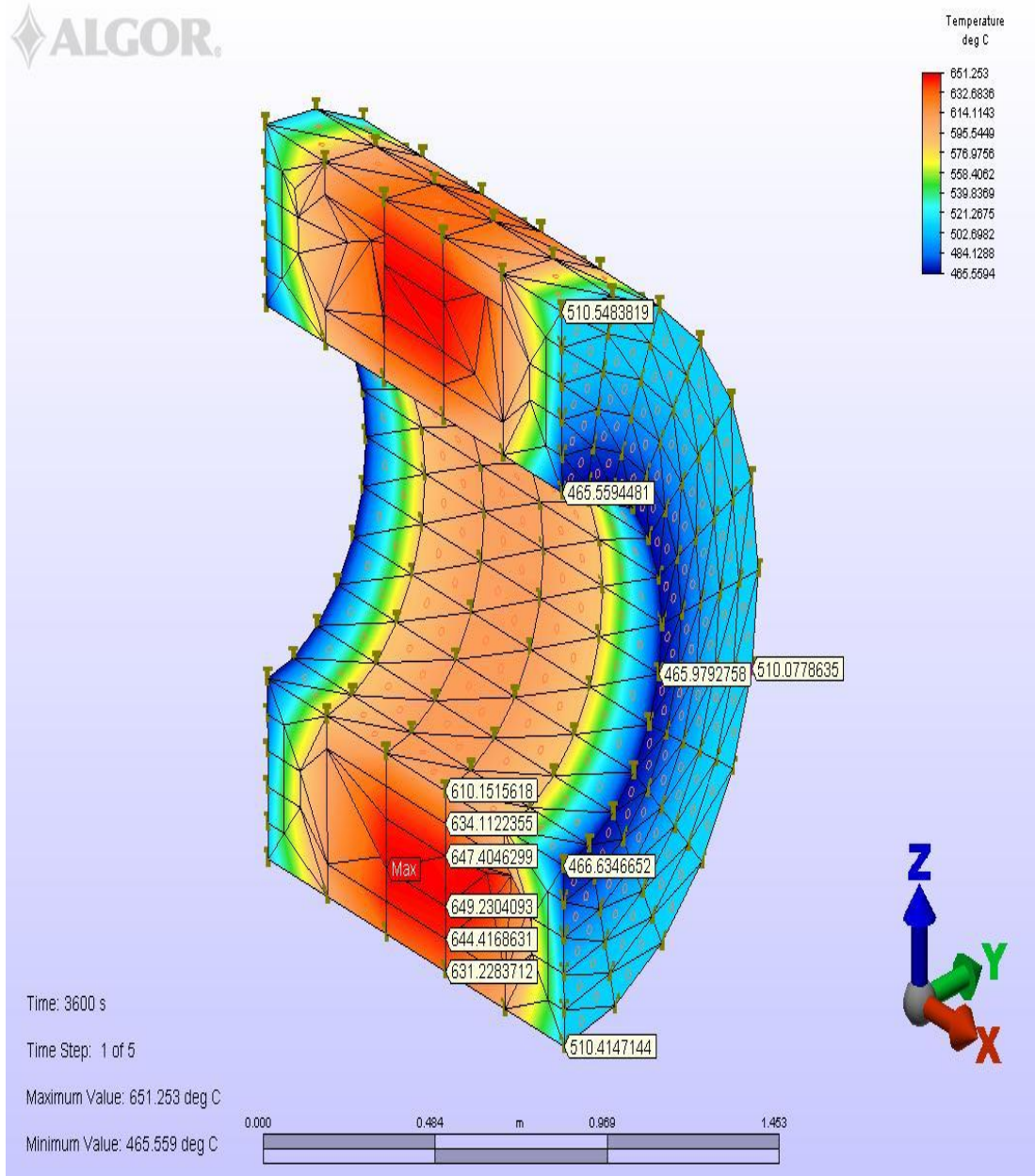
1400 mm çapa sahip rulonun soğumaya bırakıldıktan 1 saat sonundaki sıcaklık değerleri Resim 5.22’de gösterilmektedir.



Resim 5.22. 1400 mm dış çapa sahip rulonun 1 saat sonraki sıcaklık değerleri

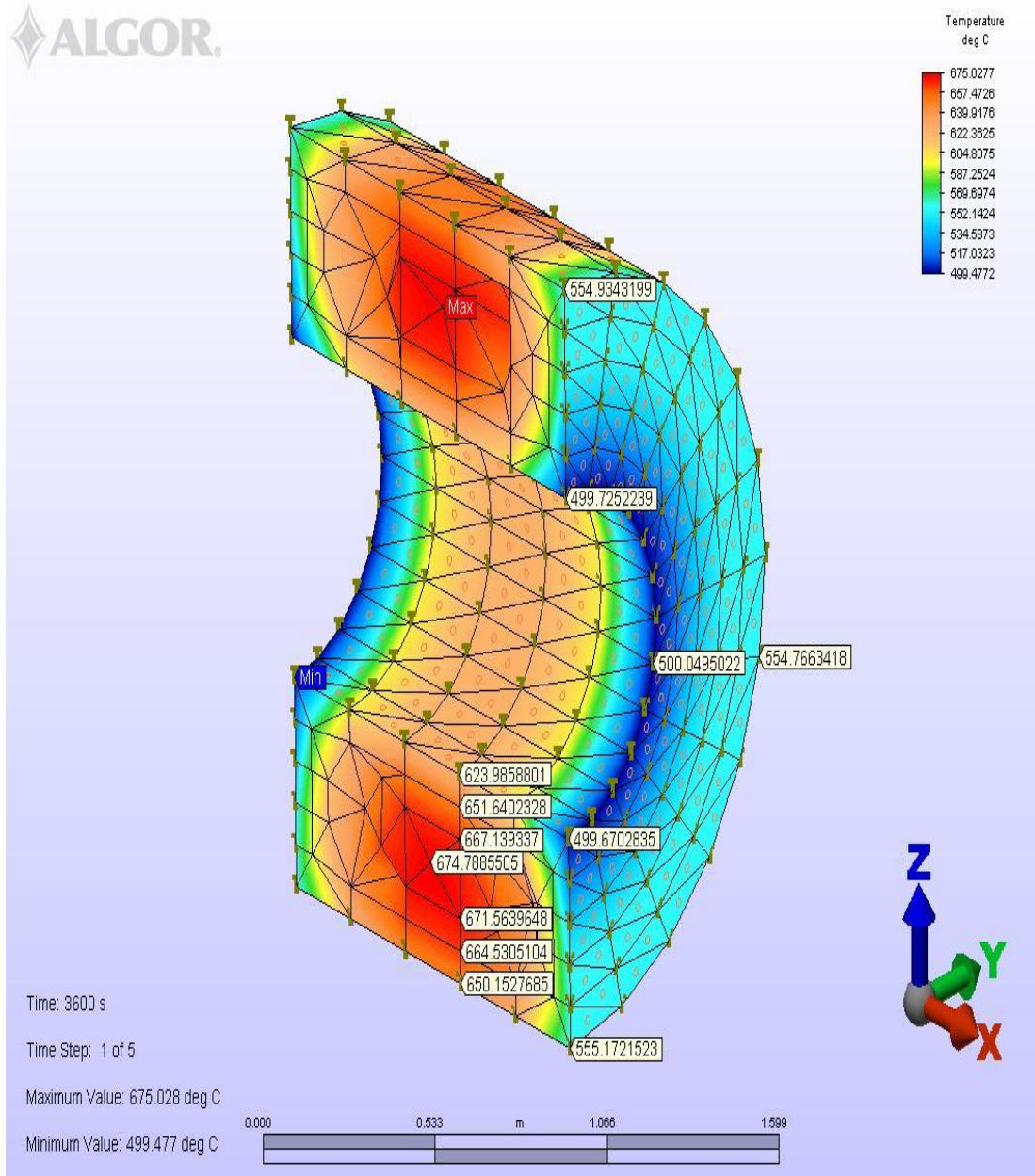
Resimdeki renk dağılımı o bölgedeki sıcaklık değerlerini ifade etmektedir. Kırmızı olan bölgeler en sıcak, mavi olan bölgeler ise en soğuk kısımları ifade etmektedir. Rulonun kenarlarında soğuma daha hızlı gerçekleştiği için bu bölgeler koyu mavi renktedir.

Resim 5.23’de ve Resim 5.24’de sırasıyla 1500 ve 1700 mm dış çapa sahip ruloların 1 saat sonraki sıcaklık değerleri belirtilmektedir.



Resim 5.23. 1500 mm dış çapa sahip rulonun zamanla değişen sıcaklık değerleri

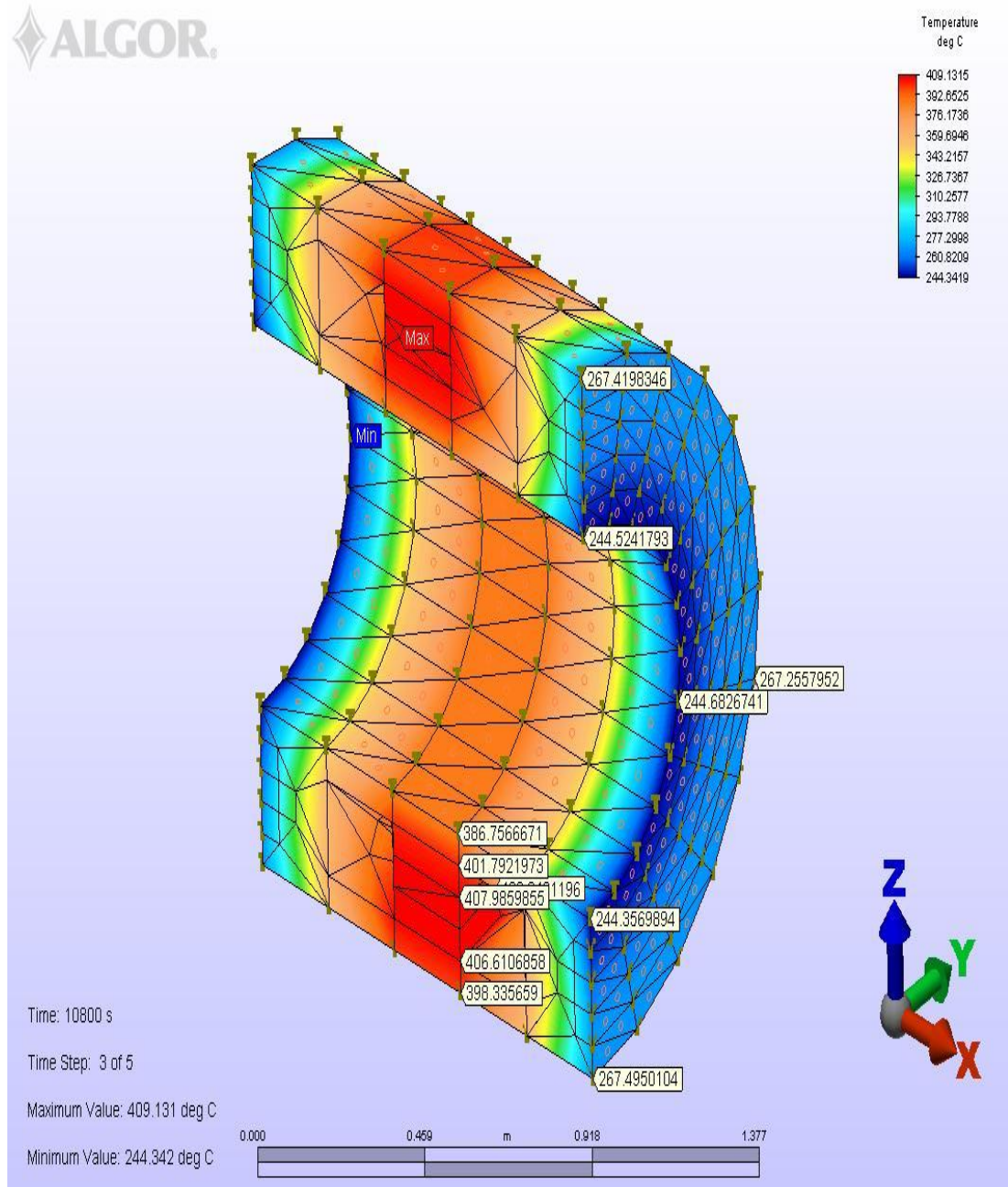
Analizler rulonun sadece dış çapında 100 mm artış yapılmasıyla birlikte tespit edilen sıcaklık değerlerinin daha yüksek çıktığını göstermektedir. Resim 5.22’de 750 °C deki rulonun hava ortamında 1 saat sonraki maksimum sıcaklığı ~630 °C iken Resim 5.23’de 1500 mm çaptaki ruloda bu değer ~651 °C dir.



Resim 5.24. 1700 mm dış çapa sahip rulonun zamanla değişen sıcaklık değerleri

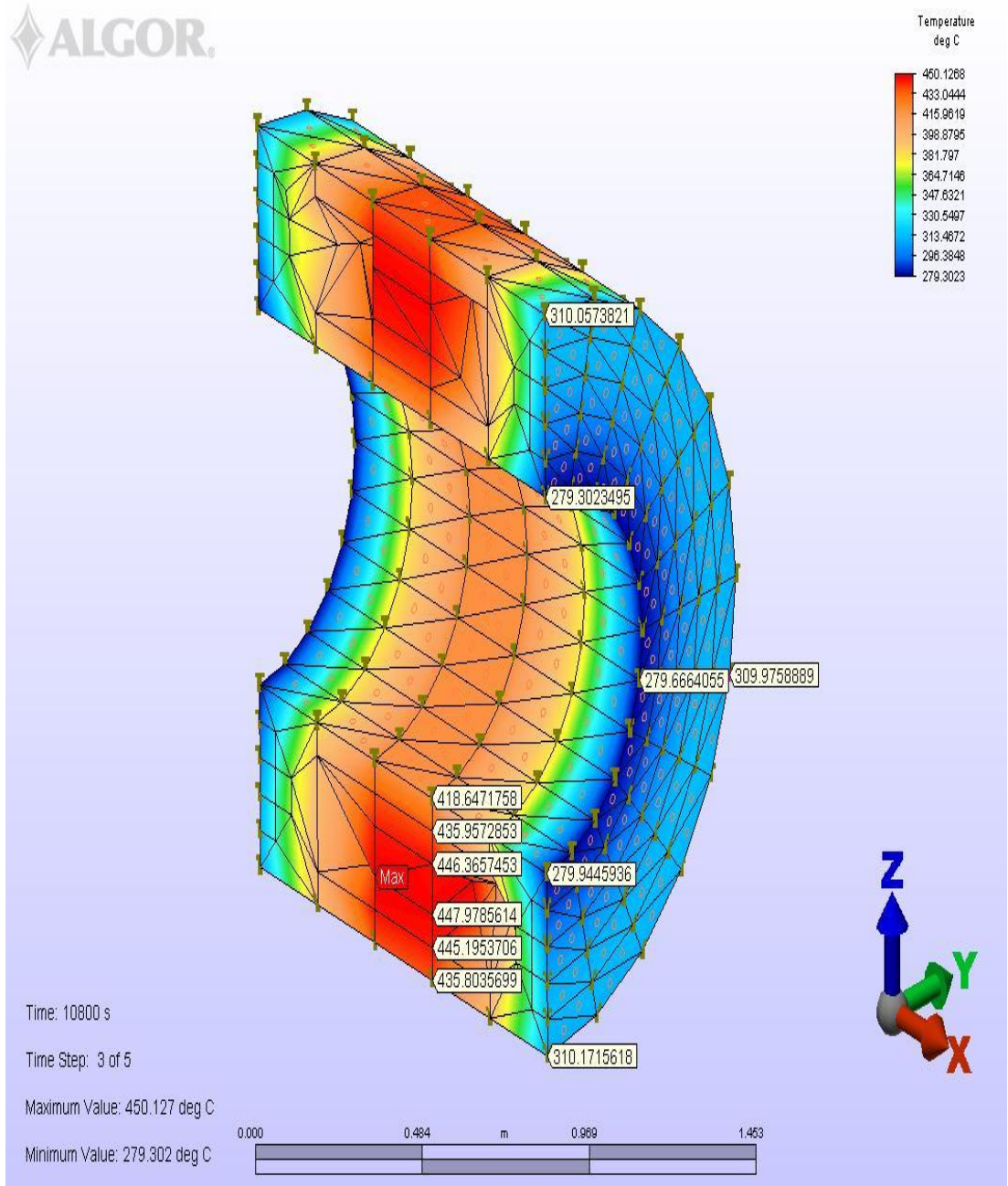
Resim 5.22 , 5.23 ve 5.24'ün karşılaştırılmasından anlaşılabileceği gibi sadece dış çaptaki artma dahi zamanla değişen sıcaklık değerlerini etkilemektedir. Çapın artması soğumayı geciktirmektedir. Düşük çapta sarılan rulolarda yüksek çaptakilere göre daha az rulo kırığı kusuru görülmesinin nedeni de bunlardan biridir.

1400, 1500 ve 1700 mm dış çapa sahip başlangıçta 750 °C sıcaklığa sahip ruloların zamanla değişen sıcaklık değerleri Resim 5.25 , 5.26 ve 5.27’de gösterilmektedir.

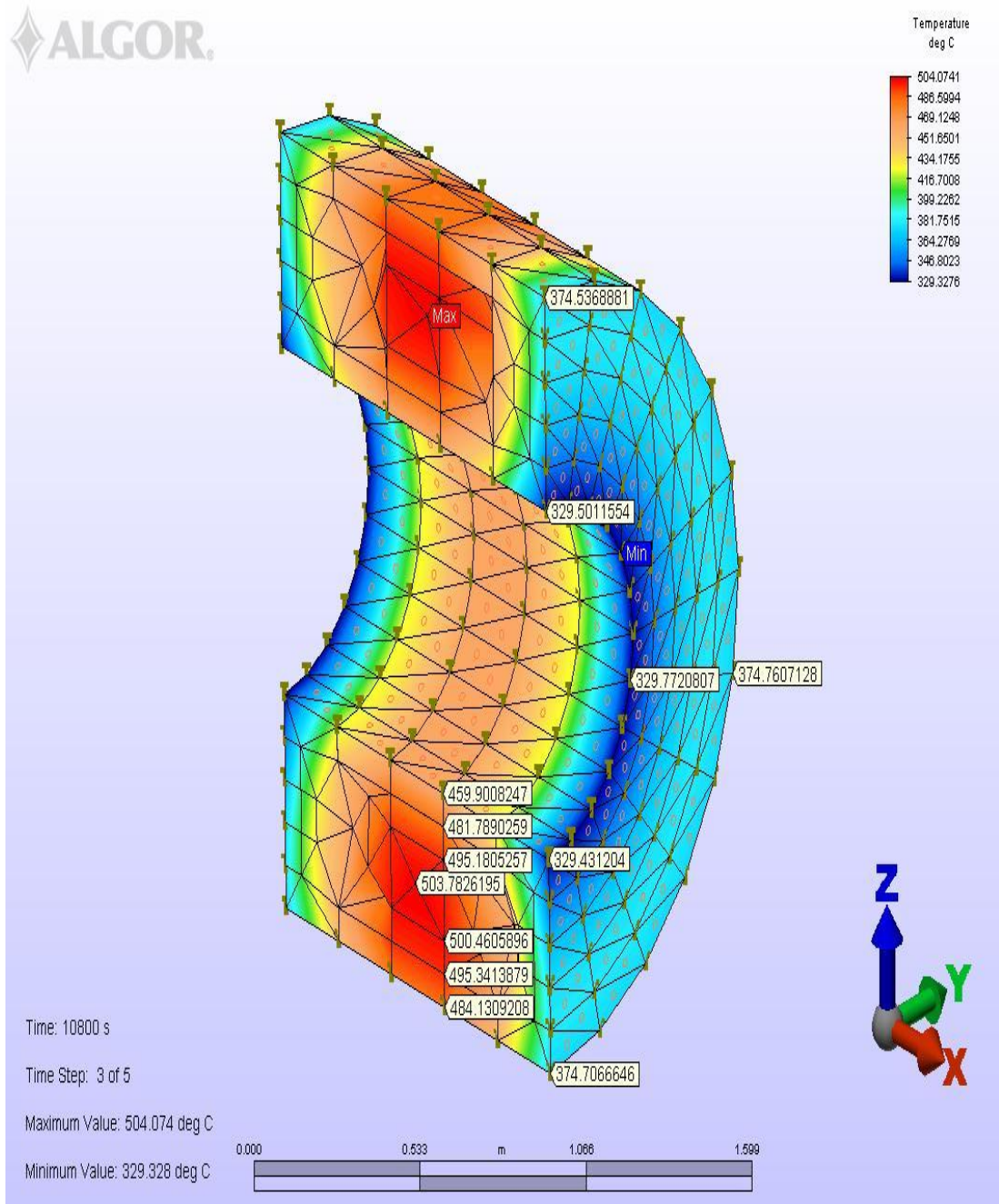


Resim 5.25. 1400 mm dış çapa sahip ruloda 3 saat sonraki sıcaklık değerleri

Farklı çaplara sahip bu ruloların 3 saat sonraki sıcaklık değerleri de farklılık göstermektedir.



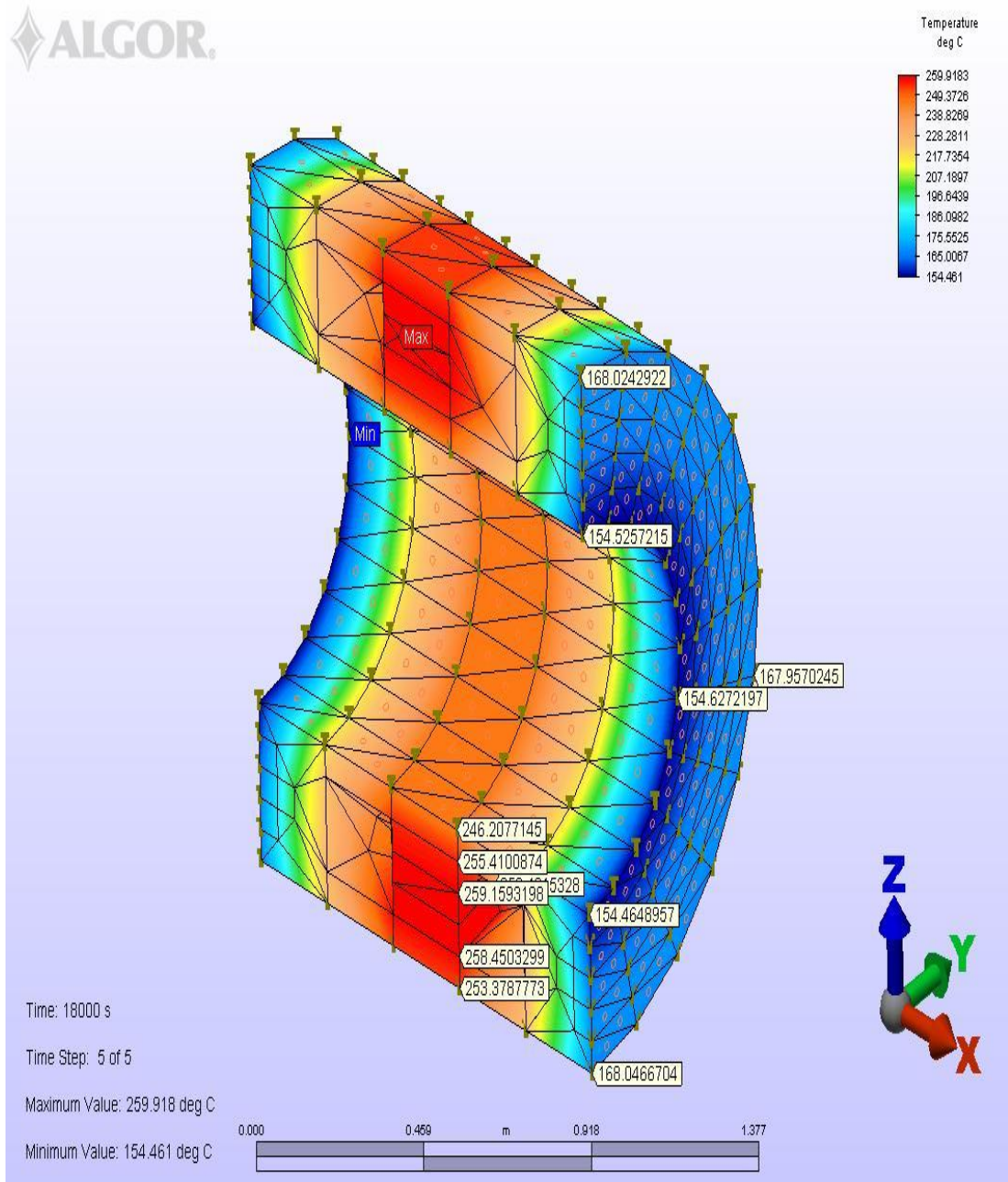
Resim 5.26. 1500 mm dış çapa sahip ruloda 3 saat sonraki sıcaklık değerleri



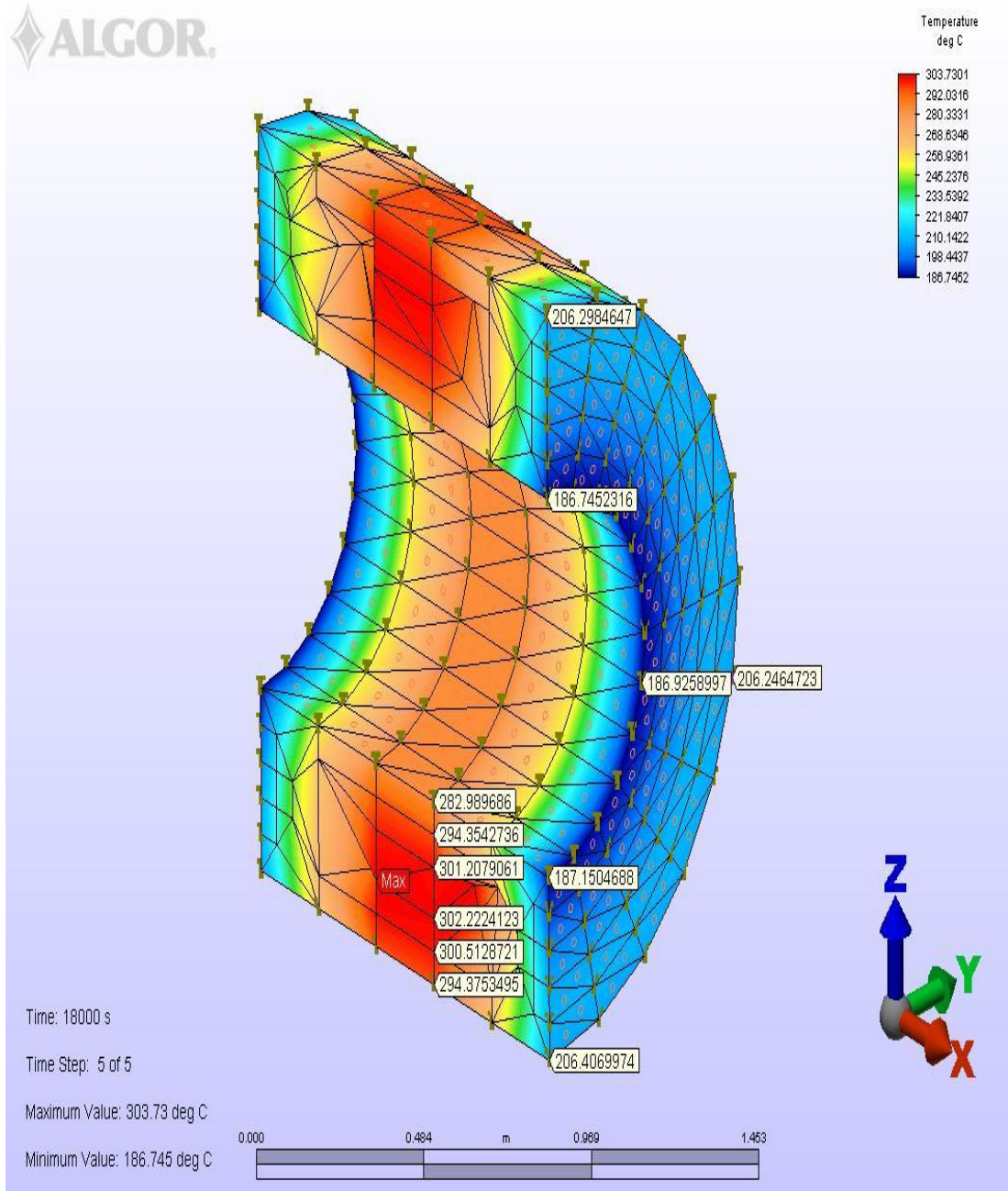
Resim 5.27. 1700 mm dış çapa sahip ruloda 3 saat sonraki sıcaklık değerleri

Aynı kimyasal özelliklere sahip başlangıçta aynı sıcaklıkta ve aynı soğuma şartlarındaki farklı çaplardaki bobinlerin soğuma zamanları farklılık göstermektedir. Dış çap değeri arttığında bobin daha geç soğuyacaktır, yani yüksek sıcaklık daha uzun süre etkiyecektir ki bu tane büyümesinin nedenlerinden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

SEM görüntüleri, sertlik değerleri ve nümerik analizler, rulo çapının artması ile veya rulonun iç kısımlarında kırığın artmasının ana etkenlerinden birinin tane boyutunun artışına bağlı olduğunu desteklemektedir.

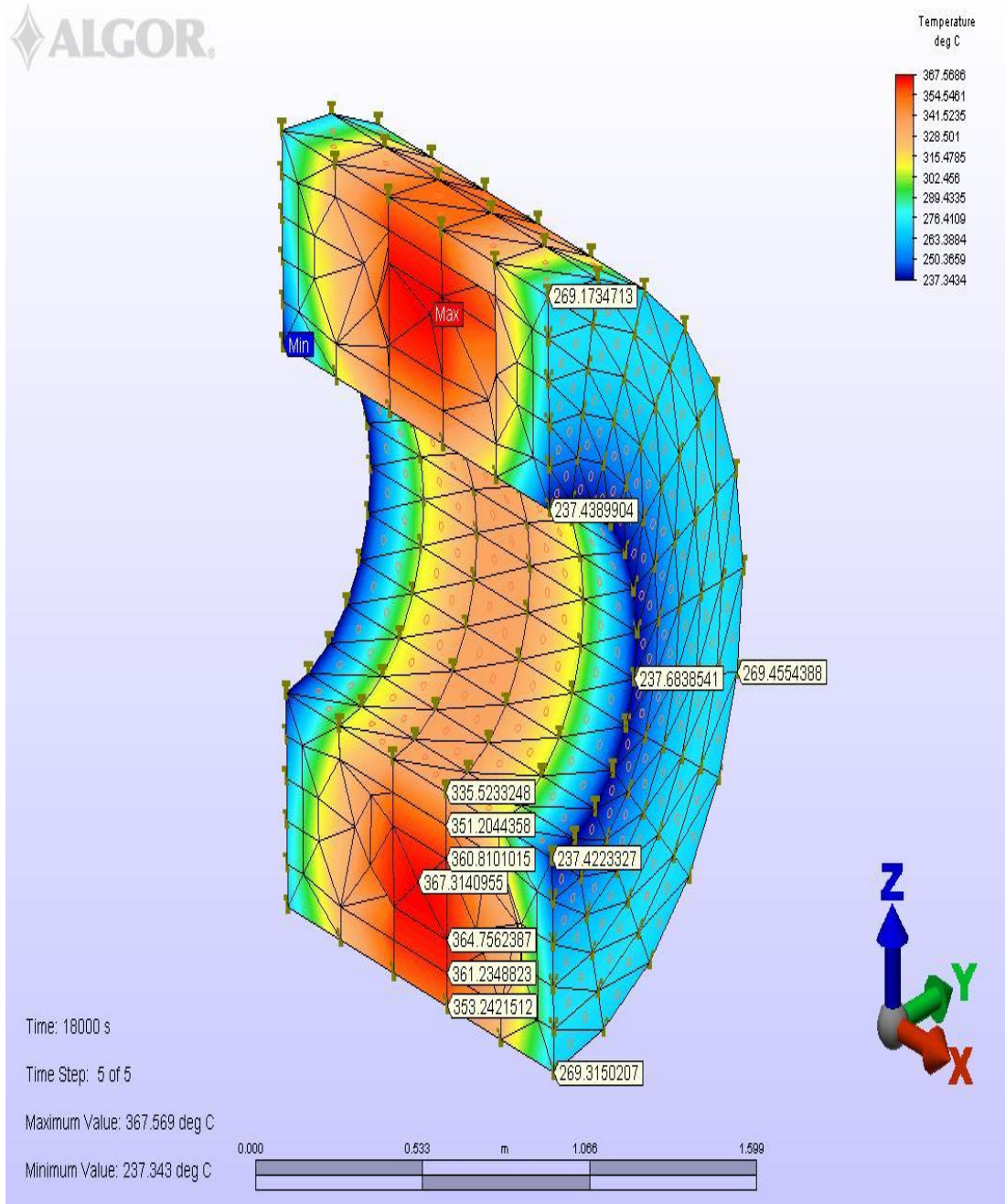


Resim 5.28. 1400 mm çaptaki rulonun 5 saat sonraki sıcaklık değerleri



Resim 5.29. 1500 mm çaptaki rulonun 5 saat sonraki sıcaklık değerleri

Resim 5.29’da kesiti alınmış rulo parçasında görüldüğü gibi her katmandaki sıcaklık değeri farklılık göstermektedir.



Resim 5.30. 1700 mm çapa sahip ruloda 5 saat sonundaki sıcaklık değerleri

Dikkat edilecek olursa Resim 5.30'da görüldüğü gibi aynı ruloda 5 saat sonunda maksimum sıcaklık $367,569^{\circ}\text{C}$ iken minimum sıcaklık $237,343^{\circ}\text{C}$ dir.

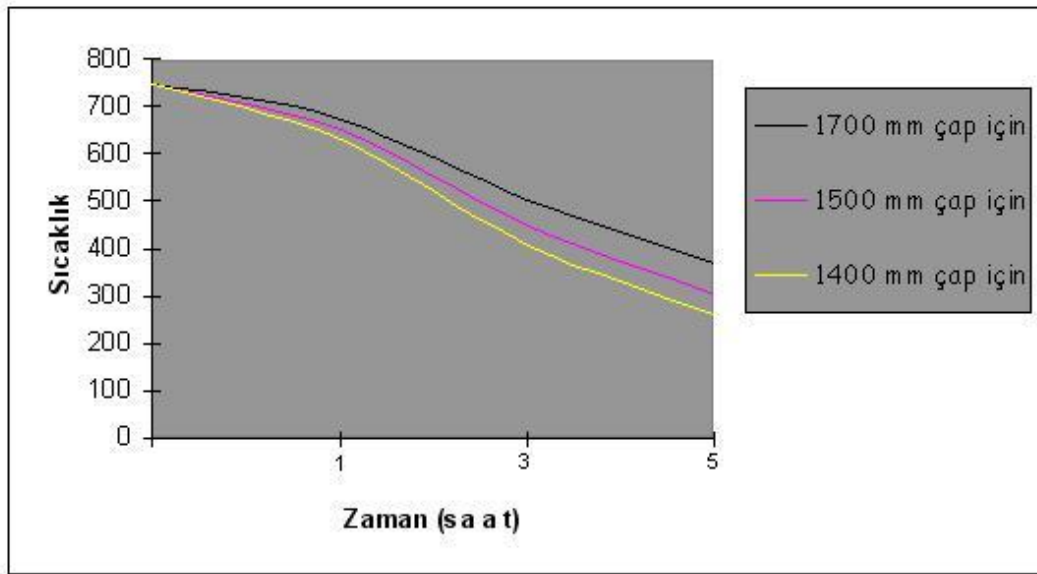
Çizelge 5.4'de çapa ve zamana bağlı olarak rulo sıcaklığındaki düşüş gösterilmiştir.

1. saat sonunda 1700 mm ve 1400 mm'lik rulonun sıcaklıkları arasındaki fark $\sim 45^{\circ}\text{C}$

dir ve bu tane büyümesine önemli derecede etki etmektedir. Bu durum Çizelge 5.4’de grafiksel olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Farklı çaptaki ruloların zamanla oluşan soğuma eğrileri

ÇAP / ZAMAN	Başlangıç	1. saat	3. saat	5. saat
1700 mm	750	675,028	504,074	367,569
1500 mm	750	651,253	450,127	303,73
1400 mm	750	630,718	409,131	259,918



Şekil 5.3. Zamanla değişen soğuma eğrileri arasındaki ilişki

*Yukarıdaki grafikte, yapılan analiz sonucunda rulolar üzerinde kaydedilen o zamana ait maksimum sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi başlangıçta aynı sıcaklığa sahip ve aynı ortamda soğumaya bırakılan farklı çaptaki rulolar zamanla farklı soğuma eğrileri çizmektedir. Çap değeri arttıkça soğuma hızı da o oranda azalmaktadır. Soğuma hızının düşmesi yüksek sıcaklığın rulo üzerine daha uzun süre etkimesi demektir. Bu da tane çapının irileşmesine, dolayısıyla da rulo kırığı oluşma riskinin artmasına sebebiyet vermektedir.

6. SONUÇ

Erdemir 6222 ve 4237 kalite sacların rulo kırığı üzerine yapılan bu çalışmada, kırığa neden olan ana faktörlerin rulo çapı ve buna bağlı olarak meydana gelen soğuma hızı ve tane yapısındaki irileşme olduğu gözlenmiştir. Çelik şerit üzerinden alınan numunelerin SEM görüntülerinin karşılaştırılması sonucunda rulonun iç kısımlarında daha iri tane yapısı tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi ile başlangıçta 750 °C sıcaklıktaki aynı kimyasal bileşime sahip 1400, 1500 ve 1700 mm çaplarındaki ruloların zamanla değişen sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Sadece dış çap değiştiğinde dahi sıcaklık değerleri önemli ölçüde etkilenmektedir. Sıcaklık çelik şerit üzerine daha kısa zaman etkirse tane büyümesinde de o derece azalma gözlenecektir. Sıcaklığın daha kısa süre etkimesi, soğutma sistemi ve rulonun sarım çapıyla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, rulo açma sırasında meydana gelen lokalize gerilmeler de rulo kırığına neden olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Çapan, L., “Metallere Plastik Şekil Verme” , *Çağlayan Kitabevi* , İstanbul, 103-106, 208-213 (2003).
2. Taşkın, A., Utku, Ş., Görmez, B. , “Soğuk kaynaklı dalga ve rulo kırığı ilişkisi” , *II. Sıcak Haddehane Müdürlüğü*, Zonguldak, (2004).
3. David, T. , “Coil Breaks” , *Hot Rolling Consultants*, Illinois, (1987).
4. Yeşil, H., “Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerde Haddelme Yön ve Miktarının İşlenebilirlik Üzerine Etkileri” , Doktora tezi, *G.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 24-26, 31-35 (2003).
5. Pande, C.S., Rajagopal, A.K., “Modeling Of Grain Growth In Two Dimensions” , *Acta Materialia*, 50: 3013-3021 (2002).
6. Mark, A., “A Review Of Microstructural Computer Models Used To Simulate Grain Growth And Recrystallisation In Aluminium Alloys” , *Journal of Metals*, 2: 125-135 (2002).
7. Qiang, Y., Sven, K., “Three-Dimensional Grain Growth Modeling With A Monte Carlo Algorithm” , *Materials Letters* , 57: 4622-4626 (2003).
8. Kayalı, E.S., Ensari, C., “Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları” , *İTÜ*, 98-107, 148-177 (1986).
9. Tozlu, İ., “Yassı Çelik Mamullerin Sıcak Haddelenmesinde Haddelme Yükünün Hesaplanmasında Kullanılan Metotların İncelenmesi” , Y.Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18-20 (1992).
10. Çapan, L., “Plastik Şekil Verme Teori ve Uygulamaları” , *İTÜ Makine Fakültesi*, İstanbul, 70-75, 187-189 (1977).
11. Avcı, Ş., “Seydişehir Alüminasının Sinterlenebilirliğinin Artırılması ve Tane Büyüme Kinetiğinin İncelenmesi” , Y. Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-27 (1996).
12. Altürk, H., “ Temper Haddelme Seminer Notu” , *Soğuk Haddehaneler ve İkmal Tesisleri Müdürlüğü*, Zonguldak, (1998).
13. Ensari, C., “Düşük Karbonlu Çeliklerde Üretim Koşulları ve Bilişimin Deformasyon Yaşlanmasına Etkileri” , Doktora Tezi, *İTÜ Maden Fakültesi ve Enstitüsü*, İstanbul, (1977).

14. Gündüz, S., “Kimyasal Bileşim ve Soğuma Hızının Arayer Atomu İçermeyen Mikroalaşım Çeliklerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi”, **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 171-178 (2003).
15. Kobayashi, H., “Origin of Break Marks Produced in The Processing of Mild Steel Strip”, **Dofasco Inc.**, 744-752 (1999).
16. Jang, Y., Ko, D., Kim, B., “Application of The Finite Element Method to Predict Microstructure Evolution in The Hot Forging of Steel”, **Journal of Materials Processing Technology**, 101: 85-94 (2000).
17. Avcı, M., “Ağırlıkça %6 Bi₂O₃ İçeren ZnO- Bi₂O₃ Sistemine MnO Katkısının Tane Büyüme Kinetiğine Etkisi”, Y. Lisans Tezi, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 53-56 (1996).
18. Colas, R., Leduc, L., Neri, M., “Prediction of Shape Defects During Cooling of Hot Rolled Low Carbon Steel Strip”, **Ironmaking and Steel Making**, 93-96 (2004).
19. Kyriakides, S., Miller, J. E., “On The Propagation of Lüders Bands in Steel Strips”, **Transactions of The ASME**, 645-654 (2000).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÜNLÜ, Mehmet
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 15.01.1981, Ankara
Telefon : 0 (312) 272 30 12
e-mail : incemehm@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/Makine Mühendisliği	2004
Lise	Sincan Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2007	Makine Mühendisleri Odası	Kontrol Mühendisi
2007-	TOBAŞ	Müşavir

Yabancı Dil

İngilizce

Sertifikalar

M.E.B İşletmenlik sertifikası, MMO Asansör Avan Proje ve Yetki Belgesi

Hobiler

Bilgisayar, Futbol, Basketbol, Sinema, İnternet