

## TEKRARLANAN GAZ NİTRASYON İŞLEMİNİN AISI H13 EKSTRÜZYON KALIBININ KIRILMA HASARINA ETKİSİ

Nazım Özkan ASAN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Metalürji ve Malzeme Mühendisi, Tamçelik Isıl İşlem San. Tic. A.Ş.

### ÖZET

Bu çalışmada alüminyum ekstrüzyon kalıplarında performansı artırma amaçlı uygulanan tekrarlı nitasyon işlemini neden olduğu sorunlar incelenmiştir. Tekrarlı olarak uygulanan nitasyon işlemi sonrasında H13 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş ekstrüzyon kalıplarında meydana gelen mekanik özellik değişimi ve yine tekrarlı nitasyon işlemi sonucunda meydana gelen beyaz tabaka ve difüzyon tabakasının kırılma hasarına etkisi incelenmiştir. Örnek olay incelenmesi olarak gaz atmosferinde 570-580°C'de 6 ila 8 saat arasında 5 defa nitasyon işlemi görmüş ve dil kısımlarında kırılma hasarı meydana gelmiş bir alüminyum ekstrüzyon kalıbının hasar analizi yapılmıştır. Tekrarlı ve kontrolsüz atmosferde uygulanan nitasyon işlemi sonucunda meydana gelen beyaz tabaka kalınlığı ışık metal mikroskopu kullanılarak ölçülmüş ve işlem sonrasında tane sınırlarında meydana gelen nitür bileşiklerinin kırılma hasarına olumsuz etkisi belirlenmiştir. Tekrarlı olarak uygulanan nitasyon işleminin çeliğin ısıl işlem sonrasında kazandırılan sertlik ve çekme dayanımı gibi mekanik özellikleri olumsuz etkisi rockwell ve vickers sertlik cihazlarında yapılan makro ve mikro sertlik ölçümleri ile bulunmuş ve kırılma hasarına olan etkileri belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Beyaz tabaka, ekstrüzyon, kırılma, tekrarlı nitasyon.

## EFFECT OF REPEATED GAS NITRIDING ON THE GROSS CRACKING FAILURE OF H13 EXTRUSION DIES

### ABSTRACT

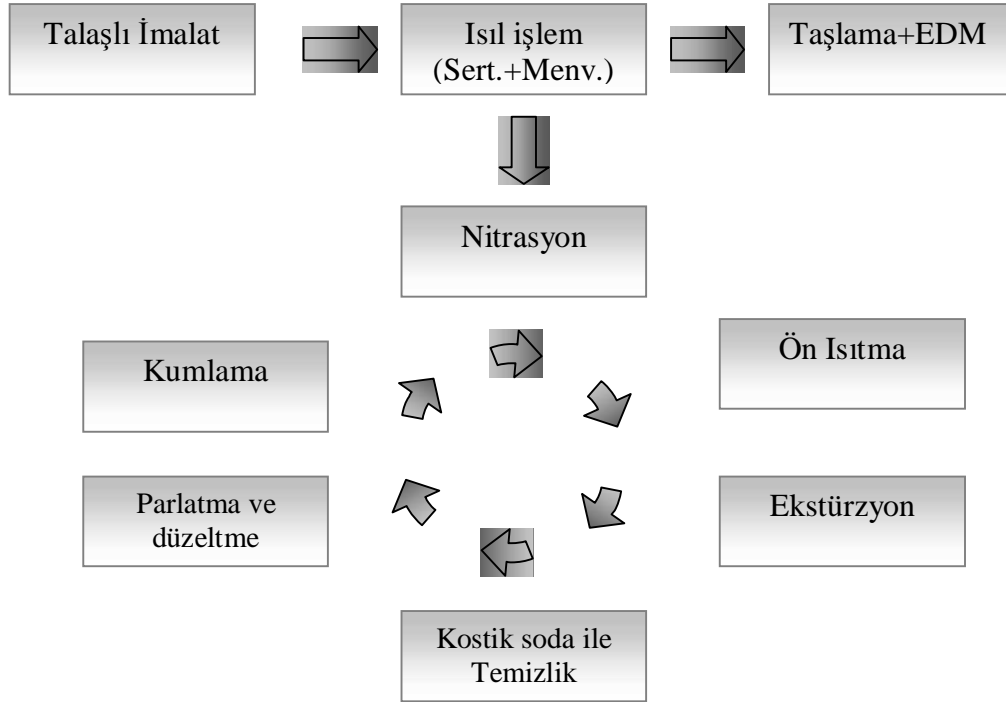
In this study the negative effects of the repeated nitriding process, which is applied to the H13 extrusion dies for increasing the life time of the tool, has been investigated. After repeated nitriding of dies, the mechanical property changes of the die, the structure of nitrated zone, white layer properties and their effect on the gross cracking failure of die has been investigated. For case study 5 times gas nitrated at 570-580°C in period of 6-8 hours and gross cracked aluminium extrusion die has been analysed. The white layer thickness and the morphology and amount of grain boundary nitride compounds has been determined by using optical metal microscope. Micro and macro hardness test are performed to obtain the mechanical property changes after repeated gas nitriding. The negative effect of repeated nitriding on the mechanical property of h13 steel and relationship between cracking failure of aluminium extrusion die has been determined.

**Keywords:** extrusion, gross cracking, repeated nitriding, white layer.

## 1.Giriş

Ferritik fazda gerçekleştirilen gaz nitrasyon işlemi alüminyum ekstrüzyon kalıplarında sürtünmeyi azaltarak akışı kolaylaştıran ve elde edilen yüksek yüzey sertliği ile kalıp ömrünü uzatan bir proses olup günümüzde tüm alüminyum ekstrüzyon kalıplarına uygulanan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Alüminyum ekstrüzyon kalıplarının üretiminde kullanılan takım çelikleri sıcak iş takım çelikleri olup bunlar içinde en yaygın kullanılanı AISI H13 ve AISI H11 tipleridir. Cr esaslı sıcak iş takım çeliği olan H11 ve H13 çelikleri prensip alaşım elemanı olarak %5 oranında Cr içerdiklerinden nitrasyon işlemi sonrasında yaklaşık olarak 1050 HV<sub>0,3</sub> yüzey sertliğine ulaşabilen çeliklerdir. Nitrasyon işlemi ile elde edilen etkili sertlik derinliği 200 ila 300 mikron arasında değişim göstermekte olup servis sırsından azot atomlarının uygulanan yük doğrultusunda yüzeyden konsantrasyonun az olduğu iç kısma doğru ilerlemesiyle sertlik derinliği artış gösterebilmektedir.

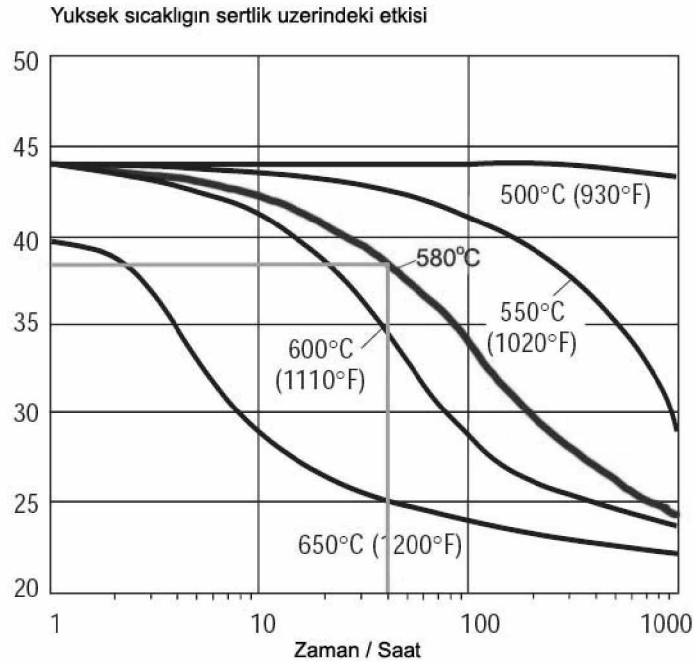
Alüminyum ekstrüzyon kalıplarının üretimi aşağıdaki üretim akış şeması doğrultusunda gerçekleşir. Servis sırasında periyodik bir şekilde kalıp presten indirilir, ekstrüzyon sırasında kalıp yüzeyinde meydana gelen aşınmış bölgelerin temizlenmesinin ardından parlatılarak tekrar nitrasyon işlemine tabi tutulur. (Bkz. Şekil-1). Şekil-1’de alt kısımda şematize edilen çevrim, kalıp kullanılabilir durumda olduğu taktirde 5-6 defa tekrarlanabilmektedir.



Şekil-1 Alüminyum ekstrüzyon kalıplarının üretim ve kullanım çevrimi.

Yukarıda belirtildiği üzere ekstrüzyon kalıpları servis ömrü boyunca 5 defaya kadar nitrasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Nitrasyon işlemi 560-580°C arasında yani ferritik fazda gerçekleştirilir ve çelikte herhangi bir faz dönüşümüne neden olmaz. Ancak işlemin 580°C'de 5-8 saat arasında uygulanması çelikte sıcak sertlik direnci sağlayan MC tipi karbürlerin yavaş yavaş tane sınırlarına taşınmasına ve dolayısı ile takım çeliğinin sertliğini kaybetmesine neden olur.

Ferritik nitrasyon ya da nitro-karbürizasyon işlemi sıcak iş takım çeliklerine endüstriyel piyasadaki ısıtma işlemciler tarafından 580°C'de en az 6 saat süre ile gaz atmosferinde uygulanmaktadır. İşlem sıcaklığının düşürülmesi durumunda ise etkili sertlik, profilini sağlamak daha uzun süreler gerektirmektedir. Dolayısı ile birden fazla kez nitrasyon işlemi uygulanan ekstrüzyon kalıplarında çekirdek sertliğinin düşüşü kaçınılmaz bir durumdur. Aşağıdaki diyagramda 45 HRC'ye sertleştirilmiş AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin farklı sıcaklıklarda bekleme zamanına bağlı olarak (menevişlenmesi ile) meydana gelen sertlik değişimi yani sıcak sertlik direnci gösterilmektedir. (Bkz şekil-1.2). Şekilde 580°C eğrisi nitrasyon sıcaklığını simgelemekte 5 kez nitrasyon işlemi uygulanan bir ekstrüzyon kalıbı ortalama 40 saat 580°C'de kalmakta dolayısı ile 45 HRC olan ilk sertlik değeri 38 HRC'ye kadar düşmektedir.



**Şekil-1.2** Yüksek sıcaklıkta AISI H-13 Sıcak iş takım çeliğinin sertliğinin değişimi. 580°C eğrisi nitrasyon sıcaklığını simgelemekte. [1]

## 2 TEKRARLI NİTRASYON İŞLEMİ UYGULANMIŞ ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIBINDA MEYDANA GELEN TOPYEKÜN KIRILMA HASARININ İNCELENMESİ

### 2.1 Kalıp hakkında önbilgi.

Hasara uğrayan alüminyum ekstrüzyon kalıbı AISI H13 çeliğinden üretilmiş olup kimyasal analizi Çizelge 2.1’de verilmiştir. Çelik ESR (cüruf altı yeniden ergitme) işlemi görmemiş olup difüzyon tavı yapılmamıştır. Çeliğin ısıl işlemi tuz banyosunda yapılmış ve 48-49 HRC sertlikle kullanıcıya teslim edildiği verilen ısıl işlem sertifikasında belirtilmiştir.

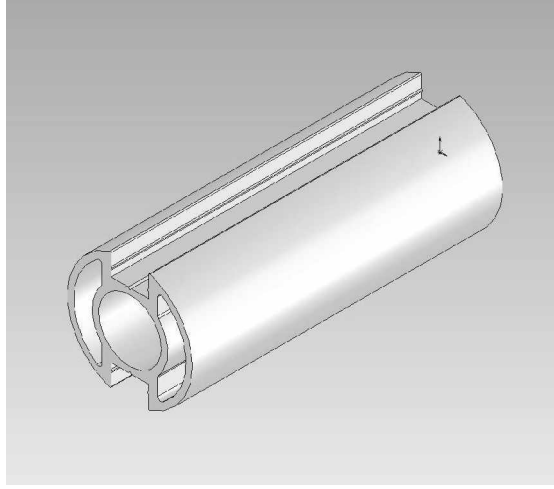
**Çizelge 2.1** Hasara uğrayan çeliğin kimyasal kompozisyonu.[2]

Gösterim	Kimyasal kompozisyon								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Co
AISI									
H13	0.32-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.10-1.75	---	0.80-1.20	---
Test	0,388	0,45	1,12	5,23	0,145	1,55	---	0,98	---

Hasara uğrayan kalıbın fotoğrafı şekil-2.1’de belirtilmiş olup kalıbın ürettiği alüminyum profilin katı model çizimi Şekil-2.2’de görüldüğü gibidir. Kalıpta kırılma hasarı meydana gelene kadar 5 kez gaz nitrasyon işlemi uygulanmıştır.



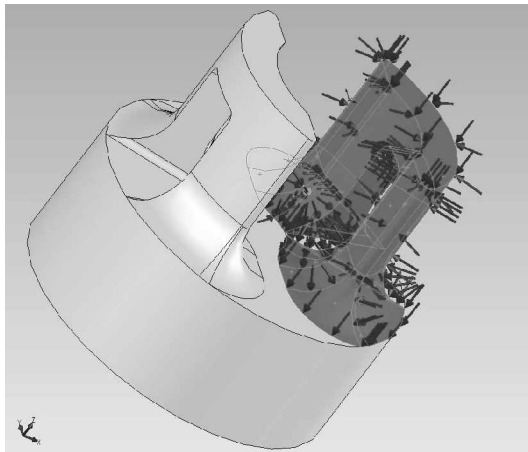
**Şekil-2.1** Hasara uğrayan alüminyum ekstrüzyon kalıbına ait fotoğraf.



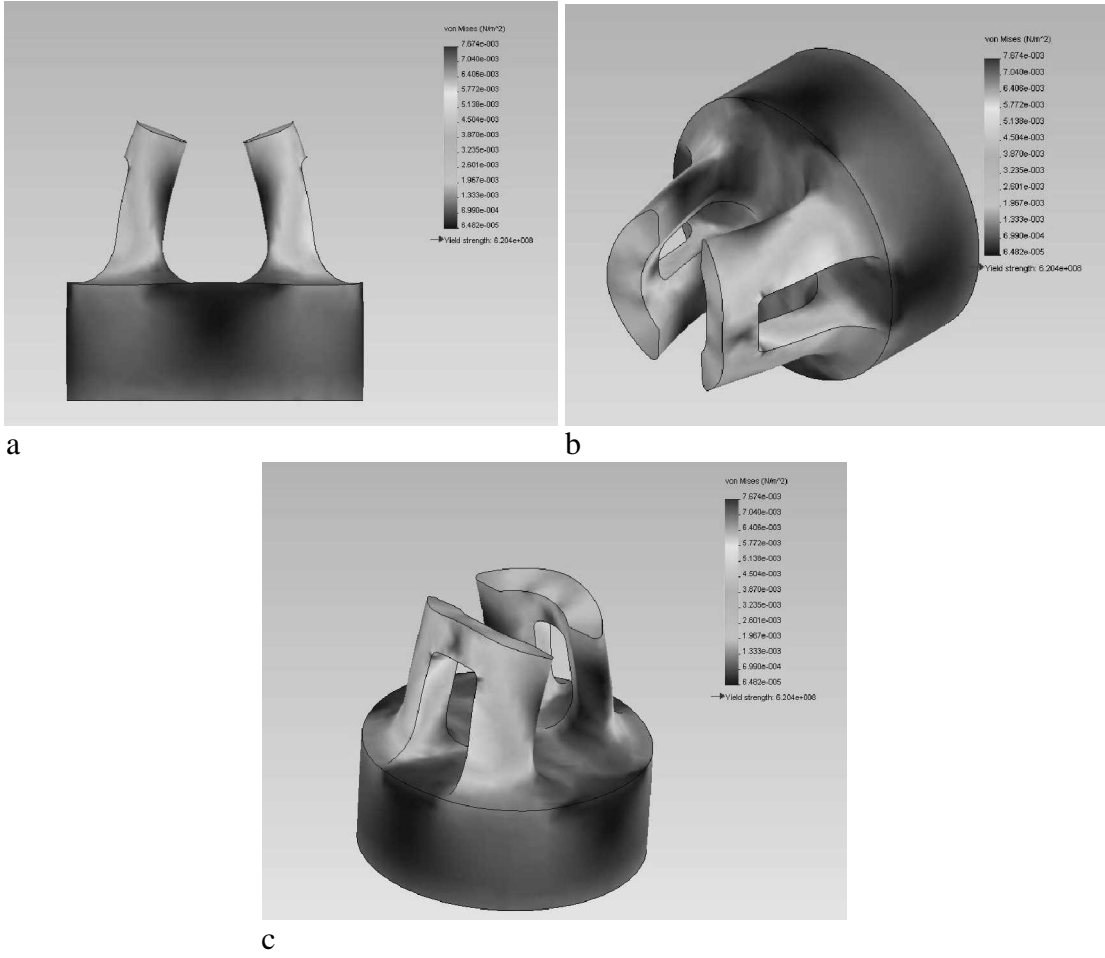
**Şekil-2.2** Kalıbın ürettiği profilin katı model çizimi.

## **2.2 Kalıbın proses sırasında maruz kaldığı gerilim ve hasara etkileri.**

Alüminyum ekstrüzyon prosesi yarı katı metal prosesi olup ekstrüzyon sırasında alüminyum biyet 450-480 °C arasında ısıtılarak ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilir ancak proses sırasında meydana gelen biyetin iç sürtünmesi ve dişi erkek kalıp arasında zorlanmış akış sürtünmesi ile kalıbın dil kısmındaki sıcaklık 510°C üzerine çıkmaktadır. Proses sırasında meydana gelen zorlanmış akış kalıbın dil kısmında yanal bası gerilmesine neden olmakta ve kırılma hasarı meydana getirmektedir. Hasara uğrayan kalıbın kullanıldığı pres 1400 ton'luk bir pres olup proses sırasında kalıp yüzeyinde 700N/mm<sup>2</sup> basınç meydana gelmektedir. Proses parametreleri doğrultusunda kalıbın maruz kaldığı yarı katı akışkan basıncı ve meydana gelen gerilimlerin toplandığı bölgeler ve büyüklükleri Şekil-2.3 ve Şekil-2.4'deki gerilim analiz simülasyonunda gözlenmektedir. Ekstrüzyon sırasında meydana gelen 700N/mm<sup>2</sup> lik basınç kalıbın her yüzeyine eşit dağıldığı kabul edildiğinde dil kısmının, iç ve dış yüzey alanı farklılığı gerilim dengesini bozmakta ve dil kısmını şekil-2.4a'da görüldüğü gibi merkeze doğru eğmeye zorlamaktadır. Meydana gelen eğme kuvveti sonucunda dil kısmın kalıba bağlayan ayakların dışa bakan yüzeylerinde çeki gerilmesi meydana getirerek bağlantı ayaklarının kalıp gövdesine yakın bölgelerinde yüzeyde çatlamalara, (Bkz.Şekil-2.6) gerilimin en yüksek olarak meydana geldiği orta kısımda ise kırılma hasarına neden olmaktadır. (Şekil-2.5)



**Şekil-2.3** Yarı-katı metal akışının meydana getirdiği basıncın dil kısmında dağılımı.



Şekil-2.4 Proses sırasında çeki gerilmelerinin dil bölgesinde dağılımı.

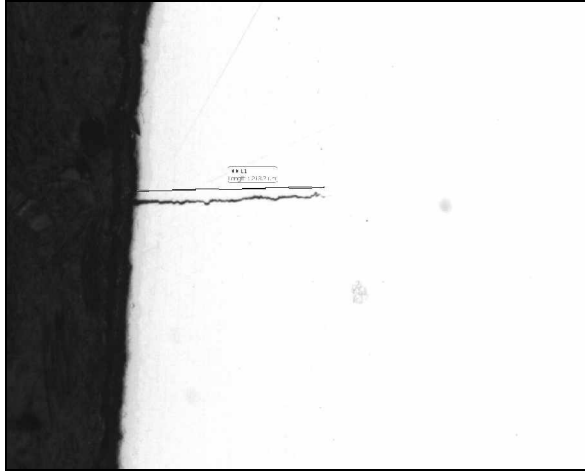
## 2.3 Yapılan İncelemeler.

### 2.3.1 Kırılan yüzeyin incelenmesi

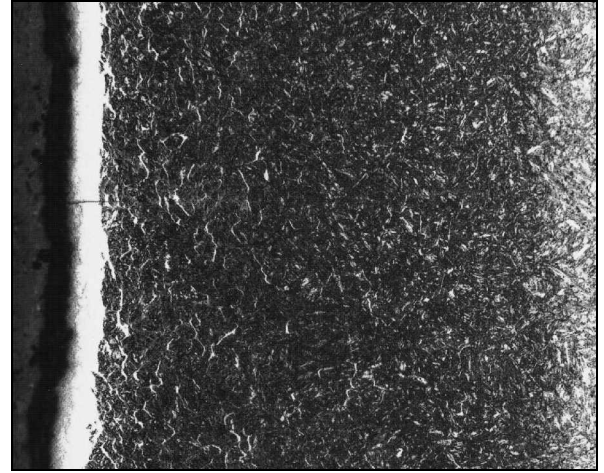


Şekil-2.5 Kırılan yüzey üstte kırılma setleşen cidarda gevrek özellik gösterirken orta kısımda sünek kırılma gözlenmektedir.

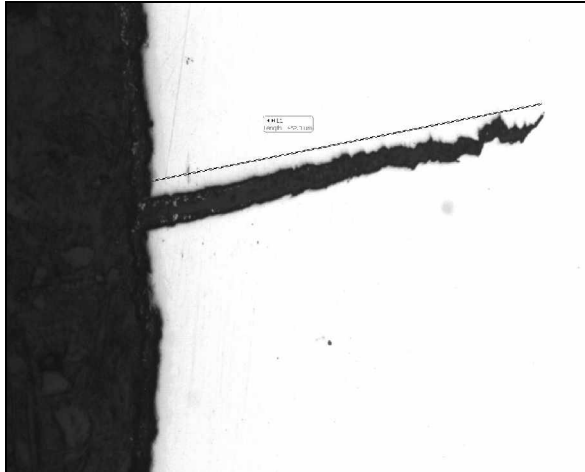
Şekil-2.5 'deki kırılma yüzeyinde hem gevrek hem de sünek kırılma yüzey morfolojisine rastlanmıştır. Tekrarlanan nitrasyon sonrasında azot atomlarına karşı aşırı doyumunda olan difüzyon tabakası gevrek kırılma göstermiştir. Şekil-2.6 da ise proses sırasında meydana gelen çeki gerilmesi sonucunda kırılmanın başladığı yüzeyler farklı büyütme ölçeklerinde dağlanmış ve dağlanmamış olarak gözlenmektedir. Dağlama işlemi Nital-5 çözeltisi ile 5 sn boyunca uygulanarak yapılmıştır.



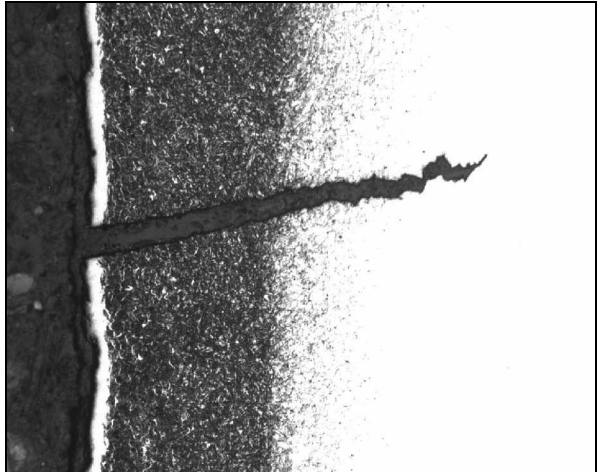
a 100X



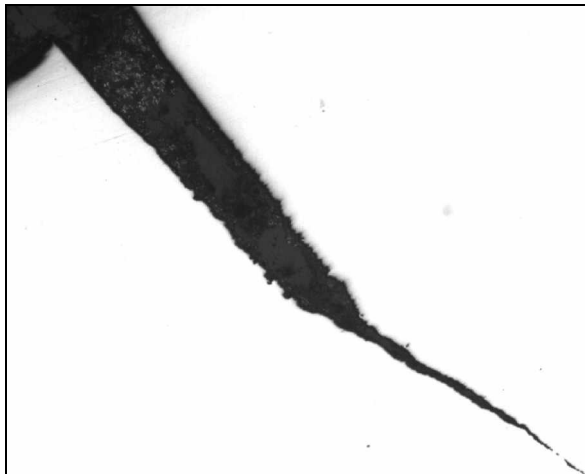
b 200X



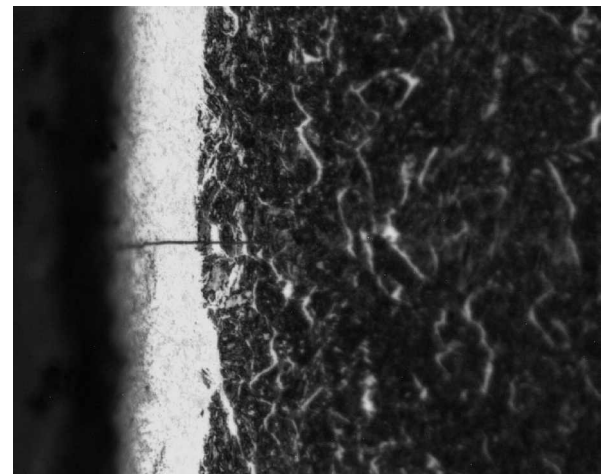
c 100X



d 100X



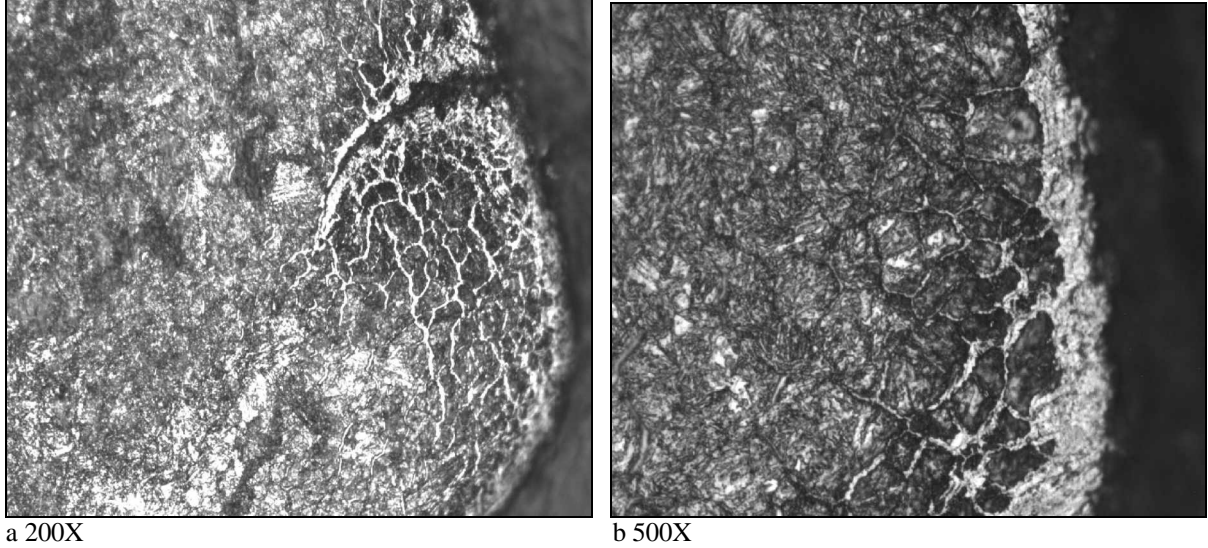
e 50X



f 500X

**Şekil-2.6** Kırılma bölgesinin alt kısmındaki ayaklar üzerinden çekilmiş çatlak bölge mikroyapı fotoğrafları

Tekrarlı nitrasyon işlemi sonrasında meydana gelen difüzyon tabakasının morfolojisi ve penetrasyon derinliği keskin köşelerde difüzyon yüzeyinin artmasından kaynaklı olarak daha derin olmakta ve tane sınırlarını saran nitrür bileşiği oluşmasına neden olmaktadır. Şekil-2.7’de keskin köşe efekti gözlenmektedir.



**Şekil-2.7** Keskin köşe efekti ve tekrarlı nitrasyon sonucunda meydana tane sınırlarında nitrür bileşiği ağ yapısı.

### 2.3.2 Makro sertlik kontrolü.

Sertleştirme sonrası çekirdek sertliği 48-49 HRC olan kalıpta tekrarlı nitrasyon sonucunda çekirdek sertliği 41,4 HRC’ye düşmüştür. Rockwell sertlik cihazında 150 kg yük altında yapılan testlerden elde edilen sonuçlar çizelge-2.2’de gösterilmiştir.

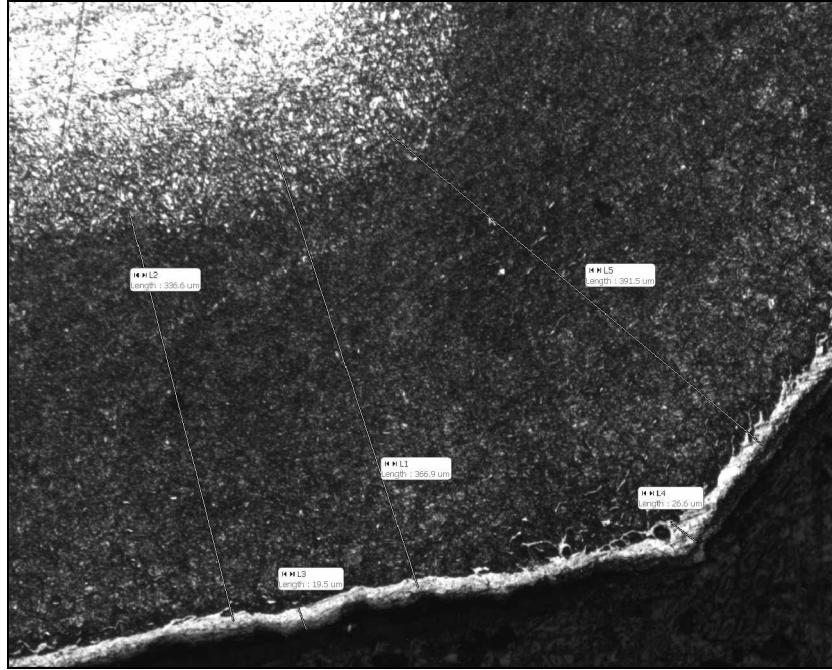
**Çizelge-2.2** Kalıptan elde edilen sertlik değerleri.

1	40,6 HRC
2	41,9 HRC
3	41,4 HRC
4	40,6 HRC
Ortalama:	41,4 HRC

### 2.3.3 Mikro sertlik kontrolü ve nitrasyon sonucunda meydana gelen etkili sertlik derinliğinin belirlenmesi

Uygulanan nitrasyon işlemi sonrasında kalıp yüzeyinden iç kısma doğru yapılan mikro vickers sertlik taramasında nitrasyon tabakasının sertliği 965 HV<sub>0,3</sub> bulunmuş etkili sertlik derinliği ise 367 µm bulunmuştur. Köşe efektinin olduğu bölgede ise difüzyon derinliği 390 µm bulunmuştur. Şekil-2.8’de difüzyon tabakası gözlenmektedir. Nitrasyon işlemi sonrasında yüzeyde meydana gelen beyaz (bileşik) tabaka kalınlığı ise 28 µm bulunmuştur.

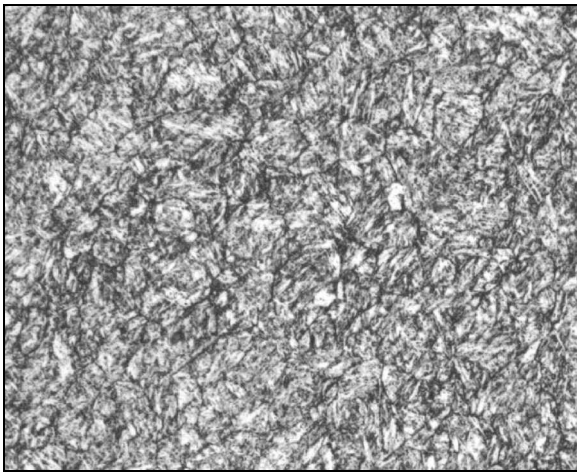




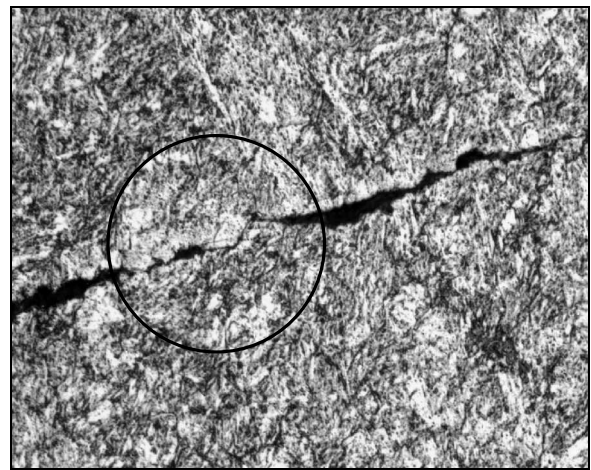
**Şekil-2.8** Tekrarlı nitrasyon sonrasında meydana gelen difüzyon tabakası 390 $\mu$ m'ye kadar çıkmakta.

#### 2.3.4 Isıl işlem mikroyapısının incelenmesi.

Kalıba ait sertleştirme mikroyapısı temperlenmiş martenzitik matriste dağılmış artık östenit adacıkları ve tane sınırı karbürlerinden meydana gelmiştir. Yetersiz soğutma hızından kaynaklanan tane sınırı sekonder karbür çökeltileri çeliğin tokluğuna olumsuz etki yapmakla birlikte nitrasyon işlemi sırasında hasar oluşumuna dolaylı olarak etkide bulunmaktadır. Tane sınırlarında karbür çökmesi olmasına karşın bu mikroyapı Nadca 207-2003 Heat Treatment Quality Microstructure çizelgesunun kabul edilen mikroyapılar bölümündeki HS2'ye denk düşmektedir. (Şekil-2.9).



a

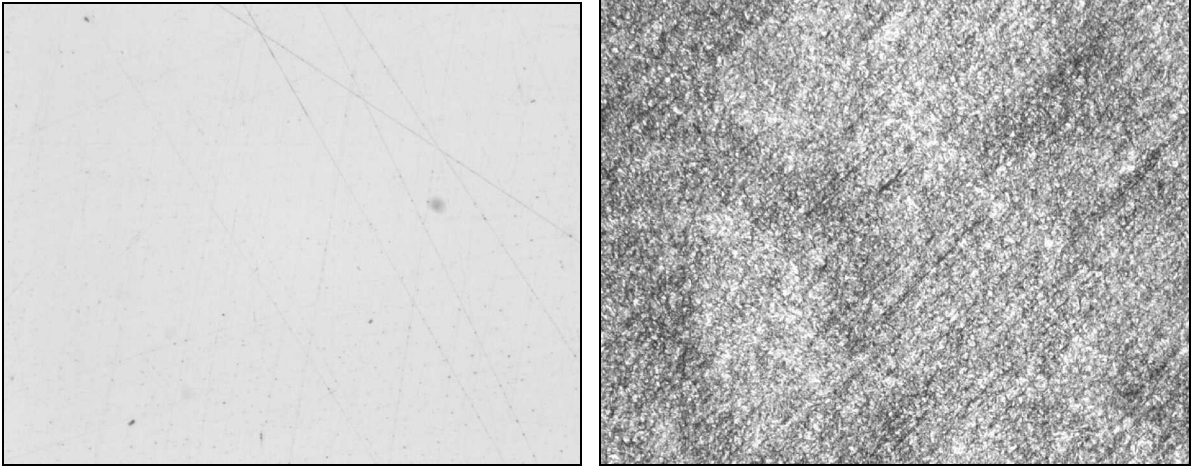


b

**Şekil 2-9** Sertleştirme ve menevişleme sonrası mikroyapı fotoğrafları. 500X.

### 2.3.5 Çelik kalitesinin incelenmesi

Kimyasal analizi çizelge-2.1 de verilen çelik AISI H13 standardı dahilinde olup çelikte metalik olmayan alüminat, silikat, oksit ve sülfid inklüzyonlarının seviyesi ASTM E-45 standardı çerçevesinde kabul edilen değerdedir. Bantlaşma ve mikro segregasyon seviyesi açısından çelik Nadca 207-2003 Banding-Micro segregation referans çizelgesunda kabul edilen yapılar içindedir. Şekil-2.10'da dağlanmış ve dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları gözlenmektedir.



Şekil-2.10 Dağlanmış ve dağlanmamış mikroyapı fotoğrafları.50X

## 3 BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan mikro ve makro incelemelerde kalıpta hasarın oluşmasındaki temel etkenin tekrarlı nitrasyon sonrasında meydana gelen çekirdek sertliği düşüşü olduğu saptanmıştır. Hasara uğrayan kalıp 5 defa gaz nitrasyon işlemine tabi tutulmuş ve 48-49 HRC olan çekirdek sertlik değeri 41,4 HRC değerine düşmüştür.(Çizelge-2.2)

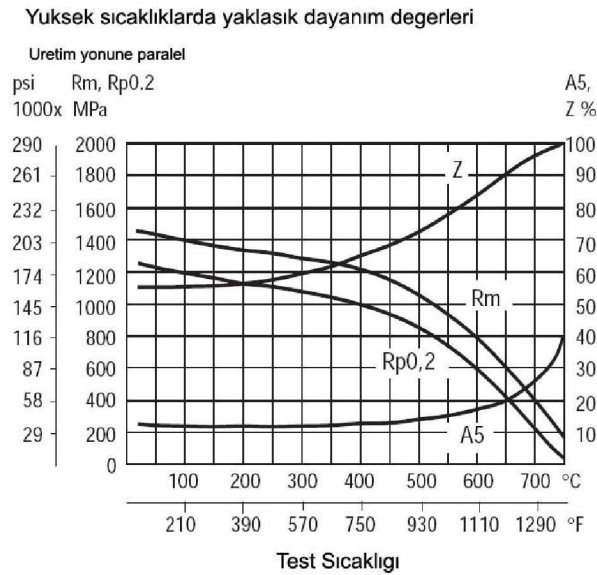
Nitrasyon işlemi sonrasında oluşan tabakanın derin olması ve iç kısımdaki düşük çekirdek sertliği nitrasyon tabakasının çelikten bağımsız bir şekilde davranış göstermesine, yani bütün yükün mevcut nitrasyon tabakası tarafından taşınmasına neden olmuştur. Bu tip uygulamalarda çalışan kalıpların ideal kullanım sertliği 48-49 HRC'dir ancak ilgili kalıpta sertlik değeri 41,4 HRC'ye düşmüştür. 48 HRC sertlik değerinde demir esaslı bir malzemenin sahip olduğu çekme dayanımı  $1595\text{N/mm}^2$  iken 41,4 HRC sertlikte bu değer  $1300\text{N/mm}^2$ 'dir nitrasyon tabakasında ise sertlik değeri 965 HV 0,3 bulunmuş olup teorik çekme dayanımı karşılığı yaklaşık olarak çekirdek kısmının iki katına yakındır. Bu değerler incelendiğinde ve malzemelere uygulanan eğme yüklemelerinde en büyük gerilimin yüzeyde toplandığı göz önünde bulundurulduğunda nitrasyon sonucunda meydana gelen difüzyon tabakası ve beyaz tabaka sahip olduğu en yüksek çekme dayanımı ve elastisite modülü ile mevcut yüklerin toplandığı bölge konumuna gelmiştir Şekil-2.3 ve Şekil-2.4. Bunun yanında altlık kısmın yani çeliğin olması gerekenden  $295\text{N/mm}^2$  daha düşük dayanıma sahip olması yükün sadece kırılğan difüzyon tabakası tarafından taşınmasına neden olmuş ve çatlak kırılğan beyaz tabakadan (FeN) transkristalin bir ilerleme ile başlayarak difüzyon tabakasını izlemiş ve iç kısımda interkristalin bir şekilde ilerleyerek hasara neden olmuştur. (Bkz.Şekil-2.6 b-2.6f, Şekil 2-9b)

Hasarın oluşmasını etkileyen diğer bir faktör ise tekrarlı nitrasyon sonucunda meydana gelen tane sınırı nitür bileşiği ağıdır. Şekil-2.7 de görülen tane sınırı nitür bileşikleri SAE AMS

2759/10 standardına göre kabul edilemeyen bir yapıdır. Yine SAE AMS 2759/10 standardında izin verilen maksimum beyaz tabaka kalınlığı 25  $\mu\text{m}$  olup hasara uğrayan kalıpta bu değer 29  $\mu\text{m}$ 'dir. Beyaz tabakayı oluşturan demir nitrür bileşiği seramik yapısında olup kırılğan ve elastik uzama göstermeyen bir bileşiktir. Dolayısı ile kullanım şartları sırasında en yüksek gerilimin biriktiği malzeme yüzeyinde tane sınırı nitrür ağının bulunması ve beyaz tabakanın 25 $\mu\text{m}$ 'nin üzerinde olması çeliğin dayanımını düşürerek çatlak başlangıcını kolaylaştırmıştır. Tane sınırı nitrür ağının oluşmasında diğer bir faktör olarak sertleştirme işlemi sırasında soğutmanın yeterince hızlı olmamasına bağlı olarak tane sınırlarında sekonder karbür çökmesi meydana gelmesidir. Sıcak iş takım çeliklerinde sertleştirme işlemi sırasında çökelen sekonder karbürler, azota ilgisi yüksek olan Cr ve Mo esaslı karbürlerdir dolayısı ile tane sınırlarında bu tür intermetalik ağ yapısı içeren bir çeliğe uygulanan nitrasyon işleminde tane sınırlarında nitrür bileşiği oluşumu daha da kolaylaşmakta ve çelikte meydana gelen hasarın oluşmasında önemli rol oynamaktadır.

Yetersiz soğutma sonucunda tane sınırlarında çökelen sekonder karbürlerin diğer bir etkisi ise tane sınırları arasındaki bağ kuvvetini azaltması ve dolayısı ile çeliğin çekme dayanımını ve tokluğunu düşürmesidir. Özellikle H13 gibi yüksek alaşımlı sıcak iş takım çeliklerinde östenitleme ardına yapılan soğutma sırasında tane sınırı karbür çökmesinin hızlı olduğu kritik sıcaklık aralığı olan 800-500°C'nin olabildiğince hızlı bir şekilde geçilmesi çeliğin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi açısından çok büyük önem arz etmektedir Şekil-2.9b'deki çelik mikroyapısı incelendiğinde çelik içindeki mikro segregasyon bölgelerine bağlı olarak farklılaşan sekonder karbür çökelmeleri gözlenmektedir. Farklı oranda çökelen karbür çökelmelerinin çeliğin  $K_{IC}$  kırılma tokluğu değerine ve dolayısı ile çatlak ilerleme hızına olan etkisi Şekil-2.9b'de daire içindeki bölgede açıkça gözlenmektedir. Daire içinde kalan bölgede karbür çökmesi daha az olduğu için çatlak ilerlemesi zorlaşmış ve çatlak yüzeyler arasındaki mesafe bu bölgede çatlağın ilerleyen kısmına göre daha kapalı bir görünüm oluşturmuştur.

Hasarın oluşmasında diğer kaçınılmaz etki ise 500-550°C olan çalışma sıcaklığında çeliğin mekanik özelliklerindeki değişimdir. Oda sıcaklığında 48 HRC sertlikte 1600 MPa olan çekme dayanımı değeri çalışma sıcaklığında (515°C'de) 900 MPa değerine kadar düşüş göstermektedir.



Şekil-3.1 AISI H13 Çeliğinin yükselen sıcaklıklarda mekanik özelliklerinin değişimi. [1]

## 4 SONUÇLAR

Yapılan incelemeler sonucunda tekrarlı nitrasyon işlemi uygulanan H13 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş ekstrüzyon kalıplarında çekirdek sertliğinin düştüğünü göstermektedir. Kalıp sertliğinde meydana gelen düşüş çeliğin çekme dayanımı değerini olumsuz etkilemekte ve yine tekrarlı nitrasyon sonucunda meydana gelen derin difüzyon tabakası (390µm) ve tane sınırı demir nitür bileşiği içeren yüzey morfolojisinin mevcut proses gerilmelerinin toplandığı bölgede olması hasarın oluşmasının temel nedenidir. Kalıbın ısıtılmasının tuz banyosunda gerçekleştirilmesi ve östenitleme işlemi ardından yapılan soğutmanın yavaş olması sonucunda meydana gelen tane sınırı sekonder karbür çökelmelerinin çeliğin tokluğunu ve sıcak direncini olumsuz etkilediği ve tane sınırı nitür bileşiklerinin oluşumunu artırıcı rol oynadığı saptanmıştır.

Bu koşullarda çalışan ve tekrarlı nitrasyonun kaçınılmaz olduğu kalıplarda alınabilecek temel önlemler,

- Kırılma hasarının meydana gelebileceği riskli figürlerde yüzey-basınç-gerilim dengesini gözeterek tasarımlar kullanılması ve simetrik bir gerilim dağılımı sağlanması,
- Kalıp malzemesi seçiminde daha yüksek oranda Mo içeren ve sıcak dayanımı daha yüksek H13 modifiyesi EN 1.2367 DIN yada X38CrMoV5-3 kodlu çeliğin kullanılması,
- Cüruf altı yeniden ergitme işlemi (ESR) görmüş tokluğu yüksek ve segregasyon seviyesi düşük çeliklerin kullanılması ile kullanım sertliğinin artırılması,
- Isıl işlemin vakum fırınında yüksek basınçlı gaz soğutması ile yapılası ve soğutma hızı kontrol edilerek tane sınırı karbür çökmesinin azaltılması,
- Nitrasyon işlemi sırasında sıcaklığın 570°C altında tutulması,

olmalıdır. Yukarıda belirtilen şartlar yerine gerildiğinde kalıp kullanım sertliği 50-51 HRC'ye çıkartılarak tekrarlı nitrasyon sırasında sertlik düşüşü daha geç meydana gelecektir. Daha yüksek oranda molibden içeriğine sahip EN 1.2367 kodlu çeliğin kullanılması ile gerek nitrasyon gerek servis sırasında sertlik düşüşü geciktirileceğinden daha uzun bir kalıp ömrü elde edilecektir.

## TEŞEKKÜR

Engin bilgi ve tecrübelerini bizlere aktaran değerli hocamız Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a, bu çalışmada yer alan gerilim simülasyonlarının yapılmasında emeğini ve değerli vaktini ayıran dostum ve iş arkadaşım Zafer ÖZMEN'e teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- 1 Uddeholm Orvar Supreme ürün katalogu.
- 2 ASM Handbook Volume 1
- 3 Nadca#207-2003 standardı.
- 4 ASTM E45 standardı.
- 5 SM Handbook Volume 8 Mechanical Testing & Evaluation
- 6 SAE AMS 2759/10 standardı.