



**Barış Özlü**

Aksaray University, barisozlu@aksaray.edu.tr, Aksaray-Turkey

**Halil Demir**

Karabük University, hdemir@karabuk.edu.tr, Karabük-Turkey

**Mustafa Türkmen**

Gebze Teknik University, turkmen@gtu.edu.tr, Kocaeli-Turkey

**Süleyman Gündüz**

Karabük University, sgunduz@karabuk.edu.tr, Karabük-Turkey

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.2.2A0167">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.2.2A0167</a>	
ORCID ID	0000-0002-8594-1234	0000-0002-9802-083X
	0000-0002-9402-2459	0000-0003-4285-5114
CORRESPONDING AUTHOR	Mustafa Türkmen	

**SICAK DÖVME SONRASI KUMDA VE HAVADA SOĞUTULAN ÇELİKLERİN KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ**

**ÖZ**

Bu çalışmada, 38MnVS6 mikroalaşımli ve 41Cr4 ıslah çelikleri kapalı kalıpta sıcak dövme sonrası kumda ve havada kontrollü olarak soğutulmuştur. Daha sonra numunelerin mikroyapı ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sıcak dövme sonrası kontrollü olarak kumda ve havada soğutulan numunelerin, mikroyapı ve sertliklerindeki değişimin işlenebilirlik üzerine etkileri incelenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri tornalama metoduyla soğutma sıvısı kullanılmadan kuru şartlarda yapılmıştır. Tornalama deneyleri kaplamalı karbür uç kullanılarak kesme hızı ve talaş derinliği sırasıyla 180 m/dak ve 0.6 mm'ye sabitlenerek dört farklı ilerleme hızında (0.04, 0.08, 0.12 ve 0.16 mm/dev) yapılmıştır. Her bir numune için yukarıda bahsedilen şartlarda yapılan tornalama deneyleri sonunda kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) ölçülmüştür. Sonuçlar, farklı ortamlarda kontrollü olarak soğutulan numunelerin mikroyapı ve sertliklerinde meydana gelen değişikliklerin kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sıcak Dövme, Mikroyapı, İşlenebilirlik, Çelik, Karbür

**THE INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS AND CUTTING FORCES OF STEELS COOLED IN SAND AND AIR AFTER HOT FORGING**

**ABSTRACT**

In this study, 38MnVS6 microalloyed and 41Cr4 heat-treatable steels were subject to a controlled cooling in air and sand after closed die hot forging. Subsequently, microstructure and hardness of the samples were measured. The effects of changes in microstructure and hardness on machinability of samples, which were controlled-cooled in air and sand after hot-forging, were investigated. The machinability test was carried out by turning method in dry conditions without using coolant. Turning tests were made by using coated carbide cutting tool at four different feed rates (0.04, 0.08, 0.12 and 0.16mm/rev) while cutting speed and cutting depth were fixed at 180m/min and 0.6mm, respectively. The cutting forces and surface roughness values (Ra) were measured for each sample at the end of turning tests which were conducted in conditions mentioned above. Results showed that changes in microstructure and hardness of samples, which were controlled-cooled in different mediums, significantly affected cutting forces and surface roughness.

**Keywords:** Hot Forging, Microstructure, Machinability, Steel, Carbide

**How to Cite:**

Özlü, B., Demir, H., Türkmen, M. ve Gündüz, S., (2019). Sıcak Dövme Sonrası Kumda ve Havada Soğutulan Çeliklerin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin İncelenmesi, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 14(2):37-47, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.2.2A0167.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte çeliğin sağıktan uzay teknolojilerine; ulaşımdan iletişime, inşaattan tarıma kadar birçok alanda çeliğin kullanımı artmıştır. Bu artış çeliklerin özelliklerinin iyileştirilmesi ihtiyacını ortaya koymuştur. Bunun için çeliğe uygulanan farklı ısıl işlem proseslerinin önemini giderek artırmıştır [1, 2 ve 3]. Dövme yöntemi ile imal edilen mikroalaşımli parçalara ısıl işlem uygulanmadan kullanıma hazır hale getirilirler. Bu sayede ürünün üretim maliyetleri düşmektedir [4]. Malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi tasarım yönünden cazip olmasında neden olmaktadır. Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (YDDA) veya high strenght-low alloyed (HSLA) olarak ta adlandırılan mikroalaşımli çeliklerden üretilen ürünlerin çoğutalaşlı imalat işlemlerine maruz kalmaktadır. Fakat bu çeliklerin talaşlı imalat prosesleri ile şekillendirilmesinde problemlerle karşılaşmaktadır. Bunun sebebi bu malzemelerin sertliklerinin ve dayanımlarının yüksek olmasıdır [5]. Talaş kaldırma esnasında oluşan değişkenlerden etkilenen en önemli çıkış değişkenlerinden birisi de kesme kuvvetleridir. Kesme kuvvetleri üzerinde etkili faktörler kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, takım ve talaş geometrisi, iş parçası malzemesi ve takım kesme yüzeylerindeki aşınma gibi değişkenlerdir [6].

Literatürde 38MnVS6 mikroalaşımli ve 41Cr4 ıslah çelikleri ile farklı çalışmalar dikkat çekmektedir. Rasouli vd. 30MnSV6 mikroalaşımli çeliğin ısıl işlemle birlikte iki farklı soğuma hızında oluşan mikro yapı değişikliklerini ve buna bağlı olarak elde edilen mekanik özellikleri araştırmışlardır. Bu çalışmadaki sonuçlar soğuma hızının artmasıyla ferritik-perlitik yapının iğnemi ferrite, beynite veya martenzite dönüştüğünü ortaya koymuştur. Ayrıca akma ve çekme dayanımı artarken sünekliğin önemli ölçüde azaldığı, en iyi dayanım süneklik kombinasyonunun ise 925°C'ye ısıtılıp takibinde havada (3°C/s) soğutma ile elde edildiği belirtilmiştir [7]. Türkmen ve Aras yapmış oldukları çalışmada, mikroalaşımli çelik malzemeleri 900°C'de 1 saat tavlama sonrası farklı ortamlarda (su, yağ, hava ve kum) soğutmuşlardır. Farklı ortamlarda yapılan soğutma işlemlerine bağlı olarak değişen soğuma hızının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar farklı soğuma hızına bağlı olarak yapıda ferrit ve perlit fazından martenzit fazına dönüşüm olduğunu, bu dönüşümün de sertlik değerlerini etkilediğini göstermiştir [8]. Qiao vd, 900°C'de 10 dakika östenitleştirilmiş 30CrNi3Mo çeliğinin 1-500°C/dk aralığındaki soğuma hızlarında soğutulmasıyla oluşan mikro yapı değişimlerini ve mikro sertliklerini incelemiştir.

Bu çalışmanın sonucunda çeliklerin ölçülen sertlik değerlerinin, soğuma hızının artmasıyla doğrusal olmayan bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca soğuma hızı 100°C/dk'dan daha büyük olduğunda, sertliklerde artan soğuma hızıyla birlikte çok az bir düşüş yaşandığı da gözlenmiştir [9]. Shanmugam vd, niyobyumlu mikro alaşımlı çeliklerin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine soğuma hızının etkisini incelediği çalışmasında; düşük soğuma hızlarında yapının ferrit ve perlit içerdiği, orta derece bir soğuma hızında yapının ferrit-perlite ek olarak çıta tipi beynitik ferrit ile dejenere perlit içerdiği ve hızlı soğuma hızlarında ise yapının ağırlıklı olarak çıta tipi beynitik ferritten oluştuğunu bildirmiştir [10]. Ayrıca niyobyumlu mikro alaşımlı çeliklerin yüksek soğuma hızında elde edilen yüksek dayanım-tokluk kombinasyonunun sebebi artan soğuma hızıyla ferrit-perlit yapının ağırlıklı olarak beynitik ferrit yapıya dönüşmesi olarak açıklanmıştır. Demir vd. yaptıkları çalışmada farklı ısıl işlemlere tabi tutulan Ç1040 ve 38MnVS6 çeliklerin mikro yapılarını ve mekanik özelliklerini değiştirmişlerdir. Tornalama yöntemiyle bu malzemelerin işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada, farklı ısıl işlem proseslerine tabi tutulan 38MnVS6

mikroalaşımli çeliğinden elde edilen yapıların, Ç1040 çeliğine göre daha ince taneli yapıların oluştuğu ve sertliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki malzemeye ait numunelerin işlenmesinde kesme hızının artması ile kesme kuvvetleri azalmıştır. Ancak Ç1040 malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetleri 38MnVS6 malzemelerin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerine göre daha düşük çıkmıştır. 38MnVS6 çeliğine ait numunelerin tornalanması ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, Ç1040 çeliğine ait numunelerin tornalanması ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre daha düşük ve daha düzenli olduğu görülmüştür [11]. Demir, ham malzeme, suda, havada ve fırında soğutulan mikroalaşımli çeliğin işlenebilirlik özelliklerini incelemiştir. Tornalama deneyleri dört farklı kesme hızlarında (60, 90, 120 ve 150m/dak) çok katmanlı kaplamalı sementit karbür takım kullanılırken ilerleme hızı ve talaş derinliği sırasıyla 0.1mm/dev ve 1 mm sabit tutularak gerçekleştirilmiştir. Kesme hızı ve iş parçası mikro yapısının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlar kesme hızının yüzey pürüzlülük değerlerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Ancak suda soğutulan numune hariç kesme kuvvetini, diğer numunelerin mikroyapı ve kesme hızının önemli ölçüde etkilemediği ifade edilmiştir [12]. Sivaraman vd. yapmış olduğu çalışmada çift fazlı mikroalaşımli çeliklerin işlenebilirlik deneylerini torna tezgahında gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi parametrelerin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar ilerleme hızının ve kesme derinliğinin kesme kuvvetinden daha fazla etkiye sahip olduğunu ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme hızının etkisinin daha fazla olduğunu göstermiştir [13].

Otomobil endüstrisinde 41Cr4 ıslah çeliği sıklıkla kullanılmaktadır. 41Cr4 çeliği sıcak dövme yapıldıktan sonra temperleme ve gerilme giderme tavlaması gibi ikinci bir ısıl işleme gerek duyulmaktadır. Buda maliyeti ve üretim zamanını artırmaktadır. Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımli olarak da bilinen (38MnVS6) mikroalaşımli çeliklerin içerdiği Niobiyum, Titanyum ve Vanadyum, gibi mikroalaşım elementlerine bağlı olarak ısıl işlem şartlarında karbon çeliklerine nazaran sertleşebilirlik özellikleri daha iyidir. Ayrıca bu çeliklerde görülebilen çökelti sertleşmesi mekanizması ısıl işlem sonrası havada soğutma şartlarında diğer çeliklerden daha üstün özellikler göstermesini sağlamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada sıcak dövme sonrasında kumda ve havada soğutulmasıyla farklı soğuma hızlarının mikroalaşımli çeliklerin kullanılacağı servis şartlarında daha üstün mekanik özellikler göstermesi hedeflenmiştir. Bu özellikte mikroalaşımli çeliklerin ikinci bir ısıl işleme gerek kalmadan (temperleme, gerilme giderme tavlaması gibi) kullanılır. Buda maliyeti ve üretim zamanını azaltmaktadır. Bu çalışmada kapalı kalıpta sıcak dövme sonrası farklı ortamlarda soğutulan 38MnVS6 mikroalaşımli ve 41Cr4 ıslah çeliklerinin, kaplanmış sementit karbür kesici takımla işlenmesi araştırılmıştır. Çeliklerin mikroyapısında ve sertlik değerlerindeki değişimin, kesme parametreleri, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Otomotiv sektöründe sıcak dövme ile üretilen rot, rot başı ve çeki kolu gibi otomotiv parçalarının üretiminde 41Cr4 ıslah çeliği kullanılmaktadır. Bu malzeme sıcak dövme sonrası temperleme ve gerilme giderme gibi bir takım ısıl işlem proseslerine tabi tutulmakta ve maliyeti artırmaktadır. Bu çalışmada 38MnVS6 mikroalaşımli ve 41Cr4 ıslah çeliklerine sıcak dövme işlemi sonrası farklı ortamlarda soğutulmuş mikro yapıları ve sertliklerindeki değişimler

incelenmiştir. 38MnVS6 mikroalaşımli çeliklerin içerisinde bulunan alaşım elementleri sayesinde daha homojen yapıda bir mikro yapı ve daha iyi sertleşebilirlik özellikleri göstermektedirler. Bu nedenle sıcak dövme sonrası farklı soğuma şartlarında mikroalaşımli çeliklerin daha üstün mekanik özellikler göstermiştir. Elde edilen ürünlerin soğuma ortamlarının etkisi ile değişen mikro yapıların ve sertliklerin işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılmış ve optimum kesme şartları ve mekanik özelliklerin belirlenmesi hedeflenmiştir.

### 3. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER (MATERIALS USED IN THE EXPERIMENTS)

Çemtaş firması tarafından üretilen numuneler Ø60mm ve boy 6m olarak temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan farklı kimyasal içeriğe sahip 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerinin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimi  
(Table 1. The chemical composition of the steels used in the experiments)

	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	V
38MnVS6	0.418	0.52	1.37	0.058	0.144	0.025	0.068	0.016	0.175	0.099
41Cr4	0.400	0.210	0.62	0.003	0.94	0.005	0.065	0.029	0.176	0.003

Dövme işlemi öncesi numuneler 46.6mm çapta ve 250mm boyunda tornalanmıştır. Kapalı kalıpta dövülecek numuneler 1200°C kadar indüksiyon tavlama sisteminde tavlansmıştır. Tavlanan numuneler eksantrik prese bağlı kapalı kalıpta dövme işlemine tabi tutularak numunelerin çapları 35 mm düşürülmüştür. Dövme işlemi sonrası numunelerin son sıcaklıkları 1150±20°C olarak ölçülmüş ve sonrasında numuneler kumda ve havada soğutulmuştur. Mikro yapı, sertlik ölçümlerinin ve tornalama deneylerinde doğru sonuçların alınabilmesi için dövme sonrası numunelerin yüzeyleri tornalanarak ısıl işlem sonucu oluşan oksitler ve dekarburizasyon bölgeleri ortadan kaldırılmıştır. Deney numunelerinin sertlikleri Buehler Micromet 5103 marka Sertlik Ölçüm Cihazında yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri HV1 (1000gr) yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden işlenebilirlik deneylerinin yapılacağı 2-3mm kısımdan dıştan içe doğru 10 adet sertlik ölçümünün ortalaması alınarak mikrosertlik değerleri belirlenmiştir. Mikro yapı incelemeleri, X50-X1000 büyütme kapasitesine sahip Nikon ECLIPSE L150 marka optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 1. Tornalama deneyleri için kesme parametreleri  
(Table 1. Cutting parameters for turning experiments)

Kesme Hızı, V (m/dk)	İlerleme, f (mm/dev)	Talaş Derinliği, a (mm)
180	0.04	0.6
	0.08	
	0.12	
	0.16	

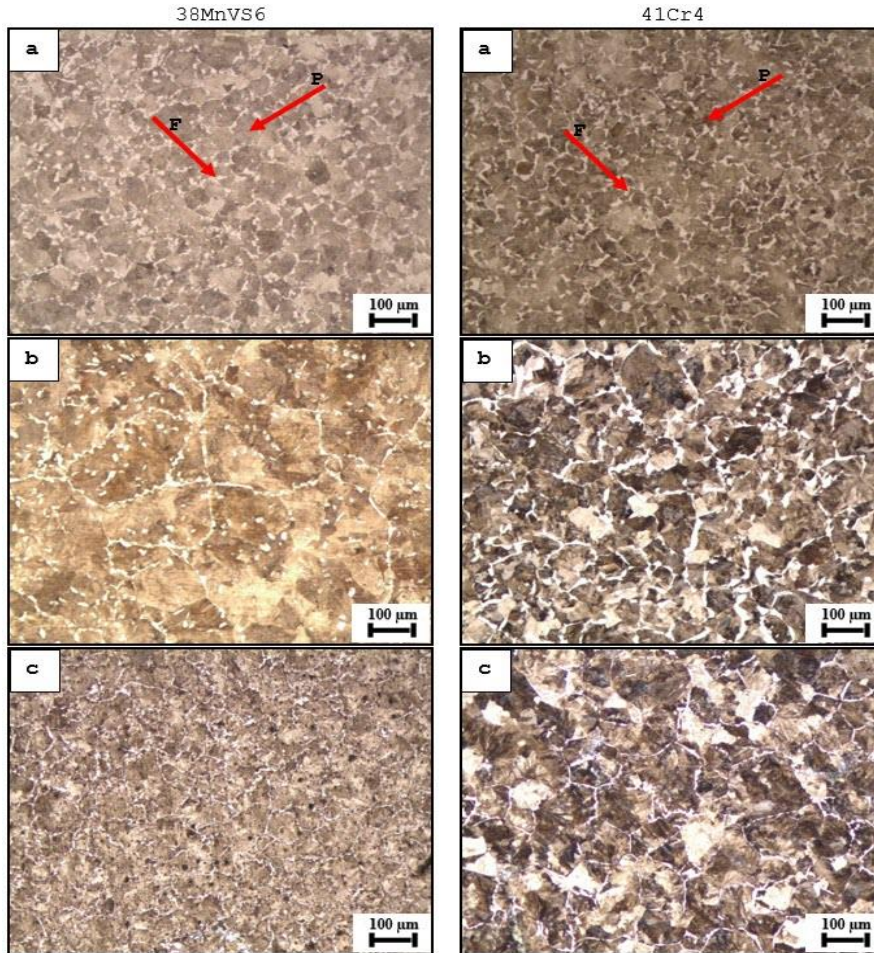
Tornalama deneyleri; FANUC kontrol ünitesine sahip olan CNC torna tezgâhında kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler Kennametal tarafından üretilen KCP25B kalite gurubunda ve ISO'ya göre WNMG 080404 FN geometrisinde karbür kesici takımların, DWLNR 2525 M08 kodlu bir takım tutucuya rijit olarak bağlanarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici uçların kaliteleri numunelere uygun seçilmiştir. Tornalama deneylerinde kullanılan kesme parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Numunelerin işlenmesi esnasında oluşan kuvvet bileşenleri; esas kesme kuvveti Fz (Fc), ilerleme kuvveti Fx (Ff) ve

radyal kuvveti  $F_y$  ( $F_r$ ) KISTLER 9257A tipi piezoelektrik dinamometre ile ölçülmüştür. Numuneleri tornalama sonucunda elde edilen yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçümleri "Mahr" marka Perthometer M1 tipi yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler numunelerin eksenlerine paralel olacak şekilde her ölçüm sonrasında kendi eksenini etrafında  $120^\circ$  döndürülerek üç farklı yüzeyde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucu bulunan yüzey pürüzlülük ( $R_a$ ) değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır.

#### 4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ (EXPERIMENTAL RESULTS AND EVALUATION)

##### 4.1. Mikroyapı ve Sertlik (Microstructure and Hardness)

Şekil 1'de 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerine ait ham malzemelerin (dövme uygulanmamış), dövme işlemi sonrası kumda ve havada soğutulmuş numunelerin mikroyapı resimleri verilmiştir. Dövme işlemi uygulanmamış 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerinin orijinal yapılarına ait mikro yapı görüntüleri incelendiğinde mikro yapıların farklı tane boyutlarında ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmektedir (Şekil 1a).

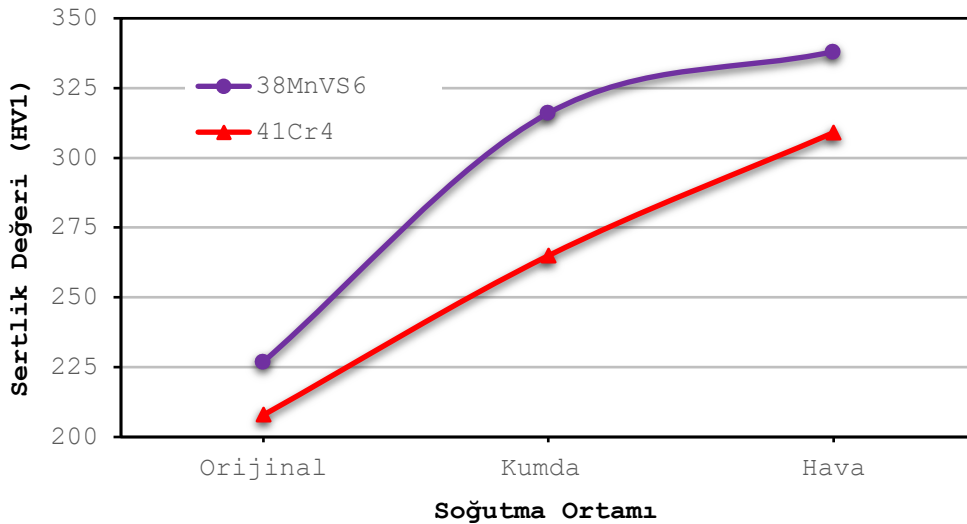


Şekil 1. 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliğinden alınmış optik mikroskop görüntüleri

a) Orijinal malzeme, b) Kumda, c) Havada soğutulmuş numuneler.  
(F: Ferrit, P: Perlit)

(Figure 1. Optic microscope images of 38MnVS6 and 41Cr4 steel  
a) As-recieved, the samples cooled in the b) sand, c) Air)  
(F: Ferrite, P: Perlite)

38MnVS6 ve 41Cr4 orijinal malzemelerin mikro yapı resimlerine bakıldığında 41Cr4 çeliğinin ferrit tane boyutu 38MnVS6 çeliğine göre daha kaba olduğu Şekil 1a'da görülmektedir. Sıcak dövme sonrası 38MnVS6 ve 41Cr4 çelikleri için kumda soğutulan numunelerin tane boyutları havada soğutulan numunelerin tane boyutlarına göre daha kaba taneli yapıların olduğu Şekil 2b ve c'de görülmektedir. Bunun nedeni östenit-ferrit dönüşümünden önce yeniden kristalleşme ve hatta tane büyümesi kumda soğuma gibi düşük soğuma hızlarında görülmektedir [14]. Ayrıca dövme işlemi sonucunda kumda ve havada soğutulan 38MnVS6 çeliğinin tane yapıları, 41Cr4 çeliğinin tane yapılarına göre daha ince tane yapılardan oluşmuştur. Bunun sebebi 38MnVS6 mikroalaşımli çeliğin kimyasal kompozisyonunda vanadyum elementinin bulunmasıdır. Çeliğin içerisinde vanadyumun bulunması VCN gibi çökeltilerin oluşmasına neden olur. Vanadyum çeliğin tane yapısını küçülterek yüksek miktarlarda ferritin tane sınırlarında çekirdekleşmesine izin verir. Sonuçlar Gündüz ve Çapar'ın [15] yaptığı çalışmayla paralellik göstermektedir. Şekil 2a'da, 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerine ait ham malzemelerin (dövme uygulanmamış), dövme işlemi sonrası kumda ve havada soğutulmuş numunelerin sertlik sonuçlarını göstermektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi 38MnVS6 çelik, ham malzeme, kumda ve havada soğutma şartları için sırasıyla 227, 316 ve 354 HV1 sertlik değerine sahip olmuştur. 41Cr4 çeliği ise aynı şartlar için 208, 263 ve 309 HV1 sertlik değerine ulaşmıştır. Havada soğutulan numuneler kumda soğutulan numunelere göre daha yüksek sertlik değeri göstermiştir. Bunun nedeni soğuma hızının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Havada soğutulan numunelerin kumda soğutulan numunelere göre daha yüksek soğuma hızına sahip olması çökelti boyutlarını etkileyerek daha ince ferrit ve perlit yapısından meydana gelmesine neden olmuştur.



Şekil 2. Dövme sonrası 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerinin farklı ortamlarda (orijinal malzeme, kumda ve havada soğutulan numunelere ait Vickers) sertlik değeri (VSD)

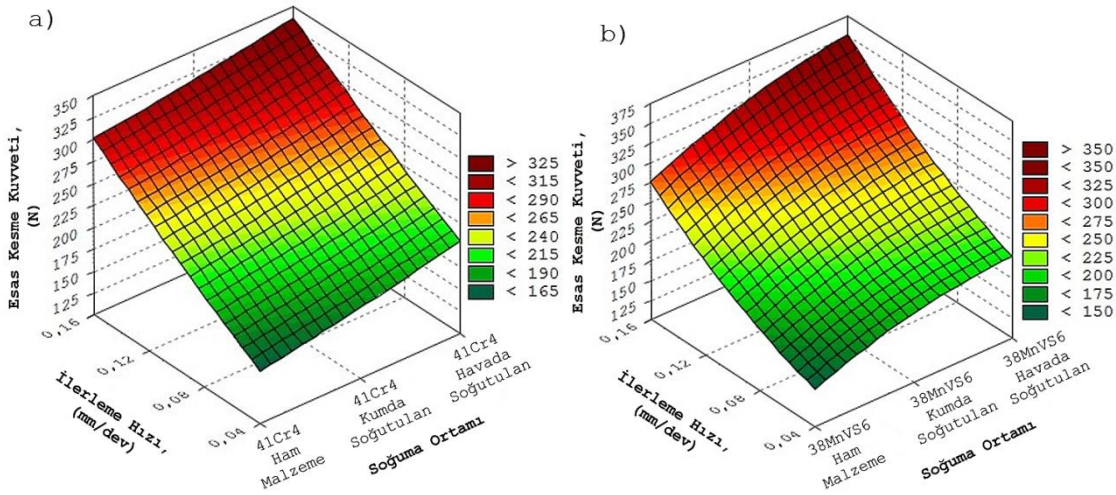
(Figure 2. Vickers hardness values (VSD) of the samples of steels cooled in the different environments (As-recieved, in the sand and air)

Ayrıca Şekil 2, 38MnVS6 çeliğin bütün şartlar için 41Cr4 çeliğine göre daha yüksek sertlik değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum 38MnVS6 çeliğinin ağırlık olarak %0.099 oranında V içermesinden kaynaklanmaktadır. Ollilainen vd, orta karbonlu vanadyum mikroalaşım çeliklerinde vanadyum miktarının ağırlık

olarak %0.085'e çıkması ile çeliğin sertliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Çeliğin sertliğinin artmasının nedeni ise ötektoid öncesi ve sonrası oluşan ferrit fazı içerisinde çökelen VC çökeltilerine bağlanmışlardır [16]. Bepari'de yapmış olduğu çalışmada, vanadyum içeren düşük karbonlu çelikler sürekli soğutulduklarında küçük VCN gibi çökeltilerin oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca soğuma hızının artması dönüşüm sıcaklığını düşürdüğünü ve yapıda homojen olarak dağılmış ufak VCN çökeltilerinin oluşmasına neden olduğunu belirtmiştir [17]. Benzer sonuçlar, Karabulut ve Gündüz'ün yapmış olduğu çalışmada da gösterilmiştir [18].

#### 4.2. Kesme Kuvvetleri (Cutting Forces)

Orijinal ve dövme işlemi sonrası farklı soğuma ortamlarına (kumda ve havada) tabi tutulmuş 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerinin işlenebilirlik deneyleri tornalama yöntemiyle yapılan deneyler ile belirlenmiştir. İlerleme hızlarına ve soğuma ortamlarına bağlı olarak elde edilen esas kesme kuvvetleri Şekil 3a ve b'de gösterilmektedir. 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerin sıcak dövme sonrası farklı ortamlarda soğutulması ile sertlik değerleri artmıştır. Şekil 3a ve b'de soğuma ortamlarına bağlı sertliklerin artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Kesme kuvvetlerinin artmasını sertliği artan numunelerin kesmeye karşı koyduğu direnç ile açıklanabilir. Her iki malzeme için soğuma ortamına bağlı en yüksek kesme kuvvetleri 0.16mm/dev ilerleme miktarında havada soğutulan numunelerin işlenmesinde ölçülmüştür. Şekil 3a'da havada soğutulmuş 38MnVS6 çelikte 0.16mm/dev ilerleme miktarlarında en yüksek kesme kuvveti 349.19N iken, Şekil 3b'de havada soğutulmuş 41Cr4 çeliğinde 0.16mm/dev ilerleme miktarlarında en yüksek kesme kuvveti 337.47N olarak kaydedilmiştir. Havada soğutulan 38MnVS6 çeliğin, 41Cr4 çeliğine göre kesme kuvvetlerinin daha yüksek çıkmasının nedeni, 38MnVS6 çeliğin, 41Cr4 çeliğine göre daha yüksek sertlik değerine sahip olmasına ile açıklanabilir.



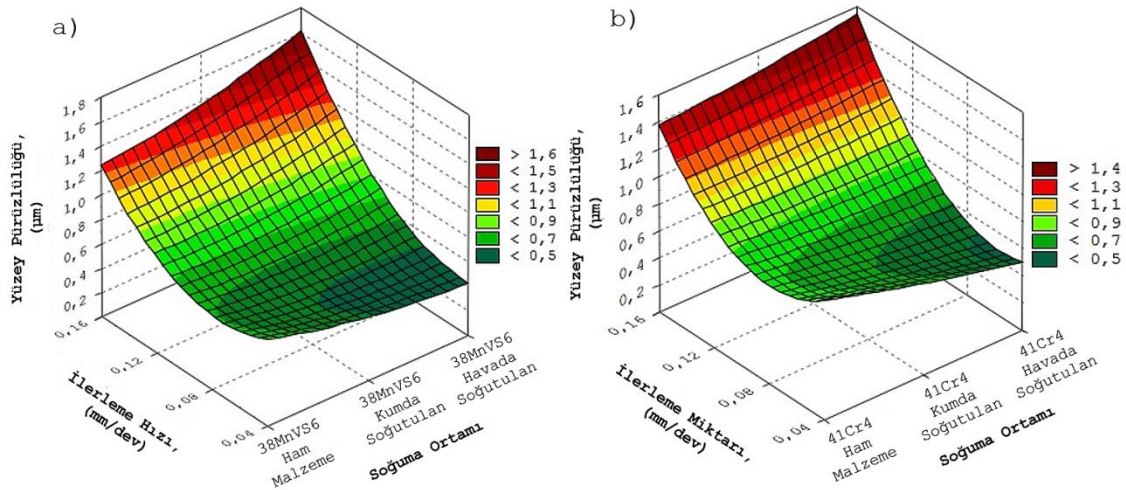
Şekil 3. Farklı ortamlarda soğutulan malzemelerin farklı ilerleme hızlarının kesme kuvvetine etkileri a)38MnVS6 çelik b) 41Cr4 çelik  
(Figure 3. The effects of speed of progress on cutting force of materials cooled in different environments a)38MnVS6 steel b) 41Cr4 steel)

Şekil 3a ve b'de 38MnVS6 ve 41Cr4 ham malzemelerin 0.04mm/dev ilerleme hızında sırası ile 154.95N ve 159.78N ile en düşük kesme kuvvetleri ölçülmüştür. İlerleme hızının 0.16mm/dev çıkması ile

38MnVS6 ham malzemede %78.73 ve 41Cr4 ham malzemede %86.47 oranında kesme kuvvetleri artmıştır. Sıcak dövme sonrası kumda soğutulan 38MnVS6 ve 41Cr4 çelikleri 0.04 mm/dev ilerleme hızında ham malzemeye göre kesme kuvvetleri 38MnVS6 çeliğinde %18, 41Cr4 çeliğinde %9.5 oranında artış olmuştur. İlerleme hızının 0.16 mm/dev kadar artırılması ile kumda soğutulan 38MnVS6 ve 41Cr4 çelikleri kesme kuvvetleri sırası ile %80.41 ve %83.5 oranında artma olmuştur. Dövme işlemi sonrası havada soğutulan ve 0.04mm/dev ilerleme hızında işlenen 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerinde kesme kuvveti ham malzemelere göre %36.83 ve %29.77 oranında artmıştır. İlerleme miktarlarındaki artışla doğru orantılı olarak kesme kuvvetleri artmıştır. Bunun sebebi ilerleme miktarı talaş kesit alanını ve esas kesme kuvvetini belirleyen en önemli faktördür. Dolayısıyla ilerlemedeki artışla beraber kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir eğilimdir. İlerleme miktarının artmasıyla esas kesme kuvvetindeki artış eğilimi bu çalışmada da gözlenmiştir. Bunun nedeni artan ilerleme miktarına bağlı olarak artan talaş kesitine atfedilmiştir [19 ve 20].

#### 4.3. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Şekil 4a ve b'de orijinal ve farklı soğuma ortamlarına tabi tutulmuş 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerinin sabit kesme hızı ve talaş derinliğinde ve dört farklı ilerleme hızlarında işlenmesiyle ilerleme hızı ve soğuma ortamına bağlı yüzey pürüzlülüğü ilişkisi Şekil 4a ve b'de verilmiştir.



Şekil 4. Farklı ortamlarda soğutulan malzemelerin farklı ilerleme hızlarının yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkileri  
a) 38MnVS6 çelik b) 41Cr4 çelik

(Figure 4. The effects of speed of progress on surface roughness of materials cooled in different environments  
a) 38MnVS6 steel b) 41Cr4 steel)

Şekil 4a'da sıcak dövme sonrası 0.04mm/dev ilerleme hızında işlenen 38MnVS6 ham malzemede (0.61µm), kumda (0.55µm) ve havada (0.45µm) soğutulan numunelerde en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. İlerleme hızının %300'lük artışı ile 0.16 mm/dev çıkması ile ham malzemede %101, kumda ve havada soğutulan numunelerde sırası ile %153.4 ve 248.88 oranında yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış olmuştur. Şekil 4b'de 0.04mm/dev ilerleme hızında işlenen 41Cr4 ham malzemenin (0.81µm) ve dövme işlemi sonrasında kumda (0.67µm) ve havada (0.57µm) soğutulan numunelerde en düşük yüzey pürüzlülük



değerleri ölçülmüştür. İlerleme hızının doğru orantılı olarak 0.16mm/dev çıkması ile yüzey pürüzlülük değerleri de ham malzemede (1.33µm), kumda (1.43µm) ve havada (1.58µm) soğutulan numunelerin yüzey pürüzlülüğü doğru orantılı olarak artmıştır.

Şekil 4a ve b'de 0.04mm/dev ilerleme hızında 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliğine ait numunelerde en düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. dövme işlemi sonrası havada soğutulan ve sertliği en yüksek olan 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliğine ait numunelerde optimum yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Orijinal ve kumda soğutulan numunelerin yüzey pürüzlülük değerinin, havada soğutulan numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinden yüksek olması bu malzemelerin havada soğutulan malzemeye göre sertliklerinin düşük ve dolayısıyla sünekliğinin yüksek olması ile açıklanabilir. 38MnVS6 çeliğin 41Cr4 çeliğine göre yüksek sertlikleri ve daha homojen mikroyapıları nedeniyle daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Numunelerin 0.16mm/dev ilerleme hızında işlenmesi ile ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin sertliğin artması ile yüzey pürüzlülük değerleri maksimum değerlere ulaşmıştır. Bunun nedeni kesici takımda oluşan muhtemel aşınmalardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün artması ilerlemenin karesi ile orantılıdır [21].

##### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, dövme işlemi sonrası farklı ortamlarda soğutulan 38MnVS6 mikroalaşımli ve 41Cr4 ıslah çeliklerinin mikroyapı-sertlik ilişkisi araştırılarak, numuneler üzerinde tornalama yöntemiyle işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerinin kumda ve havada soğutulması sonucu mikroyapı görüntülerinde ferritik ve perlitik yapıdan oluştuğu görülmüştür. Havada soğutulan numunelerin kumda soğutulan numunelere göre soğuma hızının daha hızlı olmasından dolayı havada soğuyan numunelerin mikroyapıları kumda soğuyan numunelere göre daha ince ferrit ve perlit yapılar oluşmaktadır.
- 38MnVS6 çelik, ham malzeme, kumda ve havada soğutma şartları için sırasıyla 227, 316 ve 354 HV1 sertlik değerine sahip olmuştur. 41Cr4 çeliği ise aynı şartlar için 208, 263 ve 309 HV1 sertlik değerine ulaşmıştır. Havada soğutulan numunelerin kumda soğutulan numunelere göre daha yüksek soğuma hızına sahip olması çökelti boyutlarını etkileyerek daha ince ferrit ve perlit yapısından meydana gelmesine neden olmuştur. Ayrıca 38MnVS6 çeliğin bütün şartlar için 41Cr4 çeliğine göre daha yüksek sertlik değerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum 38MnVS6 çeliğinin ağırlık olarak %0.099 oranında V içermesinden kaynaklanmaktadır.
- 38MnVS6 ve 41Cr4 çeliklerin soğuma ortamlarına bağlı sertlikleri artan numunelerinde esas kesme kuvvetlerinde arma eğilimi göstermiş ve en yüksek kesme kuvveti 0.16mm/dev ilerlemede havada soğutulan 38MnVS6 çelikte 349.19N ölçülmüştür.
- Her iki malzeme için hazırlanan numunelerde 0.04mm/dev ilerleme hızından sonra ilerleme hızının artışı ile doğru orantılı olarak esas kesme kuvvetlerinde artmıştır.
- 38MnVS6 mikroalaşımli ve 41Cr4 ıslah çelikleri için en iyi yüzey pürüzlülük değerleri 0.08mm/dev ilerleme havada soğutulan 38MnVS6 çelik için 0.48µm iken, aynı şartlarda 41Cr4 çelik için 0.50µm ölçülmüştür.

#### **TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)**

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜ-BAP-16/1-DR-169. İşlenebilirlik deneylerinin yapılmasını sağlayan Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü Öğretim Elamanlarına teşekkür ederiz.

#### **NOT (NOTICE)**

Bu çalışma, 5-8 Eylül 2018 tarihleri arasında Priştine (Kosova)'de düzenlenen 3<sup>rd</sup>International Science Symposium'da sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Metals Handbook, (1993). Heat Treatments of Steels, 10th Edition, ASM.
- [2] Uzkut, M. ve Özdemir, İ., (2001). Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 03:65-73.
- [3] Çalığülü, U., Aras, M. ve Türkmen, M., (2016). Temperleme İşleminin Yağda Soğutulan Çeliklerin Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerine Etkisi. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES).
- [4] Kimura, T. ve Kurebayashi, T., (2001). Niobium in Microalloyed Engineering Steels, Wire Rod and Case Carburized Products. Proc. Int. Symp. Niobium, Orlando, FL, Vol: 1, 801-872.
- [5] Demir, H., (2008). The Effects of Microalloyed Steel Pre-Heat Treatment on Microstructure and Machinability. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 35, 1041-1046.
- [6] Stout K.J., (1998). Engineering Surfaces-a Philosophy of Manufacture (A Proposal for Good Manufacturing Practise). Proc. Instn.Mech.B 212, 169-174.
- [7] Rasouli, D., Sh. Khameneh, A., Akbarzadeh, A., and Daneshi, G.H., (2008). Effect of Cooling rate on The Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed Forging Steel. Journal of Materials Processing Technology, 206, 92-98.
- [8] Türkmen, M. ve Aras, M., (2016). Isıl İşlem Şartlarının Mikroalaşımli Çeliklerin Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerine Etkisi. International Sciences Symposium (ISS).
- [9] Qiao, Z.X., Liu Y.C., Yu L.M., and Gao, Z.M., (2009). Effect of cooling rate on Microstructural Formation and Hardness of 30CrNi3Mo Steel. Applied Physics A, Volume:95, pp:917-922.
- [10] Shanmugam, S., Ramisetti, N.K., Misra, R.D.K., Mannering, T., Panda, D., and Jansto, S., (2007). Effect of cooling rate on the microstructure and mechanical properties of Nb-microalloyed steels. Materials Science and Engineering A, Volume:460-461, pp:335-343.
- [11] Demir, H., Çiftçi, İ., Türkmen, M., and Gündüz, S., (2011). Orta Karbonlu Alaşımli ve Alaşımısız Çeliklerde Isıl İşlem Şartlarının ve Sertliğin İşlenebilirliğe Etkisi. 6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium (IATS).
- [12] Demir, H., (2008). The effects of microalloyed steel pre-heat treatment on microstructure and machinability. Int J Adv Manuf Technol, Volume:35, pp:1041-1046.
- [13] Sivaramana, V., Sankaranb, S., and Vijayaraghavan, L., (2012). Machinability of Multiphase Microalloyed Steel. 11st CIRP Global Web Conference: Interdisciplinary Research in Production Engineering.

- 
- [14] Jahazi, M. and Eghbali, B., (2001). The Influence of Hat Forging Conditions on The Microstructure and Mechanical Properties of Two Microalloyed Steel. *J. Mater. Process. Tech.* 113:594-598.
- [15] Gündüz, S. and Çapar, A., (2006). Influence of Forging and Cooling rate on Microstructure and Properties of Medium Carbon Microalloy Forging Steel. *J. Mater. Sci. Lett.* Vol. 41:561-564.
- [16] Ollilainen, V., Kasprzak, W., and Hollapa, L., (2003). The Effect of Silicon, Vanadium and Nitrogen on the Microstructure and Hardness of Air Cooled Medium Carbon Low Alloy Steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 134, pp:405-412.
- [17] Bepari, M.A., (1990). Structure of Continuously Cooled Low-Carbon Vanadium Steel. *Metallurgical Transaction A*, 21:2839-2855.
- [18] Karabulut, H. and Gündüz, S., (2004). Effect of Vanadium Content on Dynamic Strain Ageing in Microalloyed Medium Carbon Steel. *Materials and Design* 25:521-527.
- [19] Korkut, İ. ve Dönertaş, M.A., (2003). Kesme Parametrelerinin Frezelemede Oluşan Kesme Kuvvetleri Üzerine Etkileri. *Politeknik Dergisi*, 6(1):385-389.
- [20] Mavia, A. ve Korkut, İ., (2009). Vermiküler Grafitli Dökme Demirin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09).
- [21] Özel, T., Hsu, T.K., and Zeren, E., (2005). Effects of Cutting Edge Geometry, Workpiece Hardness, Feed Rate and Cutting Speed on Surface Roughness and Forces in Finish Turning of Hardened AISI H13 Steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25:262-269.