



Evaluation of the effect of hot forging and cooling conditions on the microstructure, hardness and machinability of medium carbon DIN 41Cr4 steel

Bariş Özlü*¹, Mahir Akgün¹, Halil Demir²

¹Department of Machine and Metal Technologies, Aksaray University, Aksaray, 68100, Türkiye

²Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Karabük University, Karabük, 78050, Türkiye

Highlights:

- T Hot forging of DIN 41Cr4 tempered steel
- Evaluation of the change in microstructure and hardness values
- Effect on machinability of microstructure, hardness and cutting parameters

Keywords:

- DIN 41Cr4 steel,
- Hot forging,
- Microstructure and hardness,
- Cutting force,
- Surface roughness

Article Info:

Research Article

Received: 15.06.2021

Accepted: 28.01.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.952713

Correspondence:

Author: Bariş Özlü

e-mail:

barisozlu@aksaray.edu.tr

phone: +90 382 288 2000

Graphical/Tabular Abstract

In this study, the cooling in different environments (sand and air) after hot forging of DIN 41Cr4 tempered steel which is used in the automotive industry have been investigated effects on microstructure, hardness and machinability. The flow chart of hot forging and machinability tests is seen in Figure A.

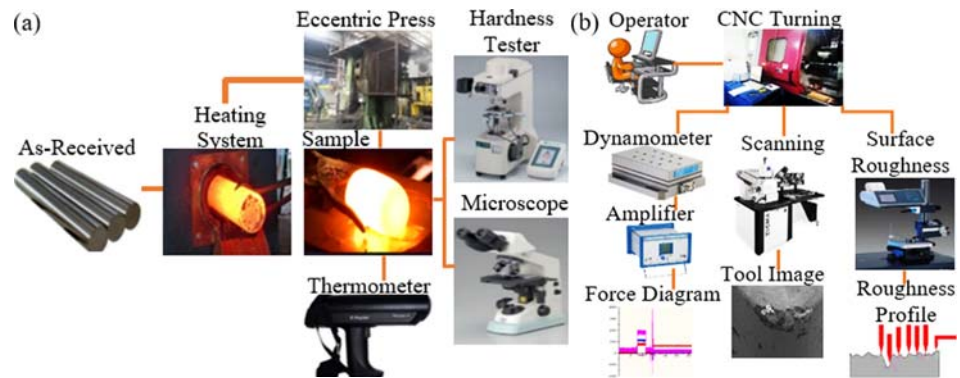


Figure A. (a) Experimental setup for hot forging, (b) Experimental setup for machinability

Purpose: This study aims to investigate the changes in the microstructure and hardness of the samples, which were cooled in different environments after hot forging with the as-received material. Another aim of the study is to determine the effect of hot forging and cooling conditions on the machinability.

Theory and Methods:

The samples were forged in eccentric press after annealing in the induction heating system at 1200 °C for 5 minutes. An infrared thermometer was used to measure the temperature of the samples after hot forging. Optical microscope was used to examine the microstructure the as-received material and samples cooled in sand and air after forging. Hardness measurements were performed hardness measuring device by applying 1 kg load according to Vickers method. Turning experiments were performed on a CNC lathe under dry cutting conditions. Piezoelectric dynamometer and equipment were used for cutting force measurements. The surface roughness values of the machined samples were measured with surface roughness measuring device.

Results:

According to the microstructure investigations, it was observed that the samples SC and AC after hot forging had different grain sizes and ferrite and pearlite structures compared to the as-received material. The hardness of the samples was increased depending on the increase in the cooling rate. In general, it has been observed that the main cutting force and surface roughness decrease with the cutting speed (180 m/min), but after this point, the main cutting force and surface roughness increase with increasing cutting speed (240 m/min). The main cutting force and surface roughness values increased depending on the increase in feed rate and depth of cut. According to the wear images of the cutting tools, coating removal, breaks and BUE were observed on the cutting tools.

Conclusion:

Different cooling conditions after hot forging have a positive effect on the microstructure, hardness and machinability of DIN 41Cr4 steel. In order to obtain high surface quality when machining samples obtained after hot forging, it is recommended to choose moderate cutting parameters.



Orta karbonlu DIN 41Cr4 çeliğin mikroyapısı, sertliği ve işlenebilirliği üzerine sıcak dövme ve soğutma koşullarının etkisinin değerlendirilmesi

Barış Özlü*¹, Mahir Akgün¹, Halil Demir²

¹Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, 68100, Aksaray, Türkiye

²Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük, 78050, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- DIN 41Cr4 ıslah çeliğine sıcak dövme uygulanması
- Mikroyapı ve sertlik değerlerindeki değişimin değerlendirilmesi
- Mikroyapı, sertlik ve kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.06.2021

Kabul: 28.01.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.952713

Anahtar Kelimeler:

DIN 41Cr4 steel,
sıcak dövme,
mikroyapı ve sertlik,
kesme kuvveti,
yüzey pürüzlülüğü

ÖZ

Bu çalışma, sıcak dövme işlemi uygulanan DIN 41Cr4 ıslah çeliğinin kumda ve havada soğutulmasıyla elde edilen numunelerin işlenebilirliğinin araştırılmasına odaklanmaktadır. İşlenebilirlik değerlendirmesi esas kesme kuvveti (Fc) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) bakımından yapılmıştır. DIN 41Cr4 orijinal malzeme (OM), kumda (KS) ve havada soğutulan (HS) numunelerin mikroyapı, ve sertlik değişimleri incelenmiştir. Tornalama deneyleri beş farklı kesme hızında, dört farklı ilerleme miktarında ve kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, sıcak dövme sonrası numunelerin soğuma ortamının sertlik ve mikroyapı üzerine önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür. Numunelerin tornalanmasında en düşük Fc OM'de 131,54 N ölçülür iken, en yüksek Fc HS numunede 337,49 N ölçülmüştür. Ra açısından değerlendirildiğinde, en düşük Ra HS numunede 0,505 µm elde edilirken, en yüksek Ra OM 1,793 µm ölçülmüştür. Sertliğin artması ve tane boyutunun küçülmesiyle Ra değerleri bir miktar azalır iken Fc değerlerinin belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. SEM incelemelerinde kesici takımlarda genel olarak yığıntı talaş (BUE) ve kırılmaların oluştuğu görülmüştür.

Evaluation of the effect of hot forging and cooling conditions on the microstructure, hardness and machinability of medium carbon DIN 41Cr4 steel

HIGHLIGHTS

- Hot forging of DIN 41Cr4 tempered steel
- Evaluation of the change in microstructure and hardness values
- Effect on machinability of microstructure, hardness and cutting parameters

Article Info

Research Article

Received: 15.06.2021

Accepted: 28.01.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.952713

Keywords:

DIN 41Cr4 steel,
hot forging,
microstructure and hardness,
cutting force,
surface roughness

ABSTRACT

This work DIN 41Cr4 tempered steel of hot forging applied focuses on the investigation of machinability of samples obtained by cooling in sand and air. The machinability evaluation has made in terms of main cutting force (Fc) and surface roughness (Ra). DIN 41Cr4 original material (OM), sand (SC) and air cooling (AC) samples has investigate microstructure and hardness changes. Turning experiments carried out at five different cutting speeds, four different feed rates and depth of cut. As a result, it has seen that the cooling environment of the samples after hot forging has a significant effect on the hardness and microstructure. The lowest main Fc was 131.54 N in the OM, while the highest Fc was 337.49 N in the AC sample in the turning of the samples. Evaluated in terms of Ra, the lowest Ra was obtained as 0.505 µm in the AC sample, while the highest Ra was obtained as OM 1.793 µm. It has been observed that the main Fc increases, while the Ra somewhat decreases depending on the increase in hardness and decrease in grain size. In general, SEM examinations, it has been seen that built-up edge (BUE) and breaks occurred in the cutting tools.

1. Giriş (Introduction)

Dövme, minimum atıkla yüksek yüklerle maruz kalan üstün özelliklere sahip parçalar üretmek için kullanılan en eski metal şekillendirme tekniklerinden birisidir [1, 2]. Günümüzde metal ve alaşımlarının şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun ana nedenleri, dövme parçaların mükemmel mekanik özellikleri ve çeşitli şekil ve boyutlardaki parçaların büyük miktarlarda hızlı ve ucuz bir şekilde üretilmesidir [3]. Özellikle yüksek mukavemet gerektiren krank, shaft, biyeler, dişliler, jet motor türbin parçaları ve hava araçları yapı elemanları gibi parçaların üretiminde kullanılmaktadır [4].

Dövme, döküm ve haddeleme gibi yöntemler ile elde edilen ürünlerin %80'ninden fazlası son biçim ve boyutlarına talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak getirilmektedir. İmalat endüstrisinde malzemelerin işlenmesi sırasında kesici takımların kısa sürede aşınması, kırılması ve deformasyonu gibi sebeplerle kullanılmaz duruma gelmelerinin nedeni talaşlı imalat sırasında doğru işleme parametrelerinin belirlenememesidir. Bu yüzden; üretilen parça boyutlarının ve kalitesinin bozulması iş parçası için ikinci bir talaşlı imalat işlemi gerektirecek derecede yetersiz olması ekonomik kayıplara neden olmaktadır. İşleme parametreleri üretilen mamul için önceden doğru seçilmemiş ise yukarıdaki kayıpların yaşanması kaçınılmazdır [5]. Ayrıca, bir malzemenin kimyasal kompozisyonu, mikroyapısı ve mekanik özellikleri de kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması gibi önemli işlenebilirlik çıktılarını etkilemektedir [6].

Literatürde, sıcak-soğuk dövme, farklı ısı işlemler ve sonlu elemanlar (FE) simülasyonu ile DIN 41Cr4 ıslah çeliğinin mekanik ve mikroyapı değişimlerinin incelendiği birçok çalışma görülmektedir. Örneğin, İsmail vd. DIN 41Cr4 çeliğinde temperleme sıcaklığının mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Numuneleri 30 dakika 850°C'de östenitleyip ardından yağda soğutarak 1 saat boyunca 200 ile 600°C arasında temperleme işlemine tabi tuttukları sonra hava 'da soğutmuşlardır. Sonuç olarak artan tavlama sıcaklığının akma dayanımını, gerilme dayanımını ve sertliği azalttığını, ancak tavlama sıcaklığının artmasıyla uzama, darbe enerjisi ve tane boyutunun arttığı sonucuna ulaşmışlardır [7]. Bayrak vd. DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerini 850°C'de fırında östenitleme ile ısı işleme tabi tutmuşlar ve 90°C'de yağda soğutmuşlardır. Numuneler farklı sıcaklıklarda temperlendikten sonra her temperleme sıcaklığı için mekanik özellikleri incelemişlerdir. Hazırlanan numuneler için yüksek ve düşük akma dayanımlarını belirlemek için çekme testinin yanı sıra sertlik ve yorulma testleri uygulanmıştır. 42CrMo4 numunelerine göre DIN 41Cr4 numunelerinin daha düşük sıcaklıkta temperlenmesi ile neredeyse aynı sertlik değerlerini elde edilebileceğini bildirmişlerdir. Yorulma testlerinde 42CrMo4 çeliğinin 41Cr4 çeliğine göre daha çok tercih edilebilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır [8]. Özbek ve Saraç, AISI 4140 çeliğine su verme işleminden sonra uygulanan temperleme işleminin mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde sertlik ölçümü, çekme ve darbe deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak, en yüksek sertliği, çekme ve akma dayanımını en düşük temperleme sıcaklığında elde etmişlerdir. Çekme ve akma dayanımının temperleme sıcaklığının artmasıyla azaldığını gözlemlemişlerdir [9]. Bununla birlikte DIN 41Cr4 çeliğinin işlenebilirliği ile ilgili çalışmalar değerlendirildiğinde, Kuntoğlu vd. AISI 5140 çeliğinin tornalanması sırasında tepki yüzey metodolojisi kullanılarak titreşim ve yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme koşullarını belirlenmesine çalıştığı görülmektedir. Sonuç

olarak, Yüzey pürüzlülüğü (%69,4) ve ekstenel titreşim (%65,8) üzerinde ilerleme miktarının etkin parametre olduğunu, radyal titreşim (%75,5) ve teğetsel titreşim (%64,7) üzerinde ise kesme kenarı açısı ve kesme hızının etkin parametreler olduğunu ifade etmişlerdir. Minimum titreşim ve yüzey pürüzlülüğü elde etmek için optimum kesme parametreleri 190 m/dak kesme hızı, 0,06 mm/dev ilerleme miktarı ve 60° kesme kenar açısı olarak belirlemişlerdir [10]. Bir diğer çalışmada ise Özlu vd. sıcak dövme işlemi sonrası yağ ve polimerli su gibi yüksek soğuma hızlarında soğutulan AISI 5140 çeliğinin mekanik özelliklerinin ve kesme parametrelerinin işlenebilirliğe etkisini araştırmışlardır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri ile sertlik ölçümlerini yapmışlardır. Tornalama deneylerinde kaplamalı seramik takım kullanmışlardır. Mikroyapının, sertliğin ve kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerine önemli etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır [11]. Wang vd. ticari olarak temin edilen SW500 ile plazma sinterlemeyle Si₃N₄ (SN91) ve Si₃N₄/WC (SW10) kaplanan seramik takım ve sinterlenmiş YG8 karbür kesici takımlar ile sertleştirilmiş DIN 41Cr4 çeliğinin tornalanmasında kesme performansı ve takım aşınmasını incelemişlerdir. Sonuç olarak, aynı kesme koşulları altında SW10 takıma, ticari seramik takıma (SW500) ve sinterlenmiş karbür takıma (YG8) göre SN91 takımın daha iyi aşınma direncine sahip olduğu sonucuna varmışlardır. SN91 takımın, takım ömrünü etkileyen en önemli faktörün kesme hızı olduğunu bildirmişlerdir.

Literatür taramasına göre farklı ısı işleme prosesleri ile DIN 41Cr4 çeliğinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çalışmaların olduğu ancak, sıcak dövme sonrası kum ve hava gibi düşük soğuma ortamlarında soğutulan DIN 41Cr4 ıslah çeliğinin işlenebilirliği üzerine kapsamlı bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu yüzden, bu çalışmada sıcak dövme sonrası KS ve HS DIN 41Cr4 ıslah çeliğinin mikroyapı ve sertlik incelemeleri yapılarak mikroyapı, sertlik ve kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Deneysel Metot (Experimental Method)

1.1. İş Parçası Malzemesi ve Sıcak Dövme İşlemi (Workpiece Material and Hot Forging Process)

Bu çalışmada deney malzemesi olarak sertleştirmeye elverişli olan ıslah çeliği olarak adlandırılan DIN 41Cr4 (AISI 5140) çeliği seçilmiştir. Bu malzemeler genelde krank mili, ön aks, aks kovani ve direksiyon mili gibi parçaların imalatında kullanılmaktadırlar. Deneylerde kullanılan DIN 41Cr4 çeliğinin Spectrolab F tipi kimyasal analiz cihazı ile yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

İş parçası malzemesi olarak 60 mm çapında ve 6000 mm boyutlarında DIN 41Cr4 (AISI 5140) çeliği temin edilmiştir. Dövme işlemi için numuneler 46,6 mm çapında ve 250 mm boyunda tornalanmıştır. Hazırlanan numuneler sıcak dövme işlemi öncesi 5 dak. ve 1200°C sıcaklıkta indüksiyon ısıtma sisteminde tavllanmış ve kapalı kalıpta 1600 ton'luk eksantrik pres ile dövülmüştür. Sıcak dövmenin etkisinin görebilmek amacıyla boyun sabit kalması şartıyla çapta %25 oranında daralma sağlanarak numunelerin çapları 35 mm düşürülmüştür. Dövme işlemi sonrası numuneler soğumaya tabi tutulmadan sıcaklık ölçümleri kızılötesi lazer sıcaklık ölçüm cihazı kullanılarak 1150±20 °C yapılmıştır. Dövme işlemi sonrası sıcaklıkları ölçülen numuneler kumda ve havada soğutulmuştur. Dövme sonucu deneyleri ve ölçüm

Tablo 1. DIN 41Cr4 çeliğinin kimyasal bileşimi (% ağırlık) (Chemical composition of DIN 41Cr4 steel (weight %))

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Cu	%Sn	%V
0,400	0,210	0,62	0,009	0,003	0,94	0,005	0,065	0,029	0,176	0,013	0,003

sonuçlarını etkileyebilecek numunelerin yüzeylerinde oluşan tufalları ve çarpımlarını gidermek için numunelerin yüzeylerinden 1 mm talaş kaldırılmıştır.

1.2. Mikroyapı İncelemeleri ve Sertlik Ölçümleri (Microstructure Examination and Hardness Measurements)

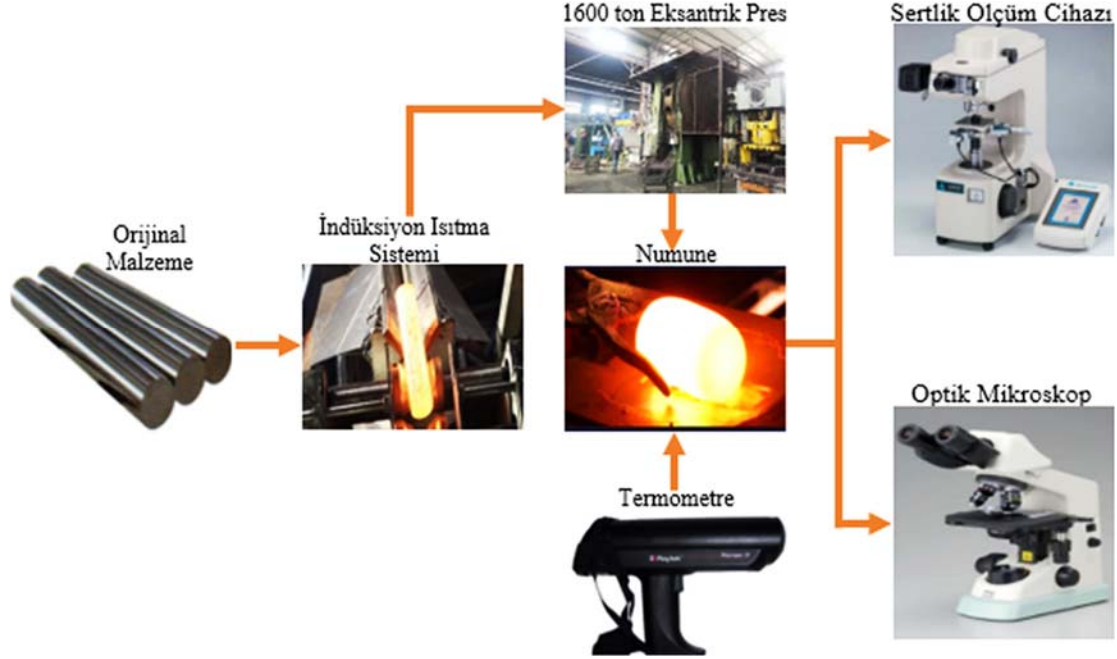
OM ile dövme sonrası KS ve HS numunelerin mikroyapı incelemeleri için 10x10x4 mm boyutlarında numuneler diskaton kesme cihazı kesilmiştir. Kesilen bu numuneler soğuk reçine ile kalıba alınmıştır. Kalıplanan numuneler sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 meshlik su zımparalarıyla zımparalanmıştır. Zımparalanan yüzeyler sırayla 6 µm, 3 µm ve 1 µm elmas pastalar ile parlatılarak etanol içerisine %2 nitrik asit karıştırılarak hazırlanan nital çözeltisiyle dağlanmıştır. Dağlanan yüzeyler alkol ile temizlenip kurutulduktan sonra optik mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan numunelerin mikroyapı görüntüleri Nikon ECLIPSE L150 optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Numunelerin mikroyapı görüntüleri kullanılarak ortalama doğrusal kesme ve nokta sayma yöntemleri kullanılarak ferrit ve perlit tane boyutu, ferrit ve perlit hacimsel oranları hesaplanmıştır. Ayrıca tane boyutunun belirlenmesinde hadde yönüne 45°de çizilen bir çizginin kestiği tane

sınırları sayılarak hesaplanmıştır. Numunelerin sertlik ölçümleri Buehler Micromet 5103 marka sertlik ölçüm cihazında Vickers yöntemi ile 1 kg yük uygulanarak yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinin tatmin edici güvenilirlik seviyesini sağlaması için her numune üzerinden en az 10 sertlik ölçümünün aritmetik ortalamalarının alınması ile belirlenmiştir. Şekil 1'de sıcak dövme düzeneği ve iş akışının şematik görünümü verilmiştir.

1.3. Kesici Takım, Takım Tutucu ve Kesme Parametreleri (Cutting Tool, Tool Holder and Cutting Parameters)

Tornalama deneylerinde, azaltılmış sıcaklıkta kimyasal buharlaştırma (MTCVD) yöntemi ile (TiCN-Al₂O₃-TiOCN) kaplanmış ve WNMG 080404 FN formunda KCP25B kalite gurubunda üretilmiş kaplamalı sementit karbür kesici takım kullanılmıştır. Deneyler esnasında kaplamalı karbür kesici takımların bağlanmasında DWLNR 2525 M08 KC04 takım tutucu tercih edilmiştir. Tornalama deneylerinde kullanılan kesme parametreleri kesici takım üretici firması kataloğunda belirtilen değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Tornalama deneyleri için belirlenen kesme parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

1.4. Takım Tezgâhi, Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri



Şekil 1. Sıcak dövme ve iş akışının şematik görünümü (Schematic view of hot forging and workflow)

Tablo 2. Tornalama deneylerinde kullanılan kesme parametreleri (Cutting parameters used in turning experiments)

Deney No	Kesme hızı, Vc (m/dak)	İlerleme miktarı, f (mm/dev)	Kesme derinliği, ap (mm)
1	120		
2	150		
3	180	0,04	0,6
4	210		
5	240		
6		0.04	
7		0.08	
8	180	0.12	0,6
9		0.16	
10			0,4
11			0,6
12	180	0,04	0,8
13			1

(Machine Tool, Cutting Force and Surface Roughness Measurements)

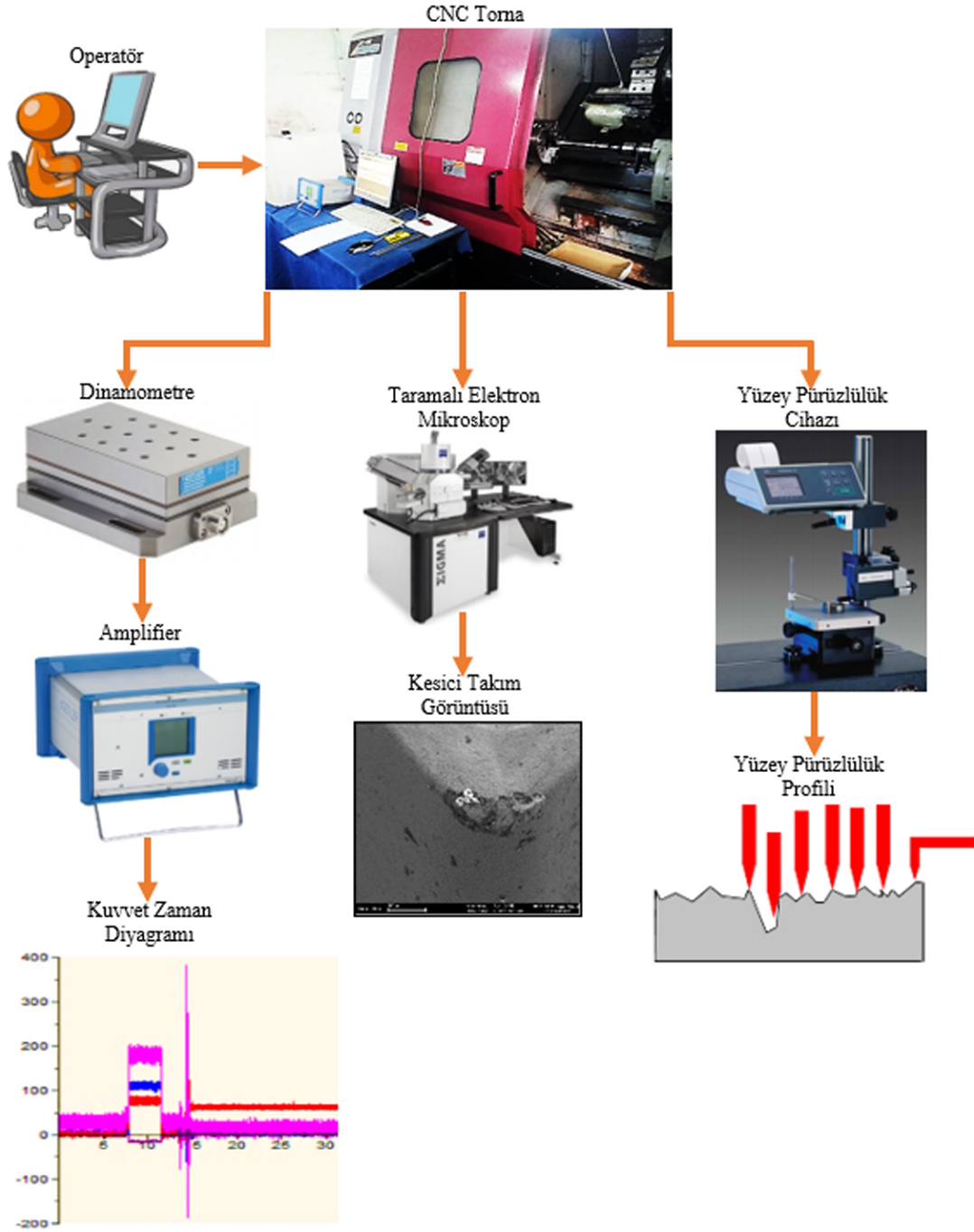
Tornalama deneyleri 10 kw güce sahip ve tezgâh fener mili 3500 dev/dak.'ya kadar çıkabilen CNC torna tezgâhında (TC-35 JOHNFORD) yapılmıştır. Tornalama deneyleri sırasında oluşan kuvvet bileşenleri KISTLER 9257B tipi piezoelektrik dinamometreyle ölçülmüştür. Yapılan çalışmada esas kesme kuvveti (Fc) dikkate alınmıştır. İşlenen numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tornalanan numuneler kendi ekseninde 90° döndürülerek iş parçası eksenine paralel 4 ölçümün aritmetik ortalaması hesaplanarak yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Ayrıca aşınan kesici takımlar üzerinde aşınma mekanizmaları Carl

Zeiss Ultra Plus Gemini FESEM marka taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Şekil 2'de tornalama deney düzeneği ve iş akışının şematik görünümü verilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar
(Results and Discussions)

3.1. Mikroyapıların ve sertliklerin değerlendirilmesi
(Evaluation of microstructures and hardness)

OM ile sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerin mikroyapı incelemeleri Şekil 3'de verilmiştir. Mikroyapı resimleri yardımı ile



Şekil 2. Tornalama deney düzeneği ve iş akışının şematik görünümü (Schematic view of the turning experimental setup and workflow)

hesaplanan ortalama doğrusal kesme tane boyutları, % ferrit ve % perlit miktarları Tablo 3’de sunulmuştur.

Şekil 3’de OM’nin mikroyapısının homojen olarak dağılmış ferrit ve perlit fazlardan meydana geldiği görülmektedir. Dövme işlemi sonrası KS ve HS numunelerin mikroyapıları orijinal numuneye göre farklı tane boyutlarında ferrit ve perlit fazlardan oluştuğu görülmektedir. KS numunelerin soğuma hızı, HS numunelerin soğuma hızından daha yavaş olduğu bilinmektedir. Şekil 3 ve Tablo 3’de görüldüğü gibi KS numunelerin mikroyapıları HS numunelere göre daha kaba ferrit ve perlit fazlardan oluşmaktadır. Dövme sonrası numunelerin soğuma hızı ferrit ve perlit fazların tane büyüklüğünü ve dağılımını etkilemektedir [12]. Ayrıca KS gibi düşük soğuma hızlarında soğutulan numunelerin tane boyutları OM göre artmıştır. Soğuma hızının azalması östenit-ferrit dönüşümünden önce yeniden kristalleşme ve hatta tane büyümesine neden olmaktadır [13]. Dövme sonrası HS numunelerin mikroyapılarına bakıldığında OM ve KS numunelerin mikroyapılarına göre daha ince yapılı fazlar oluştuğu görülmektedir. HS numunelerin soğuma hızının, KS numunelerin soğuma hızına göre daha yüksek olması daha ince yapılı ferrit fazların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum yüksek soğuma hızlarında ferrit tane yoğunluğunun, düşük soğuma hızından elde edilen ferrit

tane yoğunluğundan daha yüksek olması ile açıklanabilir. Ayrıca, ferrit tane boyutunun incelenmesi, soğuma hızının artması ile paralellik göstermiştir. Ferrit çekirdek yoğunluğunun artması soğutma hızının artmasının bir sonucudur [14].

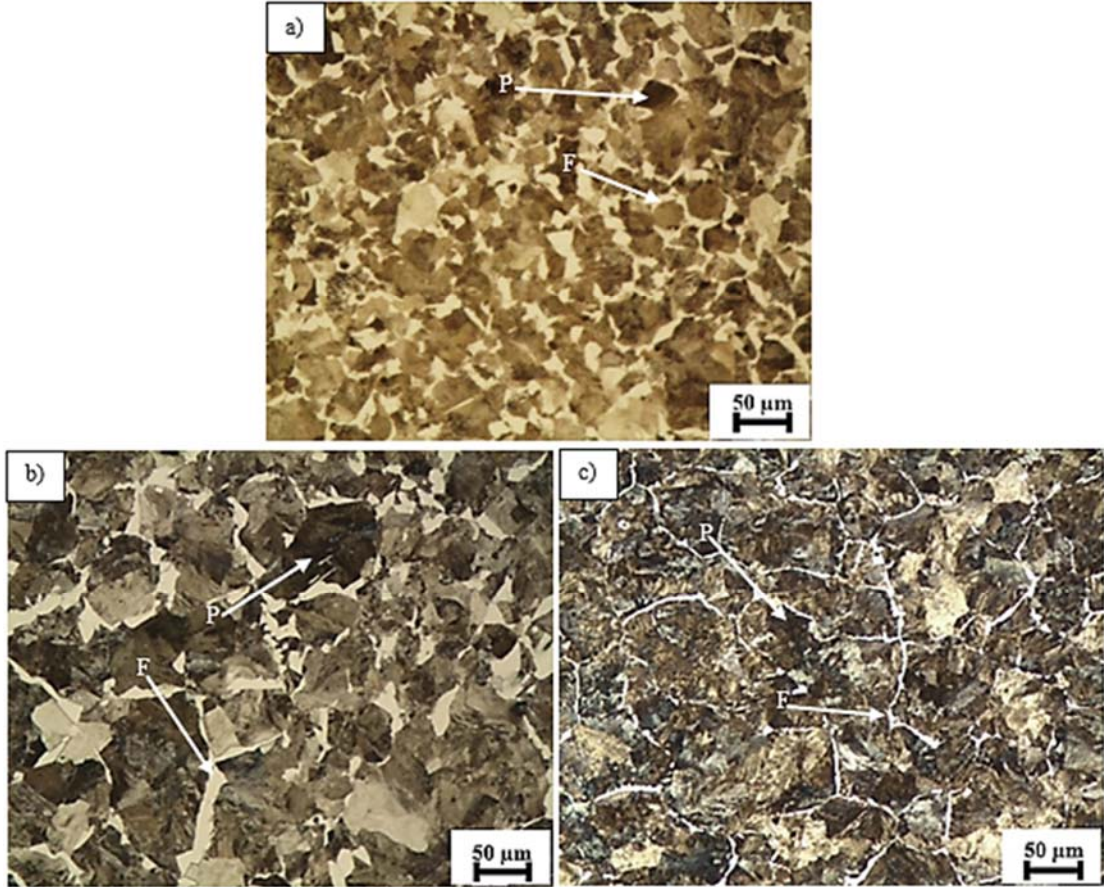
OM ile sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerin sertlik değişimleri Tablo 4’de verilmiştir. Dövme işlemi öncesi OM’nin sertliği 208 Hv1 ölçülmüştür. Tablo 4’de görüldüğü gibi sertlik değerlerinin artması soğuma hızının artmasının bir sonucudur. Örneğin, dövme sonrası KS numunesi için 265 Hv1 sertlik değeri, HS numunede soğuma hızının artması ile 309 Hv1 çıkmıştır. HS gibi düşük soğuma hızlarında soğutulan numunelerin sertlik değerlerinin yüksek elde edilmesi, daha küçük ferrit ve perlit fazların mikroyapılarda yer almasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca KS numunelerde daha büyük ferrit ve perlit fazların oluşması numunelerin sertliğini azaltmıştır [15].

Tablo 4. Deneysel numunelerin sertlik değerleri (Hardness values of experiment samples)

Numuneler	Sertlikler (Hv1)
OM	208
KS	265
HS	309

Tablo 3. Deneysel numunelerin % ferrit, % perlit ve tane boyutları sonuçları (% Ferrite, % perlite and grain size results of experiment samples)

Numuneler	Ferrit %	Perlit %	Ferrit Tane Boyutu (μm)	Perlit Tane Boyutu (μm)	Ortalama Tane Boyutu (μm)
OM	15,1	84,9	7,4	37,4	22,4
KS	16,7	83,1	9,87	51,3	30,59
HS	14,9	85,1	7,2	44,3	25,75



Şekil 3. Deneysel numunelerin mikroyapı görüntüleri; a) OM, b) KS ve c) HS (Microstructure images of experiment samples; a) AR, b) SC and c) AC)

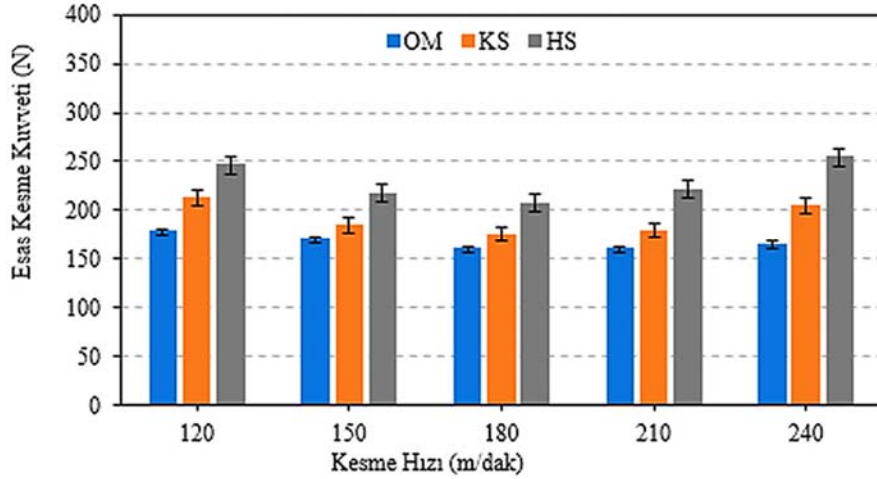
3.2. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi (Evaluation of Cutting Force)

İmal edilecek malzemenin mikroyapı özellikleri, sertlik değerleri ve kesme parametreleri kesici takım üzerine etki eden kuvvetleri önemli derecede etkilemektedir. Mevcut çalışmada kaplamalı karbür takımlar ile OM numune ve sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerin işlenmesi sırasında mikroyapının, sertliğin ve kesme parametrelerinin esas kesme kuvvetlerine etkileri araştırılmıştır.

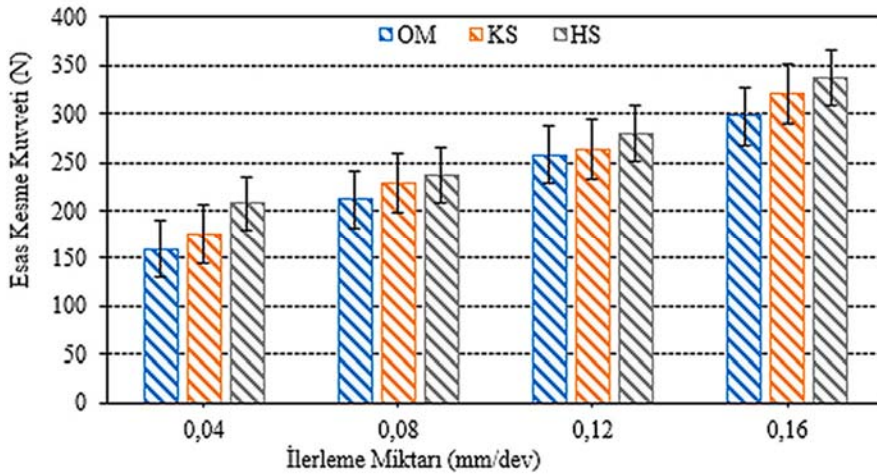
Şekil 4'de beş farklı kesme hızında (120, 150, 180 ve 240 m/dak), ilerleme miktarını (0,04 mm/dev) ve kesme derinliğini (0,6 mm) sabit tutularak kesme parametrelerinin esas kesme kuvvetine etkisini göstermektedir. 120 m/dak kesme hızında OM numunesi için esas kesme kuvveti 177,83 N ölçülmüştür. OM numunesine göre KS ve HS numunelerinde esas kesme kuvvetleri sırası ile %19,63 (212,73 N) ve %38,37 (246,06) oranlarında artmıştır. Düşük kesme hızlarında yapılan tornalama deneylerinde kesme bölgesinde daha az ısının oluşması iş parçasının sertliğinin azalmamasına ve esas kesme kuvvetlerinin yüksek çıkmasının nedeni olarak açıklanabilir [16]. Kesme hızının 180 m/dak'ya kadar çıkmasıyla esas kesme kuvvetleri OM numunede %11,3 ve dövme işlemi sonrası KS ve HS numunelerde ortalama %20 azalma olmuştur. Genellikle kesme hızının artırılması, kesme kuvvetlerinin azalmasına yol açtığı

görülmüştür. Bu eğilim esasen kesme hızının artmasıyla esas kesme kuvvetindeki azalma kesme bölgesindeki sıcaklık artışı nedeniyle takım-talaş temas alanının azalması ve ikinci deformasyon bölgesinde kayma dayanımının azalmasını nedeni olarak bildirilmiştir. Ayrıca artan kesme hızıyla takım-talaş ara yüzeyi sıcaklığının artması, takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme katsayısının azalması düşük esas kesme kuvvetinin oluşmasının bir nedeni olduğu bildirilmiştir [17-19]. 180 m/dak kesme hızından sonra kesme hızının 240 m/dak'ya çıkması ile esas kesme kuvvetleri tekrar artma eğilimi göstermiştir. OM ile KS numunelerde için esas kesme kuvvetinde sırası ile %3 ve %16,8 oranında artış görülürken, HS numune için %22,7'lik artışla 254,42 N ile en yüksek kesme kuvveti ölçülmüştür. Şekil 4'de görüldüğü gibi artan kesme hızıyla birlikte takım aşınmasının artması esas kesme kuvvetinin artmasına neden olmuştur. Yüksek kesme hızları kesici takım üzerine etki eden yüklerin artmasına, kesme bölgesinde sıcaklık artışının oluşmasına ve kesici takımın hızla aşınarak etkin kesme kabiliyetinin yitirmesi esas kesme kuvvetlerinin artmasının nedeni olduğu bildirilmiştir [20, 21].

Şekil 5'de, ilerleme miktarının esas kesme kuvveti üzerine etkisi dört farklı ilerleme miktarında (0,04, 0,08, 0,12, 0,16 mm/dev), sabit kesme hızında (180 m/dak) ve kesme derinliğinde (0,6 mm) incelenmiştir. 0,04 mm/dev ilerleme miktarında OM numune ile dövme işlemi sonrası KS ve HS numuneler için esas kesme kuvvetleri sırası ile



Şekil 4. Deney numunelerinin tornalanmasında kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetinin değişimi
(Change in the main cutting force depending on cutting speed in the turning of the experiment specimens)



Şekil 5. Deney numunelerinin tornalanmasında ilerleme miktarına bağlı esas kesme kuvvetinin değişimi
(Change in the main cutting force depending on feed rate in the turning of the experiment specimens)

159,78 N, 175,09 N ve 207,36 N ölçülmüştür. İlerleme miktarının 0,04 mm/dev'den 0,16 mm/dev kadar artması ile OM numune ile dövme işlemi sonrası KS ve HS numuneler için esas kesme kuvvetlerinde sırası ile %86,47, %83,5 ve %62,75 oranlarında artma görülmüştür. Artan ilerleme miktarı ile esas kesme kuvvetindeki artış hemen hemen doğru orantılıdır. İlerleme miktarının artmasıyla kaldırılan talaş hacminin artması nedeniyle plastik deformasyon ve titreşimin artması kesme anında ölçülen esas kesme kuvveti değerlerinin artmasına neden olmuştur. Ayrıca ilerleme miktarının artmasıyla kesme bölgesinde oluşan ısının artmasıyla kesici takımın meydana gelen aşınmalar esas kesme kuvvetini artırdığı söylenebilir [22, 23]. Dört farklı kesme derinliğinde (0,4, 0,6, 0,8 ve 1 mm) sabit ilerleme miktarında (0,04 mm/dev) ve kesme hızında (180 m/dak) yapılan deneylerde kesme derinliğinin esas kesme kuvveti üzerine etkileri Şekil 6'da verilmiştir. 0,4 mm kesme derinliğinde OM numune için esas kesme kuvveti 131,54 N ölçülmüştür. Dövme işlemi sonrası KS ve HS numunelerin esas kesme kuvveti OM numuneye göre %15 ve %22 oranlarında artma olmuştur. Kesme derinliğinin 0,4 mm'den 1 mm'ye kadar düzenli artırılması ile OM ile KS ve HS numunelerin esas kesme kuvvetlerinde sırası ile %80, %70 ve %51,75 oranlarında artma olmuştur. Yapılan bütün deneylerde kesme derinliğinin artmasıyla esas kesme kuvvetleri artmıştır.

Esas kesme kuvveti ve numunelerin sertlik ilişkisini değerlendirebilmek için farklı kesme hızlarında, ilerleme miktarlarında ve kesme derinliklerinde yapılan tornalama deneylerinde ölçülen esas kesme kuvveti değerlerinin ortalamaları alınarak ortalama esas kesme kuvveti belirlenmiştir. Ortalama esas kesme kuvveti ile sertlik değerleri arasındaki ilişki Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'deki ortalama esas kesme kuvveti ve sertlik değerleri arasındaki ilişkiyi değerlendirecek olursak; 208 Hv1 ile en düşük sertliğe sahip OM numunesi kesme hızına, ilerleme miktarına ve kesme derinliğine göre hesaplanan ortalama esas kesme kuvvetleri sırası ile 166,4 N, 231,82 N ve 181,41 N ile en düşük ortalama esas kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Ancak sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerin sertliği OM numunesine göre sırası ile %27,4 ve %48,56 oranlarında artma olmuştur. OM numunesine göre KS ve HS numunelerin kesme hızına göre hesaplanan ortalama esas kesme kuvvetleri sırası ile %14,96 ve %37,74 oranlarında artma eğilimi göstermiştir. Bu durumun benzeri ilerleme miktarına ve kesme derinliğine göre hesaplanan ortalama esas kesme kuvvetlerinin artışında da görülmüştür. Yüksek soğuma hızlarında soğutulan

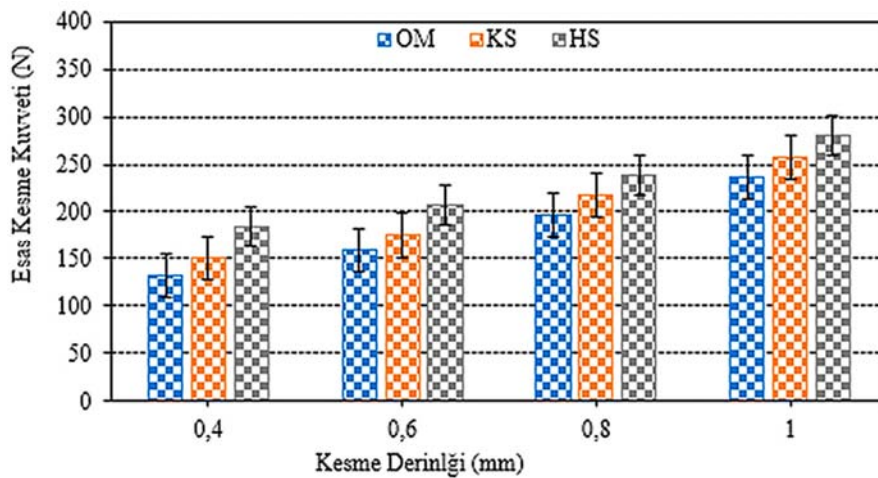
numunelerin mikroyapılarında küçük ferrit ve perlit fazların oluşması sertliğin artmasına neden olmaktadır. Özellikle HS numunenin OM ve KS numunelere göre mikroyapısında daha küçük ferrit ve perlit fazların oluşması ile artan sertlik ortalama esas kesme kuvvetlerinin yüksek çıkmasının nedeni olduğu düşünülmektedir. Mikroyapısında kaba ferrit ve perlit fazları bulunduran KS numunenin OM numunesine göre ortalama esas kesme kuvvetlerinin yüksek çıkmasının nedeni mikroyapıda kaba fazların oluşmasına rağmen artan sertlik ortalama esas kesme kuvvetlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Genel olarak sertliği artan numunelerin işlenmesi sırasında kesmeye karşı oluşturdukları yüksek direnç ortalama esas kesme kuvvetlerinin artmasının bir nedeni olarak söylenebilir.

3.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi (Evaluation of surface roughness)

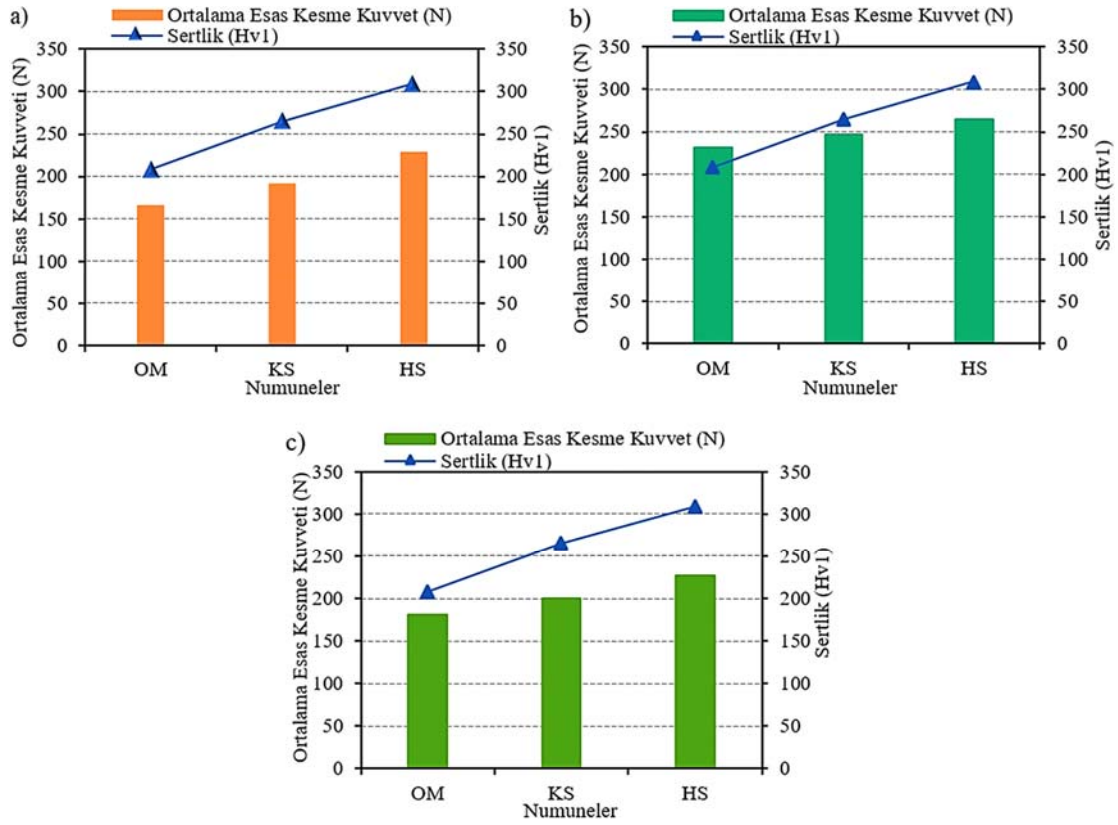
Genel olarak kesme parametrelerinin doğru seçilmesi üretim maliyetinin azaltılmasının yanı sıra aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü üzerinde de olumlu etkilere sahiptir. Tornalama deneylerinde kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve kesici takım uç yarıçapı gibi birçok işleme parametreleri yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemektedir [24]. Yapılan deneysel çalışmalarda; OM numune ile sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerinin farklı kesme parametreleri ile işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülükleri değerlendirilmiştir.

OM numunesi ile sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerin beş farklı kesme hızında, sabit ilerleme miktarında ve kesme derinliğinde tornalanması sonucu kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 8'de verilmiştir. 120 m/dak kesme hızında en yüksek yüzey pürüzlülük değeri OM numunesi için 1,79 μm ölçülmüştür. KS ve HS numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri OM numunesine göre %26,82 ve %32,96 oranlarında azalmıştır. Kesme hızının 240 m/dak'ya kadar artması ile OM numunesi için yüzey pürüzlülük değeri azalarak 0,66 μm olmuştur.

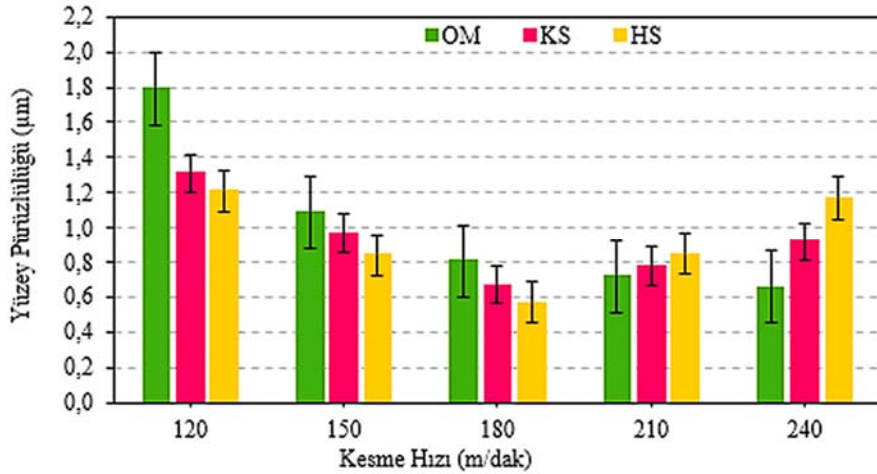
KS ve HS numuneleri için kesme hızının 120 m/dak'dan 180 m/dak'ya kadar artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde %49,61 ve %52,5 oranında azalma olmuştur. Bu noktada en düşük yüzey pürüzlülük değeri havada soğutulan numunede 0,57 μm olarak tespit edilmiştir. Kesme hızının artırılmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerindeki bu azalma beklenen bir durumdur. Literatürde, yüzey pürüzlülük değerlerinin azalma eğilimi sergilemesi için kesme hızının artırılması uygulanan en yaygın yöntemdir [25-28]. Kesme hızının



Şekil 6. Deney numunelerinin tornalanmasında kesme derinliğine bağlı esas kesme kuvvetinin değişimi
(Change in the main cutting force depending on the depths of cut in the turning of the experiment specimens)



Şekil 7. Ortalama esas kesme kuvveti ve sertlik arasındaki ilişkisi a) Kesme hızı göre ortalama esas kesme kuvveti, b) İlerleme miktarına göre ortalama esas kesme kuvveti, c) Kesme derinliğine göre ortalama esas kesme kuvveti (Correlation between the average main Fc and hardness a) Average main cutting force according to cutting speed, b) Average main cutting force according to feed rate, c) Average main cutting force according to depth of cut)



Şekil 8. DIN 41Cr4 çeliğine ait numunelerin tornalanmasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim (The change in the surface roughness depending on the cutting speed in turning of samples belonging to DIN 41Cr4 steel)

180 m/dak sonra 240 m/dak kadar artması ile dövme işlemi sonrası KS ve HS numunelerinin yüzey pürüzlülük değerlerinde %39,39 ve %92,98 artma olmuştur. Bu artışı, kesme hızının artmasıyla takım talaş temas alanındaki azalma, yüksek kesme parametreleri ile takım aşınması ve işlenmiş yüzeyin aşırı deformasyonu ile açıklanabilir [29]. Şekil 9'da numunelerin dört farklı ilerleme miktarında, sabit kesme hızında ve kesme derinliğinde işlenmesi sonucu kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi verilmiştir. OM numunesinin 0,04 mm/dev ilerleme miktarında yüzey pürüzlülüğü

0,81 µm ölçülmüştür. KS ve HS numunelerin yüzey pürüzlülükleri OM göre %18,52 ve %29,63 oranlarında azalma olmuştur. İlerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğünün artması beklenen bir durumdur ancak ilerleme miktarının 0,04 mm/dev'den 0,08 mm/dev çıkarılmasında OM, KS ve HS numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinde ortalama %10'luk bir iyileşme görülmüştür. Bu durum, 0,4 mm uç yarıçapına sahip kesici takımlarla yapılan ince işleme şartlarında olumsuz bir reaksiyonu olarak değerlendirilebilir. 0,4 mm uç yarıçapı için ISO 3685'de 1 mm'lik talaş derinliği referans

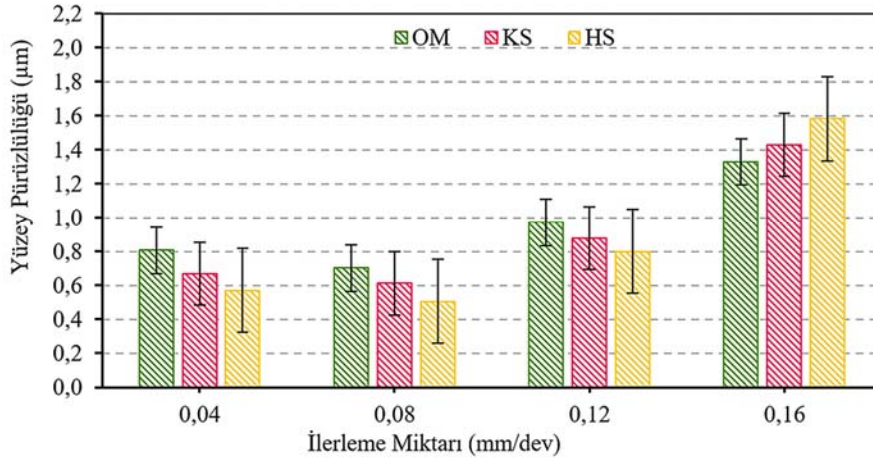
alındığında minimum ilerleme miktarının 0.10 mm/dev olduğu, fakat 0.08 mm/dev ilerleme verilen sınırlar arasında kaldığı görülmüştür. Bu durum Boy vd. yaptığı çalışma ile de örtüşmektedir [36]. İlerleme miktarının (0,08-0,16 mm/rev) artırılması ile OM numunesi ile sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri sırası ile %89, %133 ve %213,3 oranlarında artarak maksimum yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşmıştır. İlerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğünün artması arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu göstermiştir. İlerleme miktarının artmasıyla birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına buda kesme kuvvetlerinin ve titreşimin artmasına ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur. Ayrıca, ilerleme miktarındaki ve kesme hızındaki artış takım iş parçası ara yüzeyindeki sıcaklığın artmasına ve buna bağlı olarak takım aşınmasının artmasına ve yüzey pürüzlülüğünün bozulmasına neden olmaktadır (Şekil 12). Literatür çalışmalarında yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilmesi için ilerleme miktarını azaltmak yaygın bir uygulama olduğu görülmüştür [29-35]. Yapılan tornalama deneylerinde ilerlemenin düşürülmesi ile yüzey pürüzlülüğündeki bu iyileşme Şekil 9'da görülmektedir.

Dört farklı kesme derinliğinde, sabit kesme hızında ve ilerleme miktarında işlenen numunelerin yüzey pürüzlülüklerindeki değişim Şekil 10'da verilmiştir. 0,4 mm kesme derinliğinde OM numunesinin yüzey pürüzlülüğü 0,85 µm ölçülmüştür. KS ve HS numunelerin

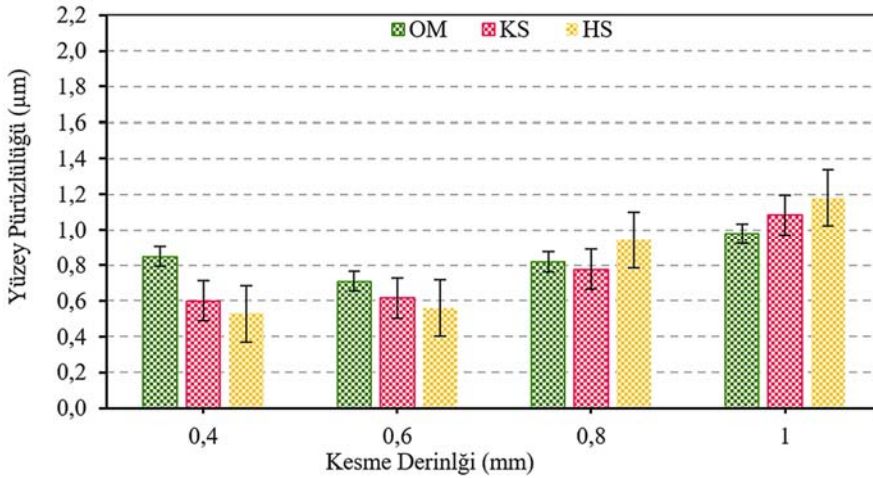
yüzey pürüzlülük değerleri OM numunesine oranla %26,38 (0,6 µm) ve %37,65 (0,53 µm) azalarak en iyi yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşmıştır. Kesme derinliğinin 0,4 mm'den 1 mm kadar artırılması ile KS ve HS numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri düzenli olarak artma eğilimi sergileyerek %80,91 ve %123,43 oranlarında artarak maksimum yüzey pürüzlülük değerleri görülmüştür. OM numunesi için kesme derinliğinin 0,6 mm çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değeri %16,47 (0,71 µm) azalmış ve bu noktadan sonra OM numunesi için kesme derinliğinin 1 mm kadar çıkması ile OM numunesinin yüzey pürüzlülüğü maksimum değere çıkarak %38 (0,977 µm) oranında artış göstermiştir.

Yüzey pürüzlülüğü ve numunelerin sertlik ilişkisini değerlendirebilmek için farklı kesme hızlarında, ilerleme miktarlarında ve kesme derinliklerinde yapılan tornalama deneylerinde ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü ve sertlik değerleri ilişkisi Şekil 11'de verilmiştir.

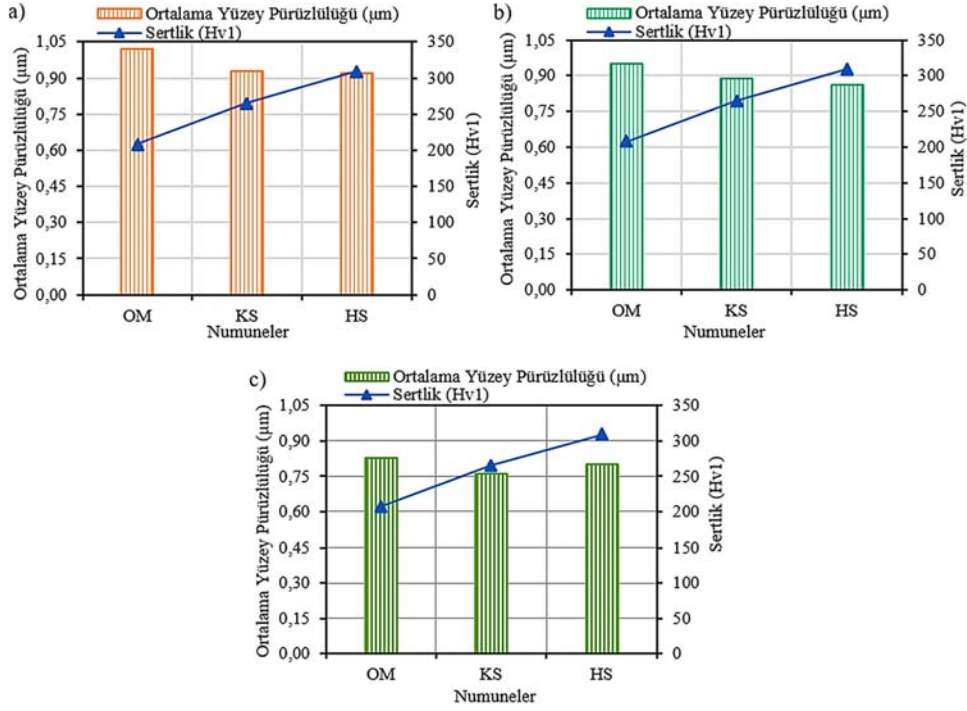
Kesme hızına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlendirecek olursak; 208 Hv1 sertliğe sahip OM numunesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü 1.02 µm hesaplanmıştır. KS ve HS numunelerin sertlik değerlerinin OM numunesine göre sırası ile %27,4 ve %48,6 artması ile ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinde de sırası ile %8,8 ve 9,8



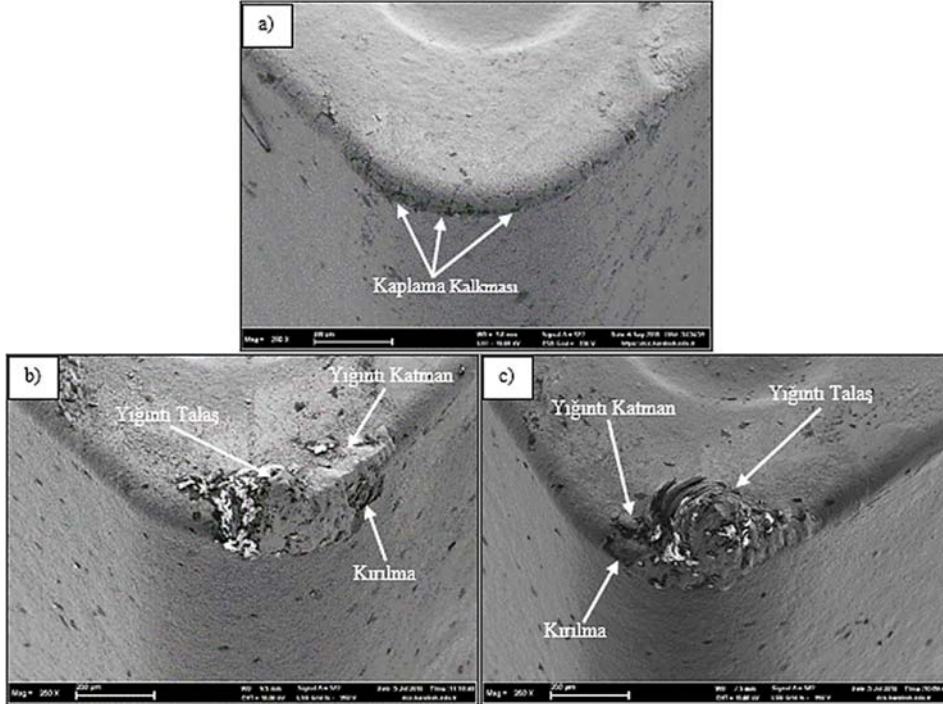
Şekil 9. DIN 41Cr4 çeliğine ait numunelerin tornalanmasında ilerleme miktarına bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim (The change in the surface roughness depending on the feed rate in turning of samples belonging to DIN 41Cr4 steel)



Şekil 10. DIN 41Cr4 çeliğine ait numunelerin tornalanmasında kesme derinliğine bağlı yüzey pürüzlülüğündeki değişim (The change in the surface roughness depending on the depths of cut in turning of samples belonging to DIN 41Cr4 steel)



Şekil 11. Ortalama yüzey pürüzlülüğü ve sertlik arasındaki ilişkisi a) Kesme hızı göre ortalama yüzey pürüzlülüğü, b) İlerleme miktarına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü, c) Kesme derinliğine göre ortalama yüzey pürüzlülüğü
(Relation between average main cutting force and hardness a) Average main cutting force according to cutting speed, b) Average main cutting force according to feed rate, c) Average main cutting force according to depth of cut)



Şekil 12. Deneysel sonucu ölçülen en yüksek kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğünün ölçüldüğü kesici takım Tarama Elektron Mikroskop (SEM) görüntüleri a) Orijinal malzeme, b) Kumda soğutulan ve c) Havada soğutulan
(Scanning Electron Microscope (SEM) images of the cutting tool where the highest cutting force and surface roughness measured as a result of the experiments are measured a) Original material, b) Cooled in sand and c) Cooled in air)

oranlarında azalma olmuştur. Bu durumun benzeri ilerleme ve kesme derinliğine göre ortalama yüzey pürüzlülüklerinde de görülmüştür. Şekil 3'de görüldüğü gibi OM ve KS numuneleri, HS numuneye göre

perlit fazlar arası mesafe artmıştır. Bu artış OM ve KS numunelerin HS numuneye göre yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmuştur. Ayrıca kaba perlit fazın tornalama deneylerinde yüzey

pürüzlülüğünün yüksek çıkmasının diğer bir nedenidir. Perlit fazın artması sonucu tormalama sırasında gerçekleşen kesme işleminin yumuşak fazlarda gerçekleşmesi ile talaş koparak akmakta ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde Katayama ve Toda yaptığı çalışmada da kesme işleminin yumuşak fazlarda meydana gelmesinde iş parçasının sünek kopması ile ayrılması sonucu yüzey pürüzlülüğünün arttığını bildirmişlerdir [37]. Ayrıca Özçatalbaş yaptığı çalışmada kesme işleminin yumuşak fazlarda gerçekleştiğinde BUE uzunluğunun iş parçası yüzeyinde kalması ile yüzey pürüzlülüğünü artıracağını bildirmiştir [38]. KS numunesinin OM numunesine göre daha kaba perlit fazların oluşmasına rağmen yüzey pürüzlülüğünün düşük olması sertlik değerlerinin artması ile BUE oluşum eğiliminin azalması yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Genel olarak sertliğin belli bir değere kadar artışı yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesine neden olmuştur. Ancak sertliği artan numunelerin işlenmesinde kesme parametrelerinin belli seviyelerinden sonra kesici takım aşınmalarının arttığı buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmüştür.

Genel olarak yapılan tormalama deneylerinde kesme hızının, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin en yüksek değerlere çıkması ile esas kesme kuvvetinin ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Buda kesici takımlar üzerinde görünen kaplama kalkması, yığıntı talaş, yığıntı katman ve kırılma gibi aşınma türleri ile açıklanabilir.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Yapılan çalışmada OM numunesi ile sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerin mikroyapı, tane boyutları ve sertlik değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca sıcak dövme sonrası numunelerin farklı ortamlarda soğutulması sonucu mikroyapı ile sertliklerindeki değişimin ve kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmış. Çalışmalar sonunda elde edilen sonuçlar değerlendirilerek aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- OM numunesi ile sıcak dövme işlemi sonrası KS ve HS numunelerin mikroyapıları incelendiğinde, KS numunenin soğuma hızının, HS numunenin soğuma hızına göre daha yavaş olmasından dolayı, KS numunenin mikroyapısı HS numuneye göre daha kaba perlit ve ferrit fazlardan oluştuğu görülürken, KS gibi düşük soğuma hızlarında soğutulan numunelerde ötektoid öncesi ferritin tane sınırlarında ağ şeklinde dağılırarak OM göre mikroyapının daha büyük perlit ve ferrit fazlardan oluştuğu görülmüştür.
- Sıcak dövme sonrası KS ve HS numunelerin soğuma hızına bağlı sertlik değerleri OM numunesine göre artmıştır. En yüksek sertlik değeri en yüksek soğuma hızına sahip HS numunede 309 Hv1 ölçülmüştür.
- Tormalama deneyleri sonucu en düşük esas kesme kuvveti (kesme hızı: 180 m/dak, ilerleme miktarı: 0,04 mm/dev ve kesme derinliği: 0,4 mm) 131,54 N ile OM numunesinde ölçülürken, en yüksek esas kesme kuvveti (kesme hızı: 180 m/dak, ilerleme miktarı: 0,16 mm/dev ve kesme derinliği: 0,6 mm) 337,49 N ile HS numunede elde edilmiştir.
- Deneyler sonucu en düşük yüzey pürüzlülüğü (kesme hızı: 180 m/dak, ilerleme miktarı: 0,08 mm/dev ve kesme derinliği: 0,6 mm) 0,505 µm ile HS numunede ölçülürken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü (kesme hızı: 120 m/dak, ilerleme miktarı: 0,04 mm/dev ve kesme derinliği: 0,6 mm) 1,793 µm ile OM numunesinde ölçülmüştür.
- Numunelerin tane boyutlarının azalması ve sertliğin artması kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmuştur. Ancak KS numunede tane büyümesi meydana gelmesine rağmen artan sertlik değeri kesme kuvvetinin artmasına neden olmuştur.

- Uygun kesme hızında, ilerleme miktarında ve kesme derinliğinde yapılan deneylerde numunelerin tane boyutlarının azalması ve sertliğin artması yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşmeye neden olmuştur.
- Düşük kesme hızlarında iri taneli mikroyapıya ve düşük sertliğe sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkmasının nedeni kesici takım üzerinde oluşan BUE'nin neden olduğu,
- Mikroyapının küçük tanelerden oluşması, sertliğin artması ve artırılan kesme hızı ile birlikte meydana gelen kesici takım aşınmaları yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olduğu,
- Kesici takımların SEM görüntüleri incelendiğinde kesici takımlar üzerinde kaplama kalkması, kırılmalar, yığıntı katman ve yığıntı talaş oluşumları görülmüştür.

Kaynaklar (References)

1. Podgrajšek M., Glodež S., Ren Z., Failure analysis of forging die insert protected with diffusion layer and PVD coating, Surf. Coat. Technol., 276, 521-528, 2015.
2. Eqbal M.I., Kumar R., Shamim M., Ohdar R.K., A grey-based Taguchi method to optimize hot forging process, Procedia Mater. Sci., 6, 1495-1504, 2014.
3. Milutinović M., Baloš S., Plančak M., Movrin D., Comparison of some mechanical properties and micro-topography of a component with non-axisymmetric geometry manufactured by cold orbital and hot forging, J. Mater. Process. Technol., 249, 179-192, 2017.
4. Groover M.P., Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems, 4th Edition, John Wiley & Sons Inc., ISBN: 978-0470-467002, 405-406, 2010.
5. Mills B., Redford A.H., Machinability of Engineering Materials, Applied Science Publishers, New York, 1993.
6. Özçatalbaş Y., Machinability of steels: the relationship between machinability and chemical composition, microstructure and also mechanical properties J. Polytech., 23 (2), 457-482, 2020.
7. Ismail A., Zenasni R., Amine K.S.M., Ahmed S., Effect of tempering temperature on the mechanical properties and microstructure of low alloy steel DIN 41Cr4, Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 13 (1), 9-14, 2019.
8. Bayrak M., Ozturk F., Demirezen M., Evis Z., Analysis of tempering treatment on material properties of DIN 41Cr4 and DIN 42CrMo4 steels, J. Mater. Eng. Perform., 16, 597-600, 2007.
9. Özbek N.A., Saraç E., Investigation of the effects of tempering heat treatment temperatures on mechanical properties of AISI 4140 steel, Duzce University Journal of Science and Technology, 7 (3), 1574-1586, 2019.
10. Kuntoğlu M., Aslan A., Pimenov D.Y., Giasin K., Mikolajczyk T., Sharma S., Modeling of cutting parameters and tool geometry for multi-criteria optimization of surface roughness and vibration via response surface methodology in turning of AISI 5140 steel, Materials, 13 (19), 1-21, 2020.
11. Özlu B., Demir H., Türkmen M., The effect of mechanical properties and the cutting parameters on machinability of AISI 5140 steel cooled at high cooling rates after hot forging, J. Polytech., 22 (4), 879-887, 2019.
12. Bengochea R., Lopez B., Gutierrez I., Effect of retained strain on the microstructural evolution during the austenite to ferrite transformation, Mater. Sci. Forum, 284, 201-208, 1998.
13. Kaynar A., Gündüz S., Türkmen M., Investigation on the behaviour of medium carbon and vanadium microalloyed steels by hot forging test, Mater. Des., 51, 819-825, 2013.
14. Lan Y.J., Li D.Z., Li Y.Y., Modeling austenite decomposition into ferrite at different cooling rate in low-carbon steel with cellular automaton method, Acta Mater., 52, 1721-1729, 2004.
15. Gündüz S., Karabulut H., Erden M.A., Türkmen M., Microstructural effects on fatigue behaviour of a forged medium carbon microalloyed steel, Mater. Test., 55, 865-870, 2013.
16. Özlu B., Investigation of the effect of cutting parameters on cutting force, surface roughness and chip shape in turning of Sleipner cold work tool steel, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36 (3), 1241-1251, 2021.
17. Trent, E.M., Metal cutting, Butterworths Press, London, 1-171, 1989.

18. Zhao, J., Ai, X., Li, Z., Finite element analysis of cutting forces in high speed machining, *Mater. Sci. Forum*, 532-533, 753-756, 2006.
19. Gürbüz H., Şeker U., Kafkas F., Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (1), 225-240, 2020.
20. Çiftçi İ., The influence of cutting tool coating and cutting speed on cutting forces and surface roughness in machining of austenitic stainless steels, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 20 (2), 205-209, 2005.
21. M. Cemal Çakır, *Modern metal cutting*, Vipaş A.Ş., Bursa, 2000.
22. Sreerama Reddy T.V., Sornakumar T., Venkatarama Reddy M., Turning studies of deep cryogenic treated P-40 tungsten carbide cutting tool inserts-technical communication. *Mach. Sci. Technol.*, 13 (2), 269–281, 2009.
23. Kumar K.V.B.S.K., Choudhury S.K., Investigation of tool wear and cutting force in cryogenic machining using design of experiments, *J. Mater. Process. Technol.*, 203, 95-101, 2008.
24. Zhang S.J., To S., Wang S.J., Zhu Z.W., A review of surface roughness generation in ultra-precision machining, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 91, 76-95, 2015.
25. Özlu B., Demir H., Türkmen M., Gündüz S., Examining the machinability of 38MnVS6 microalloyed steel, cooled in different mediums after hot forging with the coated carbide and ceramic tool, *Proc. Inst. Mech. Eng., Part C: J. Mech. Eng. Sci.*, 35 (22), 6228-6239, 2021.
26. Gürbüz H., Şeker U., Kafkas F., Effects of cutting tool forms on the surface integrity in turning of AISI 316L stainless steel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 35 (1), 225-240, 2020.
27. Kaçal, A. Yıldırım F., Determining the effects of cbn cutting insert's cutting performance on surface roughness and tool wear at turning of PMD 23 steel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 181-189, 2016.
28. Akgün M., Demir H., Estimation of surface roughness and flank wear in milling of Inconel 625 superalloy, *Surf. Rev. Lett.*, 28 (04), 2150011, 2021.
29. Kara, F., Karabatak, M., Ayyıldız, M., Nas E., Effect of machinability, microstructure and hardness of deep cryogenic treatment in hard turning of AISI D2 steel with ceramic cutting, *J. Mater. Res. Technol.*, 9 (1), 969-983, 2020.
30. Özbek, N.A., Çiçek, A., Gülesin, M., Özbek, O., Evaluation of the machinability of AISI 304 and AISI 316 austenitic stainless steels, *J. Polytech.*, 20 (1), 43-49, 2017.
31. Akgün, M., Demir, H., Optimization of cutting parameters affecting surface roughness in turning of Inconel 625 superalloy by cryogenically treated tungsten carbide inserts, *SN Appl. Sci.*, Appl. Sci. 3, 277, 2021.
32. Grzesik, W., Wear behaviour of mixed ceramic tools and deterioration of surface finish in the machining of an AISI 5140 hardened alloy steel, *Int. J. Mach. Mach. Mater.*, 4, 51-62, 2008.
33. Özlu, B., Demir, H., Türkmen, M., Gündüz, S., Investigation of machinability of cooled microalloy steel in oil after the hot forging with coated and uncoated cbn cutting tools, *Sigma J. Eng. & Nat. Sci.*, 36 (4), 1165-1174, 2018.
34. Akgün, M., Demir, H., Çiftçi, İ., Optimization of surface roughness in turning Mg2Si particle reinforced magnesium alloys, *J. Polytech.*, 21 (3), 645-650, 2018.
35. Pal, A., Choudhury, S.K., Chinchankar, S., Machinability assessment through experimental investigation during hard and soft turning of hardened steel, *Procedia Mater. Sci.*, 6, 80-91, 2014.
36. Boy, M., Demir, H., Korkut, İ., The influences of cutting parameters on surface roughness in machining of Vanadis 10 cold tool work steel, 5. International Advanced Technologies Symposium (IATS'09), Karabük-Türkiye, 1-5, 13-15 May, 2009.
37. Katayama, S., Toda, M., Machinability of Medium Carbon Graphitic Steel, *J. Mater. Process. Technol.*, 62, 358-362, 1996.
38. Özçatalbaş, Y., Effect of heat treatments on the machinability of a Cr Mo based steel, 10. International Metallurgy and Materials Congress, İstanbul-Türkiye, 759-765, 24-28 May, 2000.

