



AISI 4140 Malzemeye Uygulanan Kriyojenik İşlemin Sert Tornalama Operasyonunda Ayna ve Kater Titreşimi Üzerine Etkileri

Mehmet ERBAŞ¹ ve Abdülkadir GÜLLÜ¹

How to cite: Erbaş, M., & Güllü, A. (2025). AISI 4140 malzemeye uygulanan kriyojenik işlemin sert tornalama operasyonunda ayna ve kater titreşimi üzerine etkileri. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 134-148. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.1672508>

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Mehmet ERBAŞ

mehmet.erbas@gazi.edu.tr

Yazarlara ait ORCID

M.E: 0000-0003-0371-7958

A.G: 0000-0003-1088-4105

Received: 11.04.2025

Accepted: 29.05.2025

Öz

Bu çalışmada, AISI 4140 malzeme geleneksel ısıtılma işlem ve kriyojenik işlem uygulanarak sert tornalanmıştır. Deneylerde; üç farklı kesme hızı (170, 190 ve 210 m/dak), üç farklı ilerleme oranı (0.05, 0.09 ve 0.13 mm/dev) ve üç farklı talaş derinliği (0.08, 0.12 ve 0.16 mm) kullanılmıştır. Deney esnasında aynada ve katerde meydana gelen titreşim değerleri aynı anda ölçülerek, kesme parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Deney sonucunda regresyon denklemleri oluşturulup, ANOVA analizleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, ayna titreşimi üzerindeki en etkili parametrenin geleneksel ısıtılma işlem görmüş malzemede %52.29, kriyojenik işlem görmüş malzemede %56.45 etki oranıyla talaş derinliği olduğu ve bunu sırasıyla ilerleme oranı ve kesme hızının takip ettiği görülmüşken; kater titreşimi üzerindeki en etkili parametrenin geleneksel ısıtılma işlem görmüş malzemede %59.36, kriyojenik işlem görmüş malzemede %61.99 etki oranıyla ilerleme oranı olduğu ve bunu sırasıyla talaş derinliği ve kesme hızının takip ettiği görülmüştür. Ayrıca uygulanan kriyojenik işlemin titreşim değerleri üzerinde olumlu etkileri olduğu da etki oranları arasındaki yüzdelik iyileşmelerden görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Titreşim, kesme parametreleri, kriyojenik işlem, regresyon analizi, ANOVA

The Effects of Cryogenic Process Applied to AISI 4140 Material on Chuck and Tool Holder Vibration in Hard Turning Operation

¹Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Abstract

In this study, the AISI 4140 steel was subjected to both conventional and cryogenic heat treatment before the hard turning process. In the experiments, three different cutting speeds (170, 190 and 210 m/min), three different feed rates (0.05, 0.09 and 0.13 mm/tooth) and three different cutting depths (0.08, 0.12 and 0.16 mm) were used. During the experiments, the vibration values on the chuck and the tool holder were measured simultaneously, and the effects of the cutting parameters were analyzed. As a result of the experiments, regression equations were formed and ANOVA analyses were applied. Consequently, it was observed that the most influential parameter on chuck vibration was the depth of cut, with an effect ratio of 52.29% for traditional heat-treated material and 56.45% for cryogenically treated material, followed by feed rate and cutting speed, respectively. On the other hand, the most influential

Bu çalışma Creative Commons Attribution 4.0 International License ile lisanslanmıştır	parameter on tool holder vibration was found to be the feed rate, with an effect ratio of 59.36% for conventional heat-treated material and 61.99% for cryogenically treated material, followed by depth of cut and cutting speed, respectively. Additionally, a noticeable improvement in vibration values due to treatment was observed, supported by the percentage increases in effect ratios. Keywords: Vibration, cutting parameters, cryogenic treatment, regression analysis, ANOVA
---	---

Giriş

Talaşlı imalatla kesme parametrelerinin optimizasyonu işleme performanslarını geliştirmek, takım verimini arttırmak ve optimum sürelerde daha ekonomik üretimler gerçekleştirmek için her dönem önemini korumuştur. Yapılan çalışmalar bu yönde yoğunlaşırken, araştırmacılar optimizasyonu sağlayabilmek adına farklı parametreleri farklı malzemeler üzerinde test etmişler ve ağırlıklı olarak oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri, ses şiddeti, tezgâh akım değerleri, titreşim değerleri gibi performans kriterlerini incelemişlerdir. Bu çalışma, kriyojenik işlemin sadece takım veya soğutma ortamında değil, doğrudan iş parçası üzerine uygulanmasının işleme titreşimleri üzerindeki etkisini detaylı biçimde analiz eden nadir çalışmalardanır. Gerçekleştirilen deneylerde araştırmacılar yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin ilerleme oranı olduğu, bunu kesme hızı ve kesme derinliğinin takip ettiği sonucuna birçok çalışmada ulaşmışlardır [1-3]. Benzer sonuçlara farklı malzeme türleri üzerinde çalışılarak AISI 52100 ve AISI 4340 çeliklerinde de ulaşılmıştır [4-5]. İlerleme oranının ve kesme derinliğinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri de artış göstermekle birlikte, kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri azalmış ve daha iyi yüzey kalitelerine ulaşılmıştır [6-8]. Tezgâhta ve kesici takımda oluşan titreşim, elde edilen yüzeyin kalitesinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüzey pürüzlülük değerinde en önemli etkiye sahip olan ve bu değeri arttıran ilerleme oranı titreşim için de aynı sonucu vermiştir. Dolayısıyla artan ilerleme oranı oluşan titreşimi de arttırarak daha pürüzlü yüzeyler elde edilmesine sebep olmuştur [9-11]. Kriyojenik işlemle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, genel olarak kesici takıma kriyojenik işlem uygulananlar, işleme esnasında soğutma/yağlama amaçlı kriyojenik yöntem kullanılanlar ve işlem görececek malzemeye kriyojenik işlem uygulananlar olarak gruplandırılabilir. Kesici takıma kriyojenik işlem uygulanan çalışmalarda amaç, takım aşınmasını olumlu yönde geliştirmek ve buna bağlı olarak da takım ömründe iyileştirme sağlamak olmuştur. Farklı özelliklerdeki takımlar araştırmacılar tarafından çalışılmış ve kriyojenik işlem uygulanmamış takımların performanslarıyla karşılaştırılmıştır. Kriyojenik işlem uygulanmış takımların aşınma performanslarında ve sertlik değerlerinde olumlu gelişmeler olduğu görülmüştür [12-14]. Takımlarda oluşan bu olumlu gelişme aynı zamanda işlenen parçaların yüzey kalitelerinde de olumlu etkiler sergilemiştir [15-17]. Ayrıca kriyojenik işlemde bekletme sürelerinin de sonuçlar üzerinde kayda değer etkileri olduğu belirlenmiştir [18, 19]. İşleme esnasında soğutma/yağlama sağlamak için kriyojenik yöntem kullanılan çalışmalardaki amaç, kesme yüzeyi ve kesici takım arasında oluşan ısının yüzey kalitesi ve malzeme yapısı üzerindeki olumsuz etkileri ile yine takım ömrü üzerindeki olumsuz

etkilerini bertaraf etmektir. Araştırmacılar deneylerinde kriyojenik yöntemi kuru kesme, geleneksel bor yağı, minimum miktarda yağlama (MQL) ve bunların kriyojenik soğutma ile kombinasyonlarından oluşan yöntemler ile kıyaslamışlardır. Kriyojenik soğutma olarak genellikle sıvı azot, sıvı nitrojen ve karbondioksit gibi araçlar kullanılan deneylerde, kriyojenik soğutmada gerek yüzey pürüzlülüklerinde gerekse titreşim ve kesme kuvvetlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [20-25]. Kimi araştırmacılar ise; kriyojenik işlemi talaşlı imalatı gerçekleştirilecek malzemeye uygulamışlar ve malzemenin mikroyapısındaki ve işleme kabiliyetlerindeki değişimleri incelemişlerdir. Farklı malzemeler üzerinde farklı şartlarda gerçekleştirilen deneylerin sonucunda; kriyojenik işlem uygulanan malzemelerin mikro yapılarında, tokluk, aşınma, yorulma ve korozyon dirençleri gibi mekanik özelliklerinde, mukavemet değerlerinde ve talaşlı imalat sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerlerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir [26-28]. Yine araştırmacılar, değişen koşullardaki etkileri incelemek adına, farklı malzemelerde, farklı bekletme sürelerinde ve sıcaklıklarda çeşitli deneyler gerçekleştirmişler ve benzer sonuçlara ulaşmışlardır [29-32]. Yapılan çalışmaları özetleyecek olursak, kriyojenik işlem talaşlı imalatı takım ömrünün uzatılması, malzemelerin mikroyapıları ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu sayesinde daha uygun koşullarda imalat gerçekleştirilebilmesi gibi birçok alanda fayda sağlamaktadır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, kriyojenik işlemi malzemeye uygulayarak sert tornalama esnasında oluşan titreşim değerlerinin analiz edilmesi vasıtasıyla kesme parametrelerinin optimizasyonu üzerine katkıda bulunulması düşünülmektedir.

Materyal ve Yöntem

Deneylerde AISI 4140 malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 1’ de, fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 4140 Kimyasal bileşimi

% Mo	% Mn	% Cr	% C	Si
0.15 – 0.25	0.75 – 1.0	0.80 – 1.10	0.38 – 0.43	0.15 – 0.35

44 mm çapında ve 250 mm boyundaki 3 adet deney numunesi 900 °C’ de 1.5 saat bekletildi, sonra 250 °C’ de temperleme işlemi yapıldı. Diğer 3 adet numune ise, 900 °C’ de 1.5 saat bekletildi, sonra 250 °C’ de temperleme işlemi yapıldı ve ardından -80 °C’ de 12 saat kriyojenik işleme tabi tutuldu. Farklı ısı işleme görmüş numuneler her bir deney için 20 mm boyunda kuru kesme şartlarında sert tornalanmıştır. Böylece, iki farklı ısı işlemin malzemeye uygulanan talaşlı imalat operasyonunda ne gibi farklar oluşturabileceğinin görülmesi amaçlanmıştır.

Tablo 2. AISI 4140 Fiziksel ve mekanik özellikleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Sertlik (HRC) ısıtılmış	Çekme mukavemeti (MPa)	Akma mukavemeti (MPa)	Elastikiyet modülü (GPa)	Isıl İletkenlik (W/m.K)
7.85	54 - 60	950 - 1000	630 - 650	190 - 210	42.6

Deneyisel çalışmalar sırasında kullanılan kesme parametreleri kesici takım firmasının önerdiği katalog değerleri ve literatür çalışmalarında önerilen değerler doğrultusunda belirlenerek Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3. Kesme parametreleri

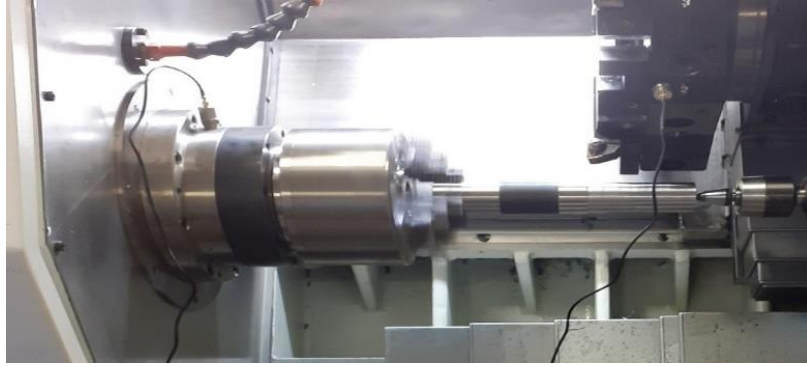
Faktörler	Seviyeler
Kesme hızı (m/min)	170 - 190 - 210
İlerleme oranı (mm/dev)	0.05 – 0.09 – 0.13
Talaş derinliği (mm)	0.08 – 0.12 – 0.16

Deneyler Taksan marka TTC 630 model CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Kesici uç olarak ise, Sandvik Coromat 11T304 DCGW S01530F 7015 CBN geometriye sahip uç kullanılmıştır. Kriyojenik işlem Angelantoni marka soğutma ünitesinde yapılmıştır. Deney esnasında oluşan titreşimler PCE VM 5000 iki kanallı titreşim ölçüm cihazı kullanılarak, sensörler manyetik olarak konumlandırılarak ayna ve katerdeki titreşim aynı anda ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği tezgâh ve kurulan düzenek Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği

Titreşim sensörlerinin konumlandırılması ise Şekil 2’ de ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 2. Titreşim sensörlerinin konumlandırılması

Kurulan düzenek vasıtasıyla, deneyler gerçekleştirilirken hem ayna hem de katerdeki titreşimler eş zamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Bulgular

İki farklı malzeme için üç farklı kesme hızı, ilerleme oranı ve kesme derinliği kullanılarak toplam 54 adet deney yapılmıştır. Elde edilen veriler Tablo 4’ te gösterilmiştir.

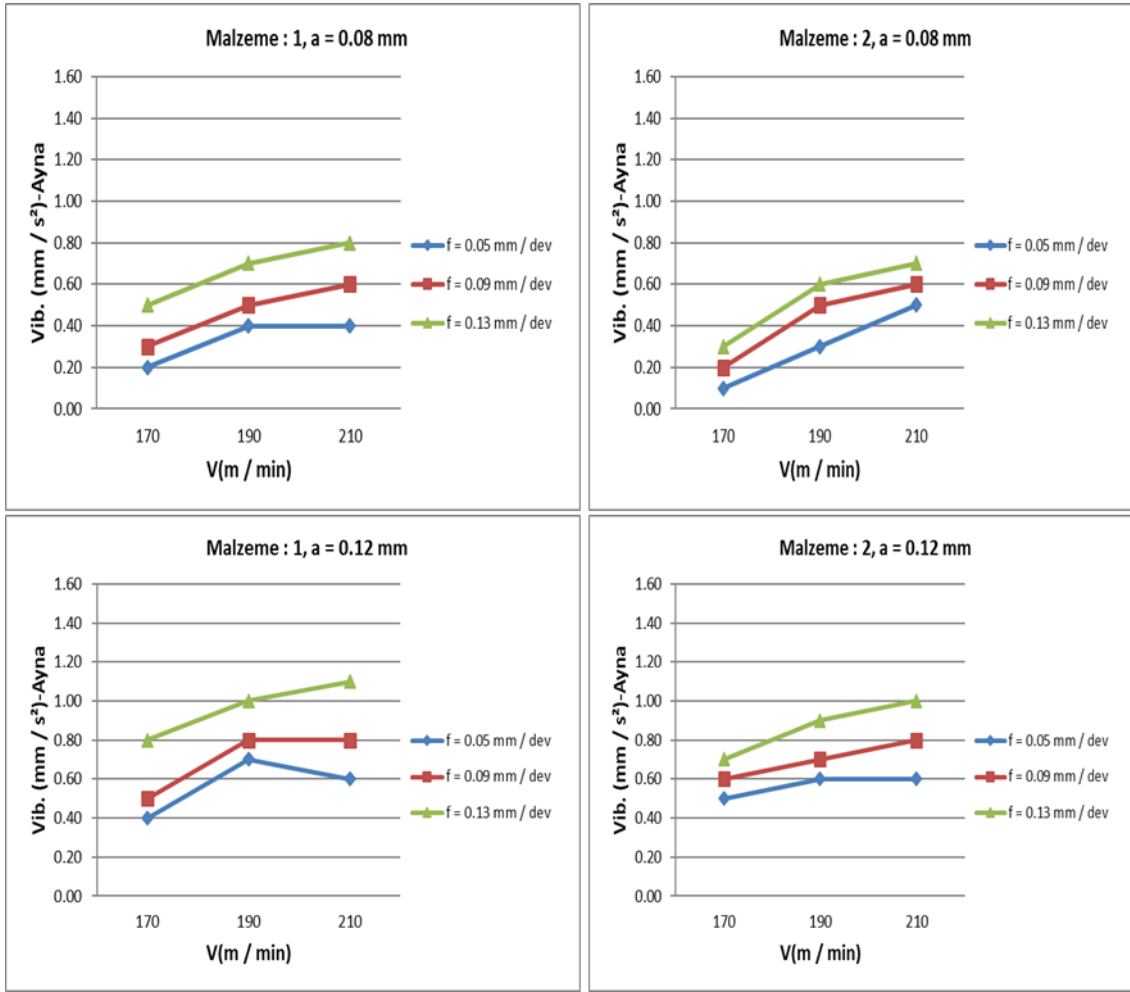
Tablo 4. Deney sonuçları

Deney No	Malzeme	a (mm)	V (m/dak)	f (mm/dev)	Titreşim Ayna (mm/sn ²)	Titreşim Kater (mm/sn ²)
1	1	0.08	170	0.05	0.2	2.8
2	1	0.08	170	0.09	0.3	3.4
3	1	0.08	170	0.13	0.5	3.9
4	1	0.08	190	0.05	0.4	2.5
5	1	0.08	190	0.09	0.5	3.1
6	1	0.08	190	0.13	0.7	3.5
7	1	0.08	210	0.05	0.4	2.2
8	1	0.08	210	0.09	0.6	2.9
9	1	0.08	210	0.13	0.8	3.3
10	1	0.12	170	0.05	0.4	3.2
11	1	0.12	170	0.09	0.5	3.7
12	1	0.12	170	0.13	0.8	4.2
13	1	0.12	190	0.05	0.7	2.9
14	1	0.12	190	0.09	0.8	3.6
15	1	0.12	190	0.13	1.0	4.0
16	1	0.12	210	0.05	0.6	2.7
17	1	0.12	210	0.09	0.8	3.5
18	1	0.12	210	0.13	1.1	3.9
19	1	0.16	170	0.05	0.6	3.5
20	1	0.16	170	0.09	0.8	4.1
21	1	0.16	170	0.13	1.1	4.4
22	1	0.16	190	0.05	0.9	3.2

Tablo 4'ün devamı...

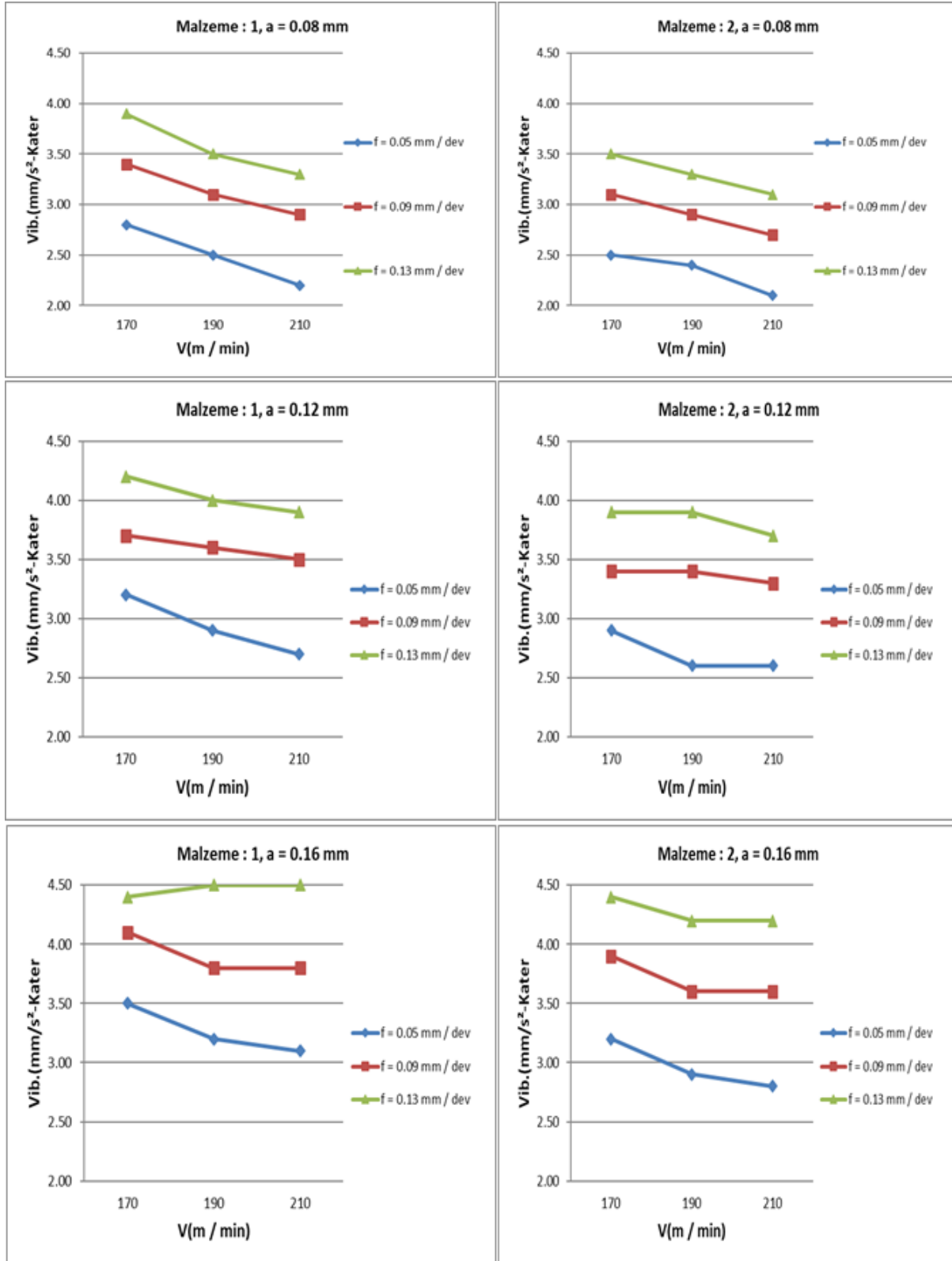
Deney No	Malzeme	a (mm)	V (m/dak)	f (mm/dev)	Titreşim Ayna (mm/sn ²)	Titreşim Kater (mm/sn ²)
23	1	0.16	190	0.09	1.2	3.8
24	1	0.16	190	0.13	1.3	4.5
25	1	0.16	210	0.05	0.9	3.1
26	1	0.16	210	0.09	1.2	3.8
27	1	0.16	210	0.13	1.5	4.5
28	2	0.08	170	0.05	0.1	2.5
29	2	0.08	170	0.09	0.2	3.1
30	2	0.08	170	0.13	0.3	3.5
31	2	0.08	190	0.05	0.3	2.4
32	2	0.08	190	0.09	0.5	2.9
33	2	0.08	190	0.13	0.6	3.3
34	2	0.08	210	0.05	0.5	2.1
35	2	0.08	210	0.09	0.6	2.7
36	2	0.08	210	0.13	0.7	3.1
37	2	0.12	170	0.05	0.5	2.9
38	2	0.12	170	0.09	0.6	3.4
39	2	0.12	170	0.13	0.7	3.9
40	2	0.12	190	0.05	0.6	2.6
41	2	0.12	190	0.09	0.7	3.4
42	2	0.12	190	0.13	0.9	3.9
43	2	0.12	210	0.05	0.6	2.6
44	2	0.12	210	0.09	0.8	3.3
45	2	0.12	210	0.13	1.0	3.7
46	2	0.16	170	0.05	0.7	3.2
47	2	0.16	170	0.09	0.8	3.9
48	2	0.16	170	0.13	1.1	4.4
49	2	0.16	190	0.05	0.7	2.9
50	2	0.16	190	0.09	0.9	3.6
51	2	0.16	190	0.13	1.1	4.2
52	2	0.16	210	0.05	0.8	2.8
53	2	0.16	210	0.09	1.0	3.6
54	2	0.16	210	0.13	1.2	4.2

Tablo 4’ ten elde edilen veriler incelenerek, kesme parametrelerinin ayna ve kater titreşimi üzerindeki etkileri Şekil 3 ve Şekil 4’ teki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 3. Farklı kesme parametrelerinin 1 ve 2 nolu malzeme için ayna titreşimi üzerindeki etkilerinin grafiksel değişimi

Şekil 3’ te oluşturulan grafikler incelendiğinde; her iki malzeme için de kesme parametrelerindeki artışlar titreşim değerlerinde artışa sebep olmuştur. Fakat diğer parametrelere nazaran kesme hızının etkisi özellikle de belirli bir değerden sonra düşmüştür. Kriyojenik işlem görmüş 2 nolu malzemede ise titreşim değerleri diğer malzemeye göre daha düşük çıkmıştır. Bu da, kriyojenik işlemin olumlu etkilerinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Farklı kesme parametrelerinin 1 ve 2 nolu malzeme için kater titreşimi üzerindeki etkilerinin grafiksel değişimi

Şekil 4' te oluşturulan grafikler incelendiğinde; her iki malzeme için de ilerleme oranı ve talaş derinliği arttıkça titreşim değerleri de artmıştır. Fakat kesme hızındaki artış diğer parametrelerin aksine titreşim

değerlerini azaltmış veya sabitleştirmiştir. Kriyojenik işlem görmüş 2 nolu malzememizde ise titreşim değerleri diğer malzemeye göre daha düşük çıkmıştır. Böylece kriyojenik işlemin olumlu katkılarını katede oluşan titreşimi incelediğimizde de görebilmekteyiz. Gerek ayna gerekse kater titreşiminde kesme hızının oluşan titreşime etkisi diğer parametrelere göre farklılık göstermektedir. Özellikle kater titreşiminde kesme hızındaki artış titreşim değerlerinde düşüşe sebep olmaktadır. Yapılan deneylerde elde edilen verilerle oluşturulan regresyon analizleri ve ortalama etki grafikleri Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmiştir.

Ayna titreşimi için regresyon eşitliği malzeme - 1

$$R^2 = 98.54\%, R^2 (adj) = 97.76\%$$

$$Vib_{ayna} = -9.55 - 5.36 * a + 0.1012 * v - 7.05 * f + 17.4 * a^2 - 0.000264 * v^2 + 17.4 * f^2 + 0.0312 * a * v + 26.04 * a * f + 0.0312 * v * f \quad (1)$$

Ayna titreşimi için regresyon eşitliği malzeme - 2

$$R^2 = 98.02\%, R^2 (adj) = 96.91\%$$

$$Vib_{ayna} = -4.88 + 24.74 * a + 0.0334 * v - 4.09 * f - 23.3 * a^2 - 0.000052 * v^2 + 5.0 * f^2 - 0.0804 * a * v + 26.04 * a * f + 0.0208 * v * f \quad (2)$$

Kater titreşimi için regresyon eşitliği malzeme - 1

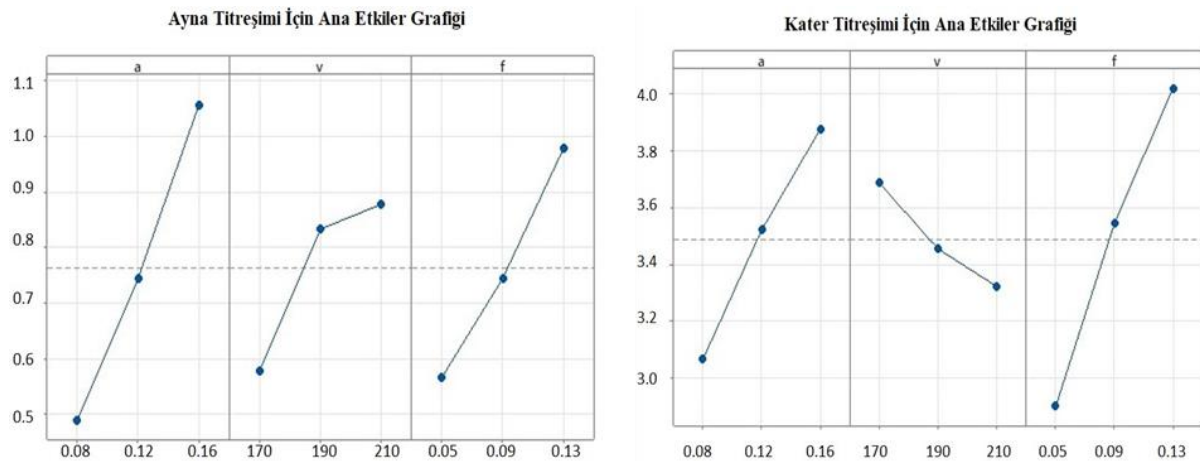
$$R^2 = 99.09\%, R^2 (adj) = 98.60\%$$

$$Vib_{kater} = 10.53 - 6.01 * a - 0.0770 * v + 7.05 * f - 31.2 * a^2 + 0.000125 * v^2 - 52.1 * f^2 + 0.1146 * a * v + 20.8 * a * f + 0.0729 * v * f \quad (3)$$

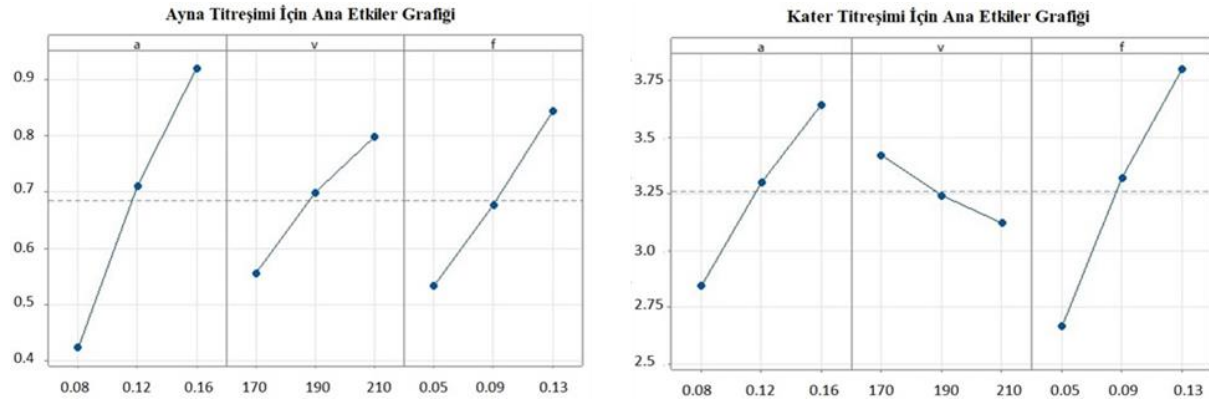
Kater titreşimi için regresyon eşitliği malzeme - 2

$$R^2 = 99.04\%, R^2 (adj) = 98.54\%$$

$$Vib_{kater} = 5.66 + 7.71 * a - 0.0405 * v + 11.98 * f - 34.7 * a^2 + 0.000069 * v^2 - 55.6 * f^2 + 0.0313 * a * v + 52.1 * a * f + 0.0313 * v * f \quad (4)$$



Şekil 5. Regresyon analizine göre 1 numaralı malzeme için kesme parametrelerinin ayna ve kater titreşimine ortalama etkisi



Şekil 6. Regresyon analizine göre 2 numaralı malzeme için kesme parametrelerinin ayna ve kater titreşimine ortalama etkisi

Tablo 5’de ayna ve kater titreşimi için etki oranları verilmiştir. Ayna titreşimi için en etkili parametre 1 ve 2 numaralı malzemeler için sırasıyla % 52.298 ve % 56.452 ile talaş derinliği olmuş ve bunu ilerleme oranı ve kesme hızı takip etmiştir. Kater titreşimi için ise, en etkili parametre yine 1 ve 2 numaralı malzeme için sırasıyla %59.363 ve %61.997 ile ilerleme oranı olmuş ve bunu talaş derinliği ve kesme hızı takip etmiştir.

Tablo 5. 1 ve 2 nolu malzeme için ayna ve kater titreşimi ANOVA sonuçları

Malzeme-1 Ayna Titreşimi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% cont
a	1	1.445	1.445	607.1	0	52.2989837
V	1	0.405	0.405	170.16	0	14.65819266
f	1	0.76056	0.76056	319.54	0	27.52700003
a ²	1	0.00463	0.00463	1.95	0.181	0.167573906
V ²	1	0.06685	0.06685	28.09	0	2.419506616
f ²	1	0.00463	0.00463	1.95	0.181	0.167573906
a x V	1	0.0075	0.0075	3.15	0.094	0.271448012
a x f	1	0.02083	0.02083	8.75	0.009	0.753901613
V x f	1	0.0075	0.0075	3.15	0.094	0.271448012
Error	17	0.04046	0.00238			1.464371544
Total	26	2.76296				100

Malzeme-1 Kater Titreşimi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% cont
a	1	2.96056	2.96056	577.03	0	31.01144169
V	1	0.605	0.605	117.92	0	6.33728829
f	1	5.66722	5.66722	1104.57	0	59.36331726
a ²	1	0.015	0.015	2.92	0.105	0.15712285
V ²	1	0.015	0.015	2.92	0.105	0.15712285
f ²	1	0.04167	0.04167	8.12	0.011	0.436487278

Tablo 5'in devamı...

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% cont
a x V	1	0.10083	0.10083	19.65	0	1.056179799
a x f	1	0.01333	0.01333	2.6	0.125	0.13962984
V x f	1	0.04083	0.04083	7.96	0.012	0.427688398
Error	17	0.08722	0.00513			0.913616999
Total	26	9.54667				100

Malzeme-2 Ayna Titreşimi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% cont
a	1	1.02439	1.02439	484.49	0	56.45297285
V	1	0.24163	0.24163	114.28	0	13.31595567
f	1	0.43556	0.43556	206	0	24.00321836
a ²	1	0.00813	0.00813	3.84	0.068	0.448035093
V ²	1	0.00249	0.00249	1.18	0.294	0.13722108
f ²	1	0.00034	0.00034	0.16	0.692	0.018737015
a x V	1	0.04406	0.04406	20.84	0	2.428096705
a x f	1	0.02083	0.02083	9.85	0.006	1.147917711
V x f	1	0.00333	0.00333	1.58	0.227	0.183512529
Error	16	0.03383	0.00211			1.86433299
Total	25	1.81459				100

Malzeme-2 Kater Titreşimi						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% cont
a	1	2.88	2.88	549.65	0	30.89147653
V	1	0.405	0.405	77.3	0	4.344113887
f	1	5.78	5.78	1103.13	0	61.9974772
a ²	1	0.01852	0.01852	3.53	0.077	0.198649356
V ²	1	0.00463	0.00463	0.88	0.36	0.049662339
f ²	1	0.04741	0.04741	9.05	0.008	0.50852948
a x V	1	0.0075	0.0075	1.43	0.248	0.080446553
a x f	1	0.08333	0.08333	15.9	0.001	0.89381484
V x f	1	0.0075	0.0075	1.43	0.248	0.080446553
Error	17	0.08907	0.00524			0.955383269
Total	26	9.32296				100

Sonuçlar

Kriyojenik işlemin talaşlı imalatındaki etkilerini araştırmak için gerçekleştirilen çalışmada; geleneksel ısıtma işlemi görmüş ve kriyojenik işlem görmüş AISI 4140 çeliği aynı işleme koşullarında sert tormalanmıştır. Deneyler sonucunda aşağıdaki çıkarımlara ulaşılmıştır.

* Elde edilen regresyon denklemleri incelendiğinde, ayna titreşimi üzerinde %98 üzeri, kater titreşimi için ise %99 üzeri doğruluk oranlarına ulaşılmıştır.

* Malzeme 1' de ayna titreşimi için en etkili parametre %52.29 ile talaş derinliği olurken, bunu %27.52 ile ilerleme oranı ve %14.65 ile kesme hızı takip etmiştir.

* Malzeme 1' de kater titreşimi için en etkili parametre %59.36 ile ilerleme oranı olurken, bunu %31.01 ile talaş derinliği ve %6.33 ile kesme hızı takip etmiştir.

* Malzeme 2' de ayna titreşimi için en etkili parametre %56.45 ile talaş derinliği olurken, bunu %24.00 ile ilerleme oranı ve %13.31 ile kesme hızı takip etmiştir.

* Malzeme 2' de kater titreşimi için en etkili parametre %61.99 ile ilerleme oranı olurken, bunu %30.89 ile talaş derinliği ve %4.34 ile kesme hızı takip etmiştir.

* Açıkça görülmektedir ki, ayna titreşimi üzerinde talaş derinliklerinin etkisi önemli olurken kater titreşimleri üzerinde ilerleme oranı daha etkili olmuştur. Özellikle kater titreşimlerinde kesme hızının etkisi önemsizmeyecek derecede düşüktür. Grafikler incelendiğinde kater titreşiminin artan kesme hızlarıyla azalması da bu durumu desteklemektedir. Artan kesme hızlarının kesme bölgesindeki sıcaklığı arttıracak ve artan sıcaklığa bağlı olarak ta plastik deformasyonun daha kolay gerçekleşeceğinden titreşim değerlerinde azalma görülmüştür.

* Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, tüm şartlarda kriyojenik işlem görmüş malzemenin daha düşük titreşim değerleri oluşturduğu görülmektedir. Bu durum kriyojenik işlemin talaşlı imalatda düşük titreşime ve buna bağlı olarak da daha kaliteli yüzeyler elde edilmesine etkiye bulunduğunu desteklemektedir.

Titreşim üzerindeki azalma, takım aşınmasının azalmasına, yüzey kalitesinin iyileşmesine ve CNC sistemlerinde daha stabil işlemeye olanak tanıyarak, otomotiv, havacılık ve savunma sanayi gibi hassas üretim gerektiren sektörlerde doğrudan uygulanabilir sonuçlar sunmaktadır.

Teşekkür -

Fon/Finansman bilgileri Bu çalışma için herhangi bir kurum ve/veya kuruluştan destek alınmamıştır.

Etik Kurul Onayı ve İzinler Çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların Katkısı Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır

Kaynaklar

- [1] Karabatak, M., & Kara, F. (2016). AISI D2 Soğuk iş takım çeliğinin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün deneysel optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 19(3), 349-355. <https://doi.org/10.2339/2016.19.3>
- [2] Siraj, S., Dharmadhikari, H. M., & Gore, N. (2018). Modeling of roughness value from tribological parameters in hard turning of AISI 52100 steel. *Procedia Manufacturing*, 20, 344-349. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.050>
- [3] Das, D. K., Sahoo, A. K., Das, R., & Routara, B. C. (2014) Investigations on hard turning using coated carbide insert: Grey based Taguchi and regression methodology. *Procedia Materials Science*, 6, 1351-1358. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.114>
- [4] Kokkiral, S., Holmberg, J., Klement, U., Lundstrom, R., Iwasaki, H., & Hosseini, S. B. (2022). Effect of cutting parameters on the generated surface integrity of hard-turned martensitic AISI 52100 bearing steel. *Procedia CIRP*, 115, 154-159. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.10.066>

- [5] Pal, A., Choudhury, S. K., & Chinchani, S. (2014). Machinability assessment through experimental investigation during hard and soft turning of hardened steel. *Procedia Materials Science*, 6, 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.010>
- [6] Srithar, A., Palanikumar, K., & Durgabasad, B. (2014). Experimental investigation and surface roughness analysis on hard turning of AISI D2 steel using coated carbide insert. *Procedia Engineering*, 97, 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.226>
- [7] Tali, D. (2014). *Rene 41 süperalaşımının işlenebilirliğinin farklı torna parametrelerinde incelenmesi*. (Tez no. 431058) [Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- [8] Coppini, N. L., Diniz, A. E., Bonandi, M., De Souza, E. M., & Baptista, E. A. (2013). Hard turning of sintered cemented carbide parts: a shop floor experience. *Procedia CIRP*, 8, 368-373. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.118>
- [9] Şahinoğlu, A. (2017). *Kesme parametrelerinin ses üzerindeki etkilerinin araştırılması*. (Tez no. 479823) [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- [10] Akkuş, H. (2010). *Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi*. (Tez no. 266320) [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- [11] Muqheet, A., Israr, A., Zafar, M. H., Mansoor, M., & Akhtar, N. (2023). A novel optimization algorithm based PID controller design for real-time optimization of cutting depth and surface roughness in finish hard turning processes. *Results in Engineering*, 18, 101-142. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101142>
- [12] Özbek, N. A. (2013). *AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takıma uygulanan kriyojenik işlemin takım ömrü üzerine etkilerinin araştırılması*. (Tez no: 354270) [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- [13] Özbek, N. A. (2020). Effects of cryogenic treatment types on the performance of coated tungsten tools in the turning of AISI H11 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 9442-9456. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.038>
- [14] Navaneethakrishnan, G., Sureshkumar, B., Palanisamy, R., Bajaj, M., Zawbaa, H. M., & Kamel, S. (2022). Effect of cryogenic treatment on drill tool for enhancing metal cutting operation of aluminium alloy IS737.Gr19000. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 1488-1501. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.069>
- [15] Hariharan, K. B., Kumar, B. S., Lenin, K., Dhanabalan, S., Palanisamy, R., Giri, N. C., Bajaj, M., Hossam, M., & Kamel, S. (2022). Experimentation on AISI T42 tool steel at very low temperature. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 1682-1704. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.111>
- [16] Pradhan, S., Reddy, V. P., Priyadarshini, M., Singhal, P., Barua, A., Behera, A., Prakash, C., Saxena, K. K., & Eldin, S. M. (2023). Performance investigation of cryogenic treated-double tempered cutting inserts in dry turning of Ti-6Al-4V alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, 2989-3006. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.165>
- [17] Mavi, A. (2014). *Kesici takımlara uygulanan kriyojenik işlemin Ti6Al4V titanyum alaşımının işlenmesinde kesici takım performansının etkisi*. (Tez no: 352635) [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

- [18] Li, B., Zhang, T., & Zhang, S. (2018). Deep cryogenic treatment of carbide tool and its cutting performances in hard milling of AISI H13 steel. *Procedia CIRP*, 71, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.05.019>
- [19] Dhandea, S. T., Kane, V. A., Dhobe, M. M., & Gogte, C. L. (2018). Influence of soaking periods in cryogenic treatment of tungsten carbide, *Procedia Manufacturing*, 20, 318-328. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.047>
- [20] Çelik, E. (2019). *AISI 2507 süper dubleks paslanmaz çeliğin tornalanmasında hibrit soğutma/yağlama tekniklerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığı üzerindeki etkisi.* (Tez no. 611894) [Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- [21] Pehlivan, F. (2022). Improvement of machining vibrational stabilization for a CNC lathe in turning of AISI 420 stainless steel by MQL and cryogenic methods. *Journal of Materials and Mechatronics:A*, 3(2), 290-299. <https://doi.org/10.55546/jmm.1182481>
- [22] Marakini, V., Sirinivasa, P. P., Bolar, G., & Achar, B. P. (2024). Cryogenic and conventional milling of AZ91 magnesium alloy. *Journal of Magnesium and Alloy*, 12, 2503-2519. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2024.06.004>
- [23] Pereira, O., Rodríguez, A., Fernández-Valdivielso, A., Barreiro, J., Fernández-Abia, A. I., & López-de-Lacalle, L. N. (2015). Cryogenic hard turning of ASP23 steel using carbon dioxide. *Procedia Engineering*, 132, 486-491. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.523>
- [24] Grossa, D., Bigelmaier, M., Meier, T., Amon, S., Ostrowicki, N., & Hanenkamp, N. (2019). Investigation of the influence of lubricating oils on the turning of metallic materials with cryogenic minimum quantity lubrication. *Procedia CIRP*, 80, 95- <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.005>
- [25] Umbrello, D., Pu, Z., Caruso, S., Outeiro, J. C., Jayal, A. D., Dillon Jr, O. W., & Jawahir, I. S. (2011). The effects of cryogenic cooling on surface integrity in hard machining. *Procedia Engineering*, 19, 371-376. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.127>
- [26] Jovicevic-Klug, P., & Podgornik, B. (2020). Comparative study of conventional and deep cryogenic treatment of AISI M3:2 (EN 1.3395) high-speed steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 13118-13127. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.09.071>
- [27] Parcianello, C. T., Fantineli, D. G., Rosendo, T. S., Reguly, A., & Tier, M. A. D. (2023). Influence of the heat treatment on the mechanical and tribological properties of cryogenically treated AISI M2 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 26, 6462-6475. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.08.309>
- [28] Klug, M. J., Klug, P. J., Kranjec, T., & Podgornik, B. (2021). Cross-effect of surface finishing and deep cryogenic treatment on corrosion resistance of AISI M35 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 2365-2381. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.134>
- [29] Fantineli, D. G., Parcianello, C. T., Rosendo, T. S., Reguly, A., & Tier, M. D. (2020). Effect of heat and cryogenic treatment on wear and toughness of HSS AISI M2. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 12354-12363. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.090>
- [30] Han, L., Wang, Y., Liu, S., Zhang, Z., Song, X., Li, Y., Liu, W., Yang, Z., & Mu, M. (2022). Effect of cryogenic treatment on the microstructure and mechanical properties of selected laser melted H13 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 5056-5065. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.11.068>

- [31] Kara, F. (2014). *AISI 52100 çeliğinin yorulma ömrü ve taşlanabilirliğine kriyojenik işlem parametrelerinin etkilerinin araştırılması*. (Tez no. 355459) [Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- [32] Karabatak, M. (2017). *Derin kriyojenik işlemin AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliğine etkisi*. (Tez no. 473069) [Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].