

Investigation and Optimization of NPT Taper Threading Operations on St37-2 / S235JR, 11SMnPb37 and C45 (1.0503) Steels on CNC Lathes

Cüneyt KURTULUŞ¹, Emre AYHAN², Ahmet MAVİ³

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye

³Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Article Info

Research article
Received: 27/11/2024
Revision: 18/12/2024
Accepted: 23/12/2024

Keywords

NPT
Konik diş
ANOVA
RSM

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 27/11/2024
Düzeltilme: 18/12/2024
Kabul: 23/12/2024

Anahtar Kelimeler

NPT
Tapered Thread
ANOVA
RSM

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)



Şekil: Deneylerin yapılışı / Figure: / Conducting experiments

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract) Çalışmada CNC tezgâhlarda konik diş açma işlemlerinde etkin parametrelerin belirlenmesi ve deney sonuçlarından elde edilen modeller sunulmaktadır. In this study, the determination of effective parameters in bevel threading operations on CNC machines and models obtained from experimental results are presented.

Önemli noktalar (Highlights)

- Etkin parametrenin tespiti / Determination of the effective parameter
- Varyans analizi / Variance analysis
- Optimum kesme parametrelerinin tespiti / Determination of optimum cutting parameters

Amaç (Aim): Bu çalışmada, sanayide konik diş açma işlemlerinde kullanılan farklı kimyasal bileşimlere ve mekanik özelliklere sahip üç farklı malzemenin işlenmesi sırasında optimum kesme parametreleri ve etkin parametrenin tespiti için analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda etkin parametre belirlenmiştir. / In this study, analyses were performed to determine the optimum cutting parameters and effective parameters during the machining of three different materials with different chemical compositions and mechanical properties used in conical gear cutting operations in the industry. As a result of the analyses, the effective parameter was determined


Özgünlük (Originality): Bu çalışmanın özgünlüğü, konik diş açma işlemlerinde kullanılacak istatistiksel modellerin elde edilmesidir. / The originality of this study is to obtain statistical models that can be used in taper threading operations.

Bulgular (Results): Yapılan deneyler sonucunda kesme kuvvetleri ile kesme hızı arasında ters orantı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizlerde esas kesme kuvvetinin oluşmasında en etkin parametrenin sertlik olduğu anlaşılmıştır. / As a result of the experiments, it was determined that there is an inverse relationship between cutting forces and cutting speed. Statistical analysis revealed that hardness is the most effective parameter in the formation of the main cutting force.

Sonuç (Conclusion): ANOVA sonuçlarına göre F_c ve α değerleri üzerinde en büyük etkiye malzeme sertliğinin sahip olduğu tespit edilmiştir. Optimum değerlerin 11SMnPb37 malzemenin TiAlN PVD kaplamalı takım kullanılarak 63,6364 m/dak kesme hızında işlendiğinde elde edileceği sonucuna ulaşılmıştır. / According to the ANOVA results, it was found that the material hardness had the greatest effect on F_c and α values. It was concluded that the optimum values will be obtained when 11SMnPb37 material is machined at a cutting speed of 63.6364 m/min using TiAlN PVD coated tool.



CNC Torna Tezgâhlarında St37-2 / S235JR, 11SMnPb37 ve C45 (1.0503) Çeliklerine NPT Konik Diş Açma İşlemlerinin İncelenmesi Ve Optimizasyonu

Cüneyt KURTULUŞ¹ , Emre AYHAN² , Ahmet MAVİ³ 

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye

³Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 27/11/2024
Düzeltilme: 18/12/2024
Kabul: 23/12/2024

Anahtar Kelimeler

NPT
Konik diş
ANOVA
RSM

Öz

Bu çalışmada, farklı sertliğe sahip malzemeler (St37-2/S235JR, 11SMnPb37 ve C45(1.0503)) üzerine NPT konik diş açma işlemi uygulanmış ve işleme parametrelerinin esas kesme kuvveti (F_c) ve eğim (α) üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde dört farklı kesme hızı (50, 60, 70 ve 80 m/dak), 1,411 mm/dev adım ve PVD yöntemi ile kaplanmış iki farklı kaplamalı kesici takım (AlCrN+ AlCrSiN, TiAlN) kullanılmıştır. Kesme derinliği ise tüm deneylerde sabit 1,015 mm alınmıştır. Deney sonuçları üzerinde etkin parametrelerin belirlenmesi için varyans analizi (ANOVA) yapılarak, yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM) yöntemiyle optimum işleme parametreleri tespit edilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre F_c ve α değerleri üzerinde en büyük etkiye malzeme sertliğinin sahip olduğu tespit edilmiştir. Optimum değerlerin 11SMnPb37 malzemenin TiAlN PVD kaplamalı takım kullanılarak 63,6364 m/dak kesme hızında işlendiğinde elde edileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Investigation and Optimization of NPT Taper Threading Operations on St37-2 / S235JR, 11SMnPb37 and C45 (1.0503) Steels on CNC Lathes

Article Info

Research article
Received: 27/11/2024
Revision: 18/12/2024
Accepted: 23/12/2024

Keywords

NPT
Tapered Thread
ANOVA
RSM

Abstract

In this study, NPT taper threading was performed on materials with different hardness (St37-2/S235JR, 11SMnPb37 and C45(1.0503)) and the effects of machining parameters on the main cutting force (F_c) and rake (α) were experimentally investigated. Four different cutting speeds (50, 60, 70 and 80 m/min), 1.411 mm/rev pitch and two different coated cutting tools (AlCrN+ AlCrSiN, TiAlN) coated by PVD method were used in the experiments. The depth of cut was taken as constant 1.015 mm in all experiments. Analysis of variance (ANOVA) was performed to determine the effective parameters on the experimental results and the optimum machining parameters were determined by response surface methodology (RSM). According to the ANOVA results, it was found that the material hardness had the greatest effect on F_c and α values. It was concluded that the optimum values will be obtained when 11SMnPb37 material is machined at a cutting speed of 63.6364 m/min using TiAlN PVD coated tool.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Konik vida işleme, otomotiv, havacılık, uzay, gemi yapımı ve diğer birçok endüstrideki uygulamalar için büyük öneme sahiptir. Konik vida açma hassas ve karmaşık bir işlemdir. Bu işlem özellikle ağır yüklerin taşınması ve geniş sıcaklık aralıklarında iş görececek yüksek kaliteli, dayanıklı parçaların üretilmesi için kullanılmaktadır. Konik vida açmada işleme parametrelerinin doğru tayin edilmesi ürünün performansı ve güvenilirliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir [1-2]. Yapılan araştırmalar konik vida açma işlemleri üzerinde, kesme hızı, ilerleme

hızı, kesme derinliği, iş parçası ve takım malzemesi, soğutma ve yağlama teknikleri gibi çeşitli faktörlerin etkisi olduğunu ortaya koymuştur [3]. Özellikle koniklik oranı, adım, devir sayısı ve ilerlemenin işleme üzerinde etkin parametreler olduğu görülmektedir [4].

Koniklik, torna tezgâhındaki iş parçasının vida profili boyunca döndürülen konik yüzeyin çapını belirler. Bu parametre, vida açma işlemi sırasında yüzeyin genel şekli ve eğim açısını etkiler. Genellikle, konik çapın daha büyük olması, daha geniş bir vida profili ve daha düşük bir eğim açısı

anlamına gelmektedir [5]. Adım genellikle milimetre cinsinden ölçülür ve daha büyük bir adım, daha geniş vida profilleri oluşturur. Ancak, adımın çok büyük olması vida profilinin kalitesini düşürebilir, bu nedenle adım büyüklüğü işleme sürecinde literatür incelemesi ve standartlara dikkat edilerek seçilmelidir [6]. Devir sayısı, iş parçasının işleme sırasında ne kadar hızlı döndüğünü belirler. Daha yüksek bir devir sayısı, daha hızlı bir işleme süreci anlamına gelir, aynı zamanda daha yüksek ısı stres ve potansiyel olarak daha düşük vida kalitesi riskini de beraberinde getirir. İlerleme, torna tezgâhındaki kesici aletin iş parçası boyunca ne kadar hızlı hareket ettiğini belirler. Daha yüksek bir ilerleme hızı, daha hızlı bir işleme süreci anlamına gelir, ancak aynı zamanda daha yüksek aşınma ve potansiyel olarak daha düşük vida kalitesi riskini de beraberinde getirir [7].

Konik vida açma işlemleri ve parametrelerine dair yapılan son çalışmalar, parametrelerin belirli bir CNC torna tezgâhında konik vida açma işleminin genel performansı ve kalitesi üzerinde doğrudan etkisi olduğunu göstermektedir. Tsai ve Wang konik vida açma işlemlerinde kesme parametrelerinin işleme hızı, iş parçası malzemesi ve kesici takım malzemesi gibi faktörlerle karmaşık bir yapıda olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada, konik vida işleme parametrelerini optimize etmek için genetik algoritma ve Taguchi tekniğini kullanmışlardır. Çalışmada, uygulanan tekniklerin konik vida işleme işlemlerinin verimliliğini ve kalitesini önemli ölçüde artırabileceği sonucuna varılmıştır [8].

Diğer bir önemli çalışma, konik vida işleme işlemlerinde kesme hızının ve ilerlemenin etkisini inceleyen Li ve diğerleri (2008) tarafından yapılmıştır. Çalışma, yüksek bir kesme hızının ve ilerlemenin, daha hızlı bir işleme sürecine ve daha yüksek bir talaş kaldırma hızına yol açabileceğini, ancak aynı zamanda kesici aletin daha hızlı aşınmasına ve işleme kalitesinin düşmesine neden olabileceğini bulmuştur. Bu nedenle, optimum kesme hızı ve ilerlemenin seçilmesi, konik vida işleme işlemlerinin genel performansını en üst düzeye çıkarırken kesici aletin aşınmasını en aza indirebileceği vurgulanmıştır [9].

Jin ve Zhang (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, CNC torna tezgâhlarında konik vida işleme işlemlerinin en iyileştirilmesine odaklanılmıştır. Bu çalışmada, işleme parametrelerini optimize etmek için genetik algoritma kullanılmıştır. Sonuçlar, bu yaklaşımın konik vida işleme işlemlerinin verimliliğini ve

kalitesini önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir [10].

Bir başka çalışmada Liao ve Chen (2010), konik vida işleme işlemlerinde kesme hızının, ilerlemenin ve derinliğin etkisini incelemiştir. Çalışma, yüksek bir kesme hızının ve ilerlemenin, daha hızlı bir işleme sürecine ve daha yüksek bir talaş kaldırma hızına yol açabileceğini, ancak aynı zamanda kesici aletin daha hızlı aşınmasına ve işleme kalitesinin düşmesine neden olabileceğini bulmuştur. Bu nedenle, optimum kesme hızı ve ilerlemenin seçilmesi, konik vida açma işlemlerinin genel performansını en üst düzeye çıkarırken kesici aletin aşınmasını en aza indireceği vurgulanmıştır [11].

Literatürde NPT konik diş açma yöntemi ile yapılan işleme süreçlerinin istatistiksel analizi ve yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM) kullanılarak optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir. RSM, problemler için en uygun çözümü elde etmek amacıyla tasarlanmış deneyler dizisi kullanan bir yöntem olması sebebiyle işleme operasyonlarının optimizasyonu için tercih edilmektedir [12]. Makadia ve Nanavati, tornalama işlemleri sonucunda yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için, RSM yöntemini kullanarak işleme parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışmıştır [13]. Neşeli ve arkadaşları, yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürmek amacıyla RSM yöntemini AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında kullanarak, işleme parametrelerinin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir [14]. Kumar Gupta ve arkadaşları, titanyum alaşımının tornalama işlemlerinde kesme hızı, ilerleme hızı ve yaklaşma açısı gibi işleme parametrelerinin ve kesme sıvılarının RSM'ye dayalı optimizasyonu üzerine çalışmıştır [15].

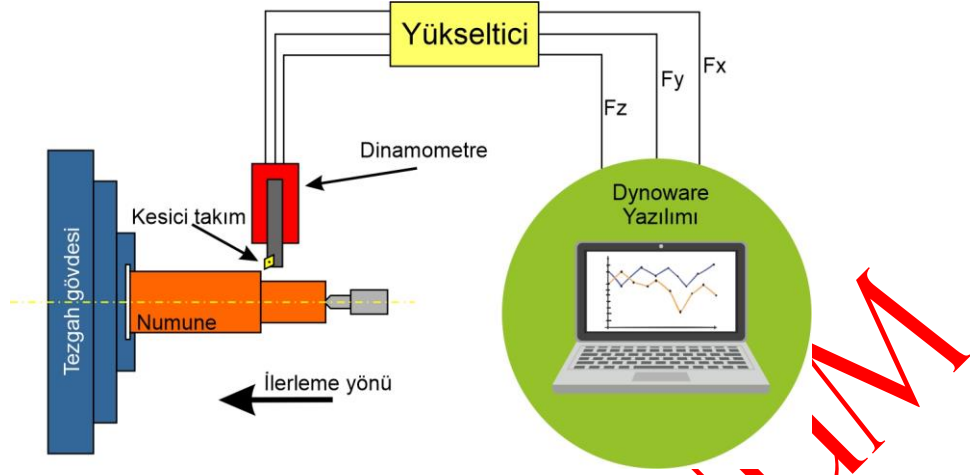
Bu çalışma ile konik vida açma işlemi üzerinde parametrelerin etkisi yapılacak olan deneyler ile incelenecek olup, istatistiksel yöntemler aracılığıyla optimum sonuçların elde edileceği vida açma parametreleri tespit edilecektir. Bu sayede süreç ile ilişkili parametrelerin incelenmesi ve anlaşılması için etkin bir yol sağlayacaktır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Deney Düzenegi (Experimental Setup)

DeneySEL çalışmalar Gazi Üniversitesi İmalat Mühendisliği bölümü Makine atölyesinde bulunan iş mili hızı en fazla 3500 devir/dakika ve 10 kW güce sahip Johnford TC35 CNC torna tezgâhı

kullanılarak yapılmıştır. Deneylerin yapılması ve kesme kuvvetlerinin ölçümü için kullanılan düzenek Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kesme kuvveti ölçümü için deney düzeneği (The experimental setup for cutting force measurement)

2.2. İşparçası (Workpiece)

Deney malzemesi olarak otomat çeliği (11SMnPb37), transmisyon çeliği (St 37-2 / S235JR) ve C45 çeliği (1.0503) kullanılmıştır. Deney numunelerinin boyutları 260 mm boy ve 30 mm çapında olup, deney yapılacak kısımlar NPT 3/8 standardında tornalanarak hazırlanmıştır. Deney numunelerinin içeriği Tablo 1’de ve numunelere ait mekanik özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

2.3 Takım (Tool)

Deneylerde kesici takım olarak, Kraft marka ER16-8NPT KR1020(2-4 µm TiAlN PVD ultra ince tanecikli kaplama), KR1220(2-4 µm nano AlCrN +

AlCrSiN PVD ultra ince tanecikli kaplama) olmak üzere iki çeşit diş vida sert maden uç kullanılmıştır. Kesici takımlara ait özellikler Şekil 2’de verilmiştir [16].

Kesici uç profili NPT diş açma işlemlerine uygun olup her deney için yeni bir takım ucu kullanılmıştır. Deneyler kesici takım firmasının önerileri ve literatürde belirtilen değerler dikkate alınarak 4 farklı kesme hızında (50, 60, 70 ve 80 m/dak) gerçekleştirilmiştir. Vida adımı olarak 1.411 mm ilerleme miktarı alınmıştır. Deneyler için CNC torna tezgâhında G76 diş açma döngüsü standartlara göre programlanmıştır.

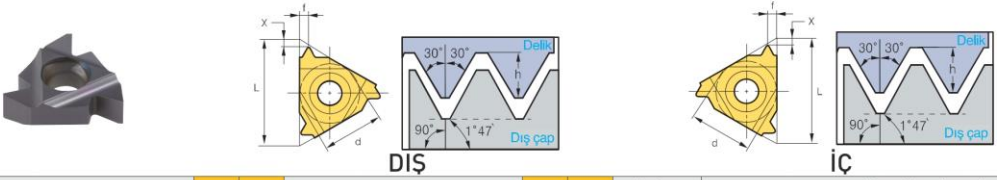
Tablo 1. Deney numunelerinin içerikleri (Contents of test specimens)

	İçerik (%)								
	C	Mn	P	S	N	Cu	Si	Pb	CR
St 37-2 / S235JR	0.2	1.4	0.04	0.04	0.012	0.55	-	-	-
11SMnPb37	0.14	1-1.5	0.11	0.34-0.4	-	-	0.05	0.2-0.35	-
C45 (1.0503)	0.43-0.5	0.5-0.8	0.045	0.045	-	-	0.4	-	0.4

Tablo 2. Deney numunelerinin mekanik özellikleri (The properties of the test specimens)

	St 37-2 / S235JR	11SMnPb37	C45 (1.0503)
Sertlik (HB)	195	205	177
Çekme dayanımı (MPa)	401	605	710
Akma dayanımı (MPa)	225	375	305
Kopma uzaması (%)	25	8	7

NPT BORU DİŞ (NPT)



Kod (Dış)	KR1020	KR1220	Kod (İç)	KR1020	KR1220	Hatve (tpi)	Boyutlar (mm)				
							d	L	hmin	X	f
ER 11-27NPT	●	●	NR 11-27NPT	●	●	27	6.35	11	0.66	0.7	0.8
11-18NPT	●	●	11-18NPT	●	●	18	6.35	11	1.01	0.8	1.0
11-14NPT	●	●	11-14NPT	●	●	14	6.35	11	1.33	0.8	1.0
16-27NPT	●	●	16-27NPT	●	●	27	9.525	16	0.66	0.7	0.8
16-18NPT	●	●	16-18NPT	●	●	18	9.525	16	1.01	0.8	1.0
16-14NPT	●	●	16-14NPT	●	●	14	9.525	16	1.33	0.9	1.2
16-11.5NPT	●	●	16-11.5NPT	●	●	11.5	9.525	16	1.64	1.1	1.5
16-8NPT	●	●	16-8NPT	●	●	8	9.25	16	2.42	1.3	1.8

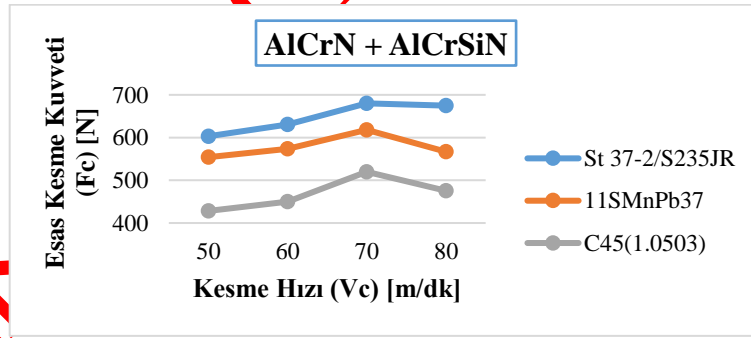
Şekil 2. NPT kaplamalı kesici uç teknik resmi ve sınıflandırması (Technical drawing and classification of npt coated cutting insert)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

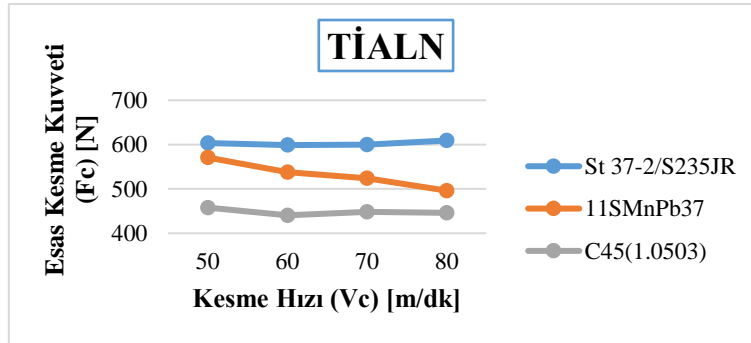
Bir önceki bölümde belirlenen deney parametreleri kullanılarak çalışma kapsamında 24 deney yapılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçümleri deneyler ile eşzamanlı olarak KISTLER 9257B dinamometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu dinamometre "KISTLER Type 5019" bir sinyal yükselticiye (Multichannel Charge Amplifier) bağlanmış ve kesme kuvvetleri RS-232C ara kablo ile bilgisayara gönderilerek "DynoWare Type

2825A1-2" programı ile grafikler elde edilmiştir. Çalışmada değerlendirilecek olan NPT diş profili, adım ve eğim gibi verilerin ölçülmesi ise CARMAR RATIONAL CPI 3015 profil projektör cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te deney parametreleri ve deneylere ait sonuçlar verilmiştir.

Fc sonuçlarının yorumlanması amacıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilen grafikler oluşturulmuştur. Söz konusu grafikler deney numunelerinin farklı kesme hızlarında ölçülen Fc değerlerini göstermektedir.



Şekil 3. AICrN+ AICrSiN PVD kaplamalı takım kullanılan deneylere ait Fc grafiği (Fc graph of experiments using AICrN+ AICrSiN PVD coated tools)



Şekil 4. TiAlN PVD kaplamalı takım kullanılan deneylere ait Fc grafiği (Fc graph of experiments using TiAlN PVD coated tools)

Tablo 3. Deney sonuçları tablosu (Experimental results)

Deney No	Deney Parametreler			Deney Sonuçları		
	Kesme Hızı (V_c) [m/dk]	Malzeme Sertliği (M) [HB]	Kesici Takım Kaplaması (K_j)*	Esas Kesme Kuvveti (F_c) [N]	Eğim Açısı (α) [°]	Adım (P) [mm]
1	50	195	AlCrN+ AlCrSiN PVD	554.10	1.8167	1.407
2	60	195	AlCrN+ AlCrSiN PVD	573.74	1.8167	1.407
3	70	195	AlCrN+ AlCrSiN PVD	618.06	1.8167	1.407
4	80	195	AlCrN+ AlCrSiN PVD	566.87	1.8000	1.407
5	50	205	AlCrN+ AlCrSiN PVD	428.29	1.8167	1.411
6	60	205	AlCrN+ AlCrSiN PVD	450.12	1.8000	1.411
7	70	205	AlCrN+ AlCrSiN PVD	519.86	1.8000	1.411
8	80	205	AlCrN+ AlCrSiN PVD	475.69	1.7667	1.411
9	50	177	AlCrN+ AlCrSiN PVD	603.06	1.7667	1.410
10	60	177	AlCrN+ AlCrSiN PVD	630.20	1.7833	1.410
11	70	177	AlCrN+ AlCrSiN PVD	680.09	1.8000	1.410
12	80	177	AlCrN+ AlCrSiN PVD	674.88	1.8000	1.410
13	50	195	TiAlN PVD	570.90	1.8000	1.408
14	60	195	TiAlN PVD	537.80	1.8000	1.408
15	70	195	TiAlN PVD	524.15	1.8167	1.408
16	80	195	TiAlN PVD	496.24	1.8167	1.408
17	50	205	TiAlN PVD	457.88	1.7833	1.411
18	60	205	TiAlN PVD	440.51	1.7833	1.411
19	70	205	TiAlN PVD	448.12	1.7667	1.411
20	80	205	TiAlN PVD	446.21	1.7667	1.411
21	50	177	TiAlN PVD	603.57	1.7667	1.410
22	60	177	TiAlN PVD	599.02	1.8000	1.410
23	70	177	TiAlN PVD	600.21	1.8167	1.410
24	80	177	TiAlN PVD	609.32	1.8333	1.410

*Çalışmanın devamında AlCrN+ AlCrSiN PVD K_1 ile TiAlN PVD ise K_2 ile ifade edilecektir.

Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde, Her iki kesici takım için de en iyi sonucun C45(1.0503) malzemede elde edildiği bunu sırasıyla 11SMnPb37

ve St 37-2 malzemelerin takip ettiği görülmektedir. En düşük kesme kuvvetlerinin TiAlN kaplamalı takımları için en yüksek kesme hızında, AlCrN+

AlCrSiN takımlarda ise en düşük kesme hızlarında ölçüldüğü görülmektedir. Şekillerde TiAlN kaplamalı takımların AlCrN+ AlCrSiN takımlara oranla daha düşük kesme kuvvetleri oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca TiAlN kaplamalı takımlarla yapılan vida açma işlemlerinde kesme hızlarının artması ile esas kesme kuvvetlerinde bir düşüşün olduğu görülmektedir. Bu eğilim başlıca nedeni, talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan güç çoğunlukla kayma düzleminde, kesici uç çevresinde ısıya dönüşür. Kayma düzleminde oluşan ısının büyük bir bölümü talaşa atılır ancak belli bir miktar ısı iş parçasına iletilir. İletilen bu ısı iş parçasının sertliğini azaltır. Sertlik azaldığında süneklik artacağından iş parçasından talaş kaldırmak kolaylaşır [17].

Ancak AlCrN+ AlCrSiN kaplamalı takımlarla yapılan işlemlerde kesme hızının artması ile esas kesme kuvvetlerinde bir artış eğilimi görülmektedir. Bu durumun sebebi, kesici takımlardaki aşınma miktarları ölçülmemekle birlikte; kesme hızının artmasıyla, iş parçası ve kesici takım arasında meydana gelen sürtünme, işlem sırasında ısının artmasına yol açar. Kesme işleminde ısının büyük kısmı kesici takımın ucunda birikir. Kesme hızının

artması, bu ısının daha hızlı bir şekilde oluşmasına ve dolayısıyla kesici takımın aşınma oranının artmasına yol açar. Bu, kesme kesici takımın ömrünü kısaltır ve işlem sırasında daha fazla güç harcanmasına neden olur [18].

Çalışmada, NPT konik diş açma işlemi üzerine işleme parametrelerinin etkisini somut olarak ortaya koymak amacıyla istatistiksel yöntemlerden faydalanılmıştır. Bu amaçla Minitab programında yer alan Yanıt Yüzeyi Metodolojisi (RSM) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yöntem süreçleri geliştirmek, iyileştirmek ve optimize etmek amacıyla kullanılan istatistiksel ve matematiksel bir yöntemdir [19]. Yanıt yüzeyi metodu deneysel çalışma ile bağımsız değişkenleri açıklayabilmek, verim ile değişkenler arasındaki bağıntıları elde etmek, ampirik istatistiksel modelleme ile süreç değişkenlerinin değerlerini bulmak için kullanılmaktadır [20].

Yanıt yüzeyi metodu kullanılarak esas kesme kuvveti (F_c) ve eğim açısı (α) için modeller oluşturulmuştur. Söz konusu modellere ait performans değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Modellere ait performans parametreleri (Performance parameters of the models)

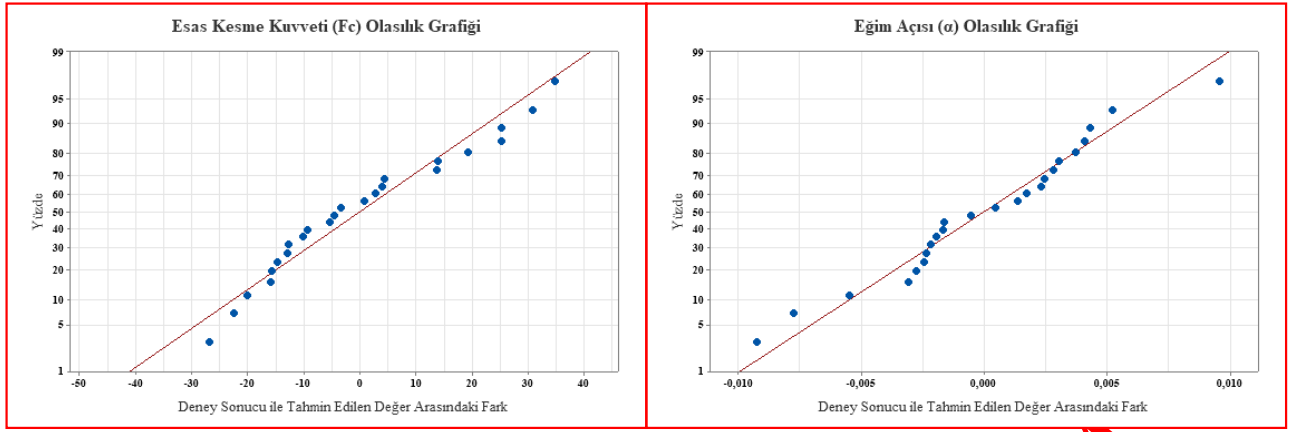
	S	R-sq (%)	R-sq(adj) (%)	R-sq(pred) (%)
F_c	21.8692	94.69	91.87	86.45
α	0.0052901	95.47	93.05	90.17

Tablo 4'te yer alan S parametresi, deney sonuçları ile modelin elde ettiği sonuçlar arasındaki farkın standart sapmasını ifade etmektedir. R-sq parametresi deney sonuçları ile modelin elde ettiği sonuçların uyumunu oransal olarak ifade etmektedir. R-sq(adj) parametresi, model tarafından hesaplanan sonuçların varyasyonunun, deney sayısına göre modeldeki tahminlerin ayarlanmış yüzdesini ifade etmektedir. R-sq(pred) parametresi ise modelin yeni deneylerin sonuçlarını tahmin ettiğinin oransal olarak göstergesidir.

Şekil 5'te modellerden elde edilen olasılık grafikleri verilmiştir. Grafiklerde yanıtın normal dağıldığı görülmektedir. Bu durum ANOVA analizinin yanıtı analiz etmek için uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Modellere ait ANOVA sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'teki F-değerleri incelendiğinde kesme kuvveti üzerinde malzeme sertliğinin en büyük etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Malzeme sertliğini kaplama türü ve kesme hızı takip etmektedir. Eğim açısı üzerinde ise sırasıyla malzeme sertliği, kesme hızı ve kaplama türü parametrelerinin etkin olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 5'te yer alan P-değerleri ise ilgili faktörün kesme kuvveti ve eğim üzerindeki istatistiksel önemini temsil etmektedir. P-değerinin 0.05 değerinden düşük veya eşit olmasının ilgili faktörün model için istatistiksel olarak anlamlı olduğu ifade edilmektedir [21]. Modellerin hesapladığı katsayılar ve bu katsayıların istatistiksel anlamlılığı dikkate alınarak elde edilen regresyon denklemleri Eşitlik 1-4 arasında Tablo 6'da verilmiştir.

Şekil 5. Fc ve α için olasılık grafikleri (Probability plots for Fc and α)Tablo 5. Fc ve α modellerine ait varyans analizi (ANOVA) sonuçları (ANOVA results for Fc and α models)

Terim	Serbestlik Derecesi	F _c					α				
		Düzeltilmiş Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Ortalama Kareler Toplamı	F-Değeri	Yüzde Katkı Oranı (%)	P-Değeri	Düzeltilmiş Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Ortalama Kareler Toplamı	F-Değeri	Yüzde Katkı Oranı (%)	P-Değeri
Model	8	128046	16006	33.47	8.12	0.000	0.008839	0.001105	39.48	7.95	0.000
Doğrusal etki	3	120534	40178	84.01	20.39	0.000	0.000806	0.000269	9.60	1.93	0.001
V _c	1	936	936	1.96	0.48	0.182	0.000366	0.000366	13.07	2.63	0.003
M	1	111167	111167	232.44	56.43	0.000	0.000434	0.000434	15.50	3.12	0.001
K _j	1	8430	8430	17.63	4.28	0.001	0.000006	0.000006	0.22	0.04	0.644
Karelerin etkisi	2	8004	4002	8.37	2.03	0.004	0.002539	0.001270	45.36	9.13	0.000
V _c x V _c	1	758	758	1.58	0.38	0.227	0.000185	0.000185	6.60	1.33	0.021
M x M	1	7246	7246	15.15	3.68	0.001	0.002354	0.002354	84.12	16.94	0.000
İkili etkileşim	3	6220	2073	4.33	1.05	0.022	0.005933	0.001978	70.67	14.23	0.000
V _c x M	1	366	366	0.76	0.18	0.396	0.003781	0.003781	135.12	27.21	0.000
V _c x K _j	1	5420	5420	11.33	2.75	0.004	0.000752	0.000752	26.87	5.41	0.000
M x K _j	1	433	433	0.91	0.22	0.356	0.001400	0.001400	50.03	10.07	0.000
Hata	15	7174	478				0.000420	0.000028			
Toplam	23	135220		411,94			0.009259		496,64		

Tablo 6. Regresyon denklemleri (Regression equations)

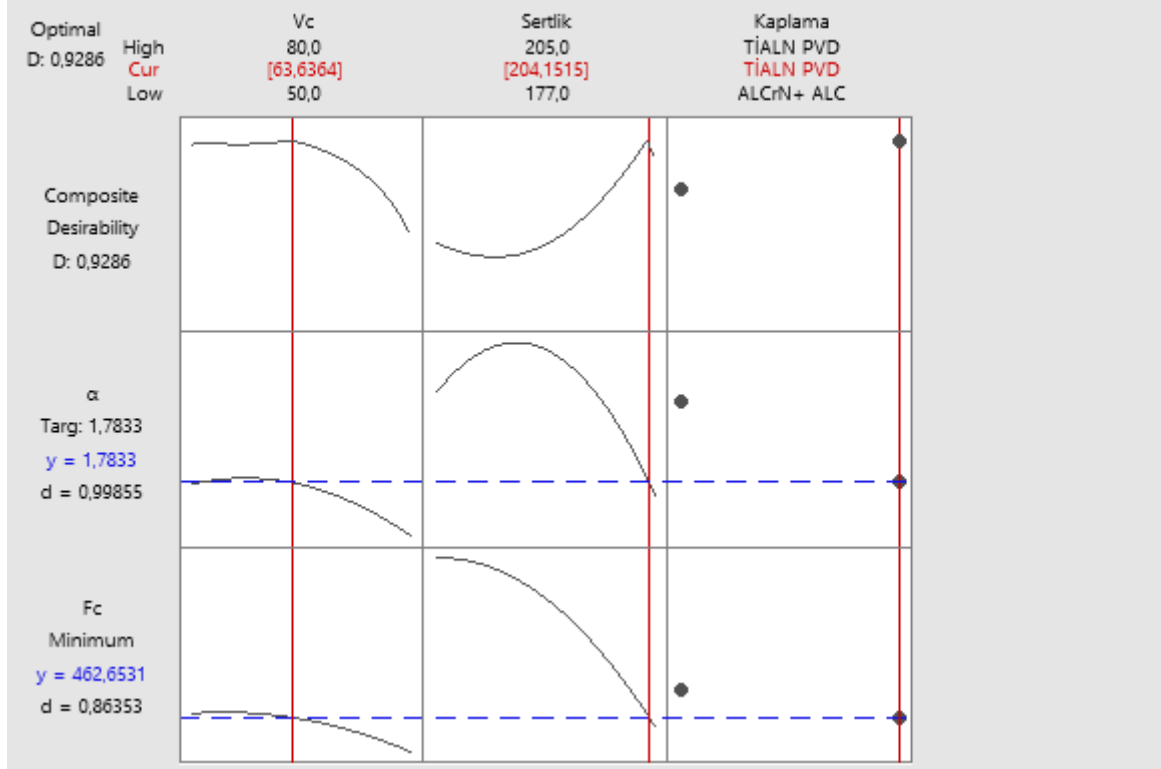
K _j	Regresyon Denklemi	Eşitlik Numarası
K ₁	$F_c = -6492 + 14.97V_c + 74.9M - 0.0562V_c^2 - 0.2075M^2 - 0.0301V_cM$	Eşitlik 1
	$\alpha = -3.863 + 0.02197V_c + 0.05178M - 0.000028V_c^2 - 0.000118M^2 - 0.000097V_cM$	Eşitlik 2
K ₂	$F_c = -6495 + 12.28V_c + 75.7M - 0.0562V_c^2 - 0.2075M^2 - 0.0301V_cM$	Eşitlik 3
	$\alpha = -3.678 + 0.02297V_c + 0.05046M - 0.000028V_c^2 - 0.000118M^2 - 0.000097V_cM$	Eşitlik 4

İki farklı kesici takım kaplaması kullanılması ve bu parametrenin kategorik değişken olması sebebiyle 4 farklı eşitlik elde edilmiştir. Esas kesme kuvveti ve eğim açısı için oluşturulan modeller ile deney setinde yer almayan parametreler için değerlerin hesaplanabilmesi mümkün kılınmaktadır. Ayrıca bu çalışmada, esas kesme kuvveti ve eğim açısı için

optimum sonuçların elde edilebileceği işleme parametrelerinin belirlenmesi üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Bu noktada esas kesme kuvveti ve eğim açısı için istenen koşullar eş zamanlı dikkate alınarak çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılmıştır. Esas kesme kuvveti ve eğim açısının optimizasyonu için Minitab programında yer alan

“Response Optimizer” modülü kullanılmıştır. Optimizasyonda esas kesme kuvveti için en küçük, eğim açısının ise $1^{\circ} 47'$ (1.7833°) olması hedef

olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sonuçları Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. “Response Optimizer” sonuçları (Response Optimizer results)

Şekil 7’den görüleceği üzere belirlenen optimizasyon koşullarının sertliği 204.1515 HB olan malzemenin TiAlN PVD kaplamalı takım ile 63.6364 m/dak kesme hızında işlendiğinde elde edileceği sonucuna varılmıştır. Deneylede kullanılan 11SMnPb37 malzemenin sertliği 205 HB olması sebebiyle, optimum koşulların sağlanacağı malzeme olarak seçilebileceği ifade edilebilir. Yine Şekil 7’de verilen D (desirability) değeri istatistikte ve optimizasyon çalışmalarında bir sürecin veya sonuçların istenen bir hedefe ne kadar yaklaştığını ölçmek için kullanılan bir metriği ifade etmektedir. D değeri 0 ile 1 arasında bir sayıdır. 1’e yakın D değeri, sonuçların çok kriterli karar vermede başarılı olduğu anlamına gelir. Çalışmada elde edilen D değeri (0.9286) kabul edilebilir bir değerdir [22].

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmada standartlara uygun NPT konik diş açma işlemi üzerinde işleme parametrelerinin etkisini gözlemlemek adına deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde malzeme sertliğinin, kesici takım

kaplamasının ve kesme hızı değerlerinin etkisi incelenerek sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda en düşük kesme kuvvetinin C45(1.0503) malzemede ve en yüksek kesme hızında (80 m/dk)’da ölçüldüğü görülmüştür. En düşük kesme kuvvetlerinin TiAlN kaplamalı takımları için en yüksek kesme hızında, AlCrN+ AlCrSiN takımlarda ise en düşük kesme hızlarında ölçüldüğü görülmektedir.

Yapılan ANOVA analizine göre esas kesme kuvveti ve eğim açısı sonuçlarında en büyük etkiye malzeme sertliğinin sahip olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Çalışmanın devamında, NPT konik diş açma işleminde optimum sonuçların elde edilebileceği parametreler RSM yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Esas kesme kuvvetinin en küçük olması, eğim açısının ise 1.7833° ($1^{\circ} 47'$) olması hedeflenerek yapılan optimizasyon sonucunda 11SMnPb37 malzemenin TiAlN PVD kaplamalı takım ile 63.6364 m/dak kesme hızında işlenmesi gerektiği sonucu elde edilmiştir. Ayrıca, çalışmada elde edilen denklemler (Eşitlik 1-4) kullanılarak farklı parametreler için esas kesme kuvveti ve eğim açısı değerleri kabul edilebilir doğrulukta hesaplanabilmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Cüneyt KURTULUŞ: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process of the article.

Emre AYHAN: Elde edilen deney sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He analyzed the experimental results and completed the writing process of the article.

Ahmet MAVİ: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process of the article.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Show, M. C. (2005). Metal Cutting Principles. New York: Oxford University Press. Tutunea, D. F., & Marginean, G. (2013). CNC Machining Technology, Volume III: Procedures. Sibiu: "Lucian Blaga" University.
- [2] Jin, X., & Zhang, D. (2009). Multi-objective optimization of turning process in view of machining efficiency and carbon emission. Journal of Cleaner Production, 17(16), 1478-1487.
- [3] Lin, S. C., & Chen, I. K. (2012). The CNC system with thread cutting function. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 62(5-8), 771-778.
- [4] Nasr, M. N. A., & Kamrani, A. K. (2006). A new methodology for extracting manufacturing features from CAD system. Computers & Industrial Engineering, 51(3), 389-415.
- [5] Brecher, C., Esser, M., & Witt, S. (2015). Interaction of manufacturing process and machine tool. CIRP Annals, 64(2), 588-609.
- [6] Bolt, P. (2015). CNC Control Setup for Milling and Turning. New York: Industrial Press.
- [7] Das, A., Patel, S. K., Hotta, T. K., & Biswal, B. B. (2019). Statistical analysis of different machining characteristics of EN-24 alloy steel during dry hard turning with multilayer coated cermet inserts. Measurement, 134, 123-141.
- [8] Duzen, H., & Acar, E. (2016). Effects of cutting parameters on vibration and sound pressure level in turning of AISI 304 austenitic stainless steels. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 82(5-8), 1185-1196.
- [9] Tsai, M. Y., & Wang, P. J. (2007). Optimization of multi-pass turning with genetic algorithm and Taguchi's technique. Journal of Materials Processing Technology, 209(2), 661-667.
- [10] Li, H., Liu, Y., & Zhang, D. (2008). Tool life and surface roughness in machining 20CrMnTi alloy with coated carbide tool under different cooling/lubrication conditions. International Journal of Refractory Metal and Hard Materials, 26(3), 189-198.
- [11] Jin, X., & Zhang, Y. (2009). Research on cutting parameters for finish turning based on the taguchi method. Journal of Materials Processing Technology, 209(8), 3809-3814.
- [12] Liao, Y. S., & Chen, Y. C. (2010). A study on the high-speed finish turning of AISI 4340 hardened alloy steel by Al₂O₃/TiC mixed ceramic tool. Journal of Materials Processing Technology, 210(15), 2245-2251.
- [13] Mohsen Soori, Mohammed Asmael. (2022). A Review of the Recent Development in Machining Parameter Optimization. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 16 (2), 205-223.
- [14] Makadia, A.J.; Nanavati, J. (2013). Optimization of machining parameters for turning operations based on response surface methodology. Measurement, 46(4), 1521-1529.
- [15] Neşeli, S.; Yıldız, S.; Türkeş, E. (2011). Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology. Measurement, 44(3), 580-587.
- [16] Gupta, M.K.; Sood, P.; Sharma, V.S. (2016). Optimization of machining parameters and cutting fluids during nano-fluid based minimum quantity lubrication turning of titanium alloy by using evolutionary techniques. Journal of Cleaner Production, 135, 1276-1288.

- [16] Temak (2022). Kraft 2022 Ürün Katalođu. <https://temak.com.tr/wp-content/uploads/2022/11/Kraft-2022-U%CC%88ru%CC%88n-Katalog%CC%86u.pdf>
- [17] Singal R.K., Singal M., Singal R. (2009). "Fundamentals of Machining and Machine Tools", Wiley.
- [18] Çakır M.C., "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Yayın No: 140 VİPAŞ Yayın No: 16 Bursa (1999).
- [19] Raymond HM, Douglas CM, Christine MAC (2009). Response Surface Methodology (3rd Edition). Canada: A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 1-11.
- [20] Kathleen MC, Natalia YK, Jeff R (2004). Response Surface Methodology. CASOS Technical Report, 31.
- [21] Ayhan, E., Yurdakul, M., Çođun, C., & İç, Y. T. (2023). The entropy method integrated RSM model to evaluate hole geometries in electrochemical blind hole drilling. Australian Journal of Mechanical Engineering, 1–19.
- [22] Amel Chabbi, Mohamed Athmane Yallese, Ikhlas Meddour, Mourad Nouioua, Tarek Mabrouki, François Girardin (2017). Predictive modeling and multi-response optimization of technological parameters in turning of Polyoxymethylene polymer (POM C) using RSM and desirability function. Measurement, 95, 99-115.