

Tİ-6AL-4V ELİ MALZEMESİNİN TORNALAMA İŞLEMİNDE YÜKSEK BASINÇLI JET SOĞUTMANIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Fatih TAYLAN*, Nazım ORAL

Geliş Tarihi/ Received: 09.04.2018, Kabul tarihi/Accepted: 17.05.2018

Özet

Bu çalışmada, havacılık, uzay ve biyomedikal endüstrisinde geniş kullanım alanına sahip Titanyum (Ti-6Al-4V ELI) süper alaşımın tornalanması sırasında yüzey pürüzlülüğüne, yüksek basınçlı jet soğutmanın etkisi incelenmiştir. Yüksek basınçlı jet soğutma sistemi ile iki farklı soğutma su basıncı (6 ve 200 bar) altında tornalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tornalama deneylerinde kesme parametreleri olarak üç farklı kesme hızları (80-100-120 mm/dak) ve dört ayrı ilerleme hızları (0.2-0.25-0.3 ve 0.4 mm/dev) kullanılmıştır. Kesme derinliği 2 mm olarak sabit alınmıştır. Farklı su basınçları ile yapılan tornalama testlerinde yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artarken, soğutma suyu basıncının yüzey pürüzlülüğü üzerine olumlu yönde etkisi görülmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Tornalama, Yüzey pürüzlülüğü, Titanyum (Ti-6Al-4V Eli) ,Yüksek Basınçlı Soğutma

THE EFFECT OF HIGH PRESSURE JET COOLING ON SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OF TI -6AL-4V ELI MATERIAL

Abstract

In this study, the effect of high pressure jet cooling on the surface roughness during turning of Titanium (Ti-6Al-4V ELI) super alloy which has a large using area in the aerospace, aircraft and biomedical industries were investigated. The Turning tests were performed with high-pressure jet coolant cooling system under different pressures (6 ve 100 bar), different feed rates (0.2-0.25-0.3 and 0.4 mm / rev), different cutting speeds (80-100-120 mm/min) and also 2 mm of constant depth of cut. As a result, while the surface roughness increases with increasing of feed rate, the no positive effect of water pressure on surface roughness was observed.

Key Words: Turning, Surface Roughness, Titanium (Ti-6Al-4VELI), High Pressure Cooling

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, 32260,İsparta
E-posta: fatihtaylan@sdu.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda, teknolojinin hızlı gelişmesi, malzemelerin kullanılabilir ürün haline getirilmesinde kullanılan yöntemlerden beklentileri arttırmaktadır. Elektronik, bilgisayar, havacılık ve uzay endüstrilerinde mukavemetli ve hafif malzemelere olan ihtiyaçlar giderek artmaktadır. Titanyum alaşımları, çelik kadar dayanıklı ancak ondan % 45 daha hafiftir. Titanyum alaşımları, alüminyum alaşımlarından ise % 60 daha ağır olmasına karşın, 2 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca titanyum alaşımlarının yüksek sıcaklık mukavemeti ve korozyon direnci diğer metallerle kıyasla daha yüksektir. Sahip olduğu bu özelliklerden dolayı titanyum ve alaşımları, başta uçak ve uzay endüstrisinde olmak üzere, tıpta, kimyasal ünitelerde, denizcilikte ve yiyecek endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir [1]. Kullanım alanlarının giderek artmasına rağmen titanyum alaşımları diğer metallerle göre daha pahalıdır. Titanyumun işleme proseslerinin zahmetli olması maliyetinin de fazla olmasına neden olmuştur [2]. Titanyum alaşımlarından üretilmiş parçaların büyük bir kısmı son halini talaş kaldırma yöntemleriyle almaktadır. Titanyum alaşımlarının düşük işlenebilirliğinin ana sebebi, düşük termal iletkenlikleri, yüksek kimyasal reaktiviteleri ve düşük elastiklik modülleridir. Yukarıda bahsedilen sektörlerde yaygın kullanım alanı bulmasına rağmen titanyum alaşımları işlenmesi güç malzemeler sınıfına girmektedir [3].

Özellikle medikal, elektronik, bilgisayar, havacılık ve uzay endüstrilerde mukavemetli ve hafif malzemelere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Titanyum ve alaşımlarının sahip oldukları, yüksek dayanım, ısı ve korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı, bu beklentilerin büyük bir kısmını karşılamaktadır [4-5]. Bu alaşımlar, talaşlı imalat esnasında, yüksek sıcaklıklarda dahi sahip oldukları özellikleri korumaktadırlar.

Titanyum malzemedeki ELI ifadesi, çoğunlukla medikal sektörlerde kullanılan titanyum hammaddesinin yüksek saflık oranına sahip şekli anlamına gelmektedir. Hafiflik, yüksek korozyon direnci ve dayanıklılık gereksinimlerinin bir arada olduğu materyallerde titanyum ELI tercih edilmektedir. En önemli özelliği yüksek hasar toleransını dayanıklılık ile birleştirmesidir. Hali hazırda hafif ve korozyona karşı dirençli bir metal olan Ti-6Al-4V ELI alaşımı, bu özellikleri sayesinde en üst seviye bir hammadde haline gelmiştir. % 6 alüminyum ve % 4 vanadyum içeriğinden oluşan bu alaşım sahip olduğu üstün yapısı sayesinde dünya çapında tanınmış üreticilerin hammadde portföyünde yer almaktadır. Büyük bir bölümünü uzay havacılığı, gemicilik ve medikal üretim merkezlerinin oluşturduğu bu firmalar için titanyum ELI ideal bir hammadde. Sektördeki saygın dental implant firmalarının belirttiği üzere bu alaşım standart hammaddeden % 25 oranında daha sağlam haldedir. İçerisindeki oksijen, azot ve demir oranının düşürülmesi ile dayanıklılık – korozyon açısından titanyum hammadde arge çalışmasının ulaştığı en üst noktadır. Üretim yöntemleri ve kullandığı teknolojiler ile sektörünün en yenilikçi firması olan İmplant, ürettiği abutment ve vidalarında titanyum ELI hammaddesini kullanmaktadır. Yapısı itibarı ile mikro kırılmaların sifra indiği titanyum ELI alaşım hammaddesi ile ürettiğimiz kusursuz ürünleri bir adım ileriye taşımış oluyoruz. Kullanılan hammadde ve nihai ürünün en üst kalitede minimum kayıp ile üretimini yapıyor olmamız güvenilirlik açısından hem mikro hem de makro ölçekte büyük bir fark yaratmaktadır. Ürettiğimiz her bir ürünü dental sektör açısından eşsiz kılan da bu kalitedir. Bu kaliteyi sağlamak, devam ettirmek ve bir adım yukarı çıkarmak için hammaddeden üretimin tüm adımlarına kadar her bir adım analiz edilip yeni teknolojiler takip edilmektedir [6].

Bilim ve teknolojideki gelişmeler hızla devam etmekte, araştırma ve geliştirme çalışmaları ile teknolojik gelişmeler sağlanmaktadır. Gelişmekte olan yeni teknolojilerin yardımıyla insanların ihtiyacı olan mal ve ürünler de değişmekte ve gelişmektedir. Buna bağlı olarak sanayide, mal ve ürünlerin üretildiği ortamlar her geçen gün kendini yenilemekte, modern makine, teçhizat ve üretim yöntemleri ile tanışmaktadır. Böylece, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin üretime aktarılması, sanayide kullanılmasıyla ilgilenen üretim mühendisliği, üretim faaliyetlerinde çok önemli bir konuma gelmiştir [7]. Üretim sanayisi ve imalat tekniklerinin geliştirilmesine rağmen, talaşlı imalat kendi alanında yerini ve önemini korumaktadır. Yatırım maliyetinin düşük olması, kullanılan makine teçhizatın uzun ömürlü olması ve elde edilen ürünlerin yüzey kalitesi ve ölçü hassasiyetinin iyi olması, talaşlı imalatı diğer imalat yöntemlerinden farklı kılan bazı özelliklerdir. Talaşlı imalat işlemleri, endüstride yaygın şekilde uygulama alanı bulan şekillendirme yöntemleridir. Endüstriyel alanda, talaşlı imalat konusu, tüm imalat yöntemleri göz önüne alındığında hemen hemen yüzde yetmişini kapsamaktadır. Üretimde kaliteyi düşürmeden üretim girdilerini düşürmek ve dolayısıyla maliyeti minimize etmek temel hedeflerden biridir. Bu hedefi gerçekleştirmek için, talaşlı üretimin temel elemanları olan makine, kesici takım ve iş parçası üzerine yıllardır araştırma ve geliştirmeler yapılmaktadır. Talaşlı imalatta her türlü talaş kaldırma işleminde istenilen kalitede bir yüzey elde edebilmek için bir çok kesme parametresinin optimum şekilde düzenlenmesi gerekmektedir [8-9].

Talaşlı imalat endüstrisinde çözülmeye çalışılan başlıca problemlerden biriside işlenebilirlik tir. Her iyi imalatçı üretmek istediği ürünü nasıl daha hızlı, daha ucuz ve daha kaliteli üretebilir sorularına cevap aramaya çalışır. İşlenebilirlik bir malzemenin talaş kaldırma işlemini etkileyen özelliklerin tamamı veya talaş kaldırma yöntemleri ile üretimin kolaylığı veya zorluğudur [10]. İşlenebilirlik çoğunlukla malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerine de bağlıdır. İşlenebilirlik, bir malzemenin istenen yüzey formu ve toleransına getirilmesi için takım ve işleme parametreleriyle bağlantılı olarak, nasıl kolayca kesilebileceğidir. En geniş anlamda işlenebilirlik aşağıdaki kriterlere göre tanımlanır [11].

Günümüzde birden fazla parçanın imal edilmesinde talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Takım tezgâhları kullanılarak kesiciler yardımıyla talaş kaldırılarak, parçaların daha önceden belirlenen boyut, geometri ve yüzey kalitesinde imal edilmesi işlemine talaşlı imalat denir. Boyut, geometri ve yüzey kalitelerindeki üstünlüklerden dolayı birden fazla parçanın üretiminde talaşlı imalat yöntemleri tercih edilmektedir.

Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlüğü (Ra), yaklaşık olarak $1.6\mu\text{m}$ 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten ziyade görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü ölçümü kalite kontrolü sürecine dâhil olur. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayınla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS α : Kesici takım talaş açısı ϕ : Kayma düzlemi açısı 34 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir [12,13].

Yüksek basınçlı jet soğutma/yağlama sistemi(YBJS) ile işleme, geleneksel işleme yöntemine göre kesme bölgesinde daha iyi bir termal ve mekanik kesme ortamı sağlaması sebebi ile yenilikçi bir yöntemdir. Bu yenilikçi alternatif metot; talaşın kırılmasında ve kesme bölgesinin soğutulmasında büyük ölçüde iyileşmeye yol açar [14]. Yüksek basınçlı soğutma ile işleme yöntemi metal kesme sektöründe malzeme kaldırma kabiliyeti ve verimliliği yönünde önemli bir artış göstermektedir. [15]. YBJS desteği ile tormalama işlemi; sıvı basıncına ve debisine bağlı olarak kesme bölgesindeki sıcaklığın düşürülmesi ve talaş kontrolü için etkili bir yöntemdir. Kesme sıvıları çevre ve üretim ekonomisi üzerine doğrudan bir etkiye sahiptir. Geleneksel soğutma yönteminden vazgeçerek kuru veya YBJS teknolojisi kullanılarak kesme sıvıları sarfiyatı ile tüketim maliyet düşürülebilir. Bu yöntem işleme sürecinin verimliliğinin yanı sıra çevre ile ilgili endişeleri ortadan kaldırmaktadır [16].

YBJS ile ilgili olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, YBJS'nin yüzey pürüzlülüğüne, talaş morfolojisine, kesme kuvvetlerine, takım ömrü ve takım aşınması üzerine etkilerinin incelendiği çalışmalarla karşılaşılmıştır.

Kramar ve Kopac sert krom kaplanmış ve yüzeyi sertleştirilmiş C45E malzemesi ile Inconel 718 malzemesinin, kaplanmış karbür takımlarla kaba tormalanmasında YBJS'nin talaş kırılabilirliği, soğutma etkisi, kesme bölgesi sıcaklığı, takım aşınması ve kesme kuvvetlerine etkisini araştırmak için deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geleneksel soğutma sistemi ile YBJS sisteminin karşılaştırılması yapmışlardır. Genel olarak talaş kırılabilirliğinde önemli artış, soğutma sıvısı sarfiyatında 4 kat kadar düşüş, C45E malzemesi için takım ömründe 5 kata kadar artış ve Inconel 718 malzemesi için takım ömründe 2 kat kadar artış elde etmişlerdir. İleriki çalışmalar için, işlenmiş parçaların yorulma davranışlarındaki avantajları ile ilgili olarak yüzey pürüzlülüğünün ayrıntılı olarak incelenebileceğini tavsiye etmişlerdir [16].

Kamruzzaman ve Dhar, yüksek basınçlı soğutmanın sıcaklığa, takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarını 17CrNiMo6 ve 42CrMo4 malzemeleriyle, kaplanmamış karbür uçlarla kuru ve yüksek basınçlı şartlarda gerçekleştirmişlerdir. Yüksek basınçlı soğutmayla talaş yüzeyi üzerinde yardımcı kesme kenarı boyunca bir yağ filmi elde etmişlerdir. Bu yağ filmi ile takım talaş ara yüzeyindeki teması önlemiş ve önemli ölçüde sıcaklığın azaldığını gözlemlemişlerdir. Parametrelere bağlı olarak %25 oranında kesme sıcaklığını düşürmüşlerdir. Takım-talaş ve iş parçası-takım arasındaki sürtünmeyi azaltarak yığıntı talaş oluşumunu, yan yüzey aşınmasını azaltarak takım ömrünün artmasını sağlamışlardır [17].

Mia ve Dhar, Ti-6Al-4V süper alaşımının tormalanmasında YBJS sisteminin etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında takım-talaş ara yüzeyine (takım talaş yüzeyine) ve takım-iş parçası ara yüzeyine (takım yan yüzeyine) olmak üzere çift yönlü yüksek basınçlı soğutma sistemi tasarlayıp uygulamışlardır. Farklı kesme hızları ve ilerleme hızları kombinasyonları ile yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım aşınması talaş formasyonunu incelemişlerdir. Çalışmalarında TiCN/Al₂O₃ kaplanmış sementit karbür kesici uçlar kullanmışlardır. Düşük ilerleme oranları ve yüksek kesme hızlarında YBJS sistemi ile esas kesme kuvvetinde azalmalar elde etmişlerdir. Daha düşük devirler ve ilerleme oranlarında YBJS sistemi ile kesme sıcaklığında düşüşler gözlemlemişlerdir. Çift yönlü YBJS sistemi ile takım ömrünün, kuru kesmeye göre %55-60 oranında iyileşme olduğunu belirtmişlerdir [18].

Ayed vd, Ti17 alaşımlarının tornalanmasında kesme hızlarının ve YBJS sisteminin, takım aşınmasına ve kesme kuvvetlerine etkisini incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında kesme hızı değerlerini 50m/dak ve 100 m/dak, soğutma sıvısı basıncını 50 bar ile 250 bar aralığında seçmişlerdir. Optimum basınç değerini belirleyerek takım ömründe yaklaşık olarak 9 kat daha artış elde etmişlerdir. Geleneksel soğutma ile jet soğutmayı karşılaştırdıklarında ise yaklaşık %30 verimlilik bulmuşlardır [19].

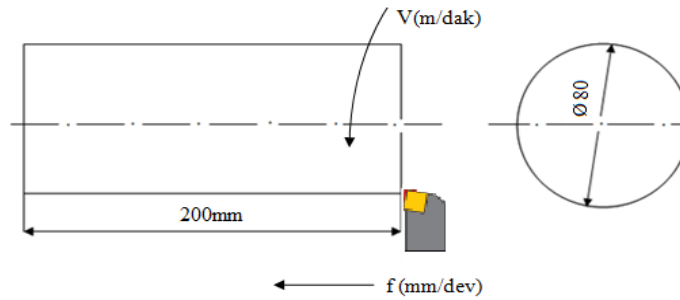
Bu makalede, yüksek basınçlı soğutmanın yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek için, deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İş parçası malzemesi olarak Ti6Al4V-ELI alaşımı silindirik tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Kesme parametreleri olarak 3 farklı yüksek kesme hızı (80-100-120 mm/dak), ilerleme hızları olarak 4 ayrı ilerleme hızı (0.2-0.25-0.3 ve 0.4 mm/dev) seçilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin mukayese edilebilmesi için yüksek basınçlı soğutmayla yapılan deneyler düşük basınçlı soğutmayla da tekrarlanmıştır. Hızların değişimine ve soğutma tipine göre yüzey pürüzlülük değerleri değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde deneylerde kullanılan iş parçası malzemesi, kesici takım, soğutma sıvısı, yüksek basınçlı jet soğutma sisteminin yapısı, yüzey pürüzlülük ölçümü, kullanılan metot ve bulgular hakkında bilgi verilmektedir.

2.1. İş parçası Malzemesi

Bu çalışmada, Ø 80 mm ve 200 mm boyutlarında Ti-6Al-4V ELI alaşımlı malzeme deney numunesi olarak kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. İş parçası malzemesi boyutları

Titanyum (Ti-6Al-4V ELI) , Ti-6Al-4V'nin daha yüksek saflık oranına sahip şeklidir. Yüksek mukavemet, hafiflik, yüksek korozyon direnci ve yüksek dayanım özelliklerinin bir arada gerektiği her yerde kullanılır. Diğer alaşımlara göre çok yüksek bir hasar toleransına sahiptir. Bütün bu özellikleri Ti-6Al-4V ELI'yi medikal ve dental sektöründe en çok aranan alaşım yapmıştır. Ti-ELI, Ti-Grade 5'in bir varyantıdır ve iyi biyouyumluluk, mükemmel kırılma tokluğu ve çatlama yayılım özellikleri nedeniyle medikal uygulamalarda kullanılır. -253 ° C'ye kadar düşük sıcaklıklarda bile tokluğunu korur. Bu özelliklerin yanı sıra düşük elastik modülü ve iyi yorulma mukavemeti, oksijen ve demir gibi alaşımların nispeten düşük içeriği nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Malzemeye ait kimyasal bileşim, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1, 2 ve 3' te verilmiştir.

Tablo 1. Titanyum (Ti-6Al-4V Eli) Kimyasal Bileşim Özellikleri

Alüminyum (Al)	Vanadyum (V)	Karbon (C)	Demir (Fe)	Azot (N)	Oksijen (O)	Hidrojen (H)	Titanyum (Ti)
5.5-6.5	3.5-4.5	0.08	0.25	0.05	0.13	0.0125	Diğer

Tablo 2. Titanyum (Ti-6Al-4V Eli) Fiziksel Özellikleri

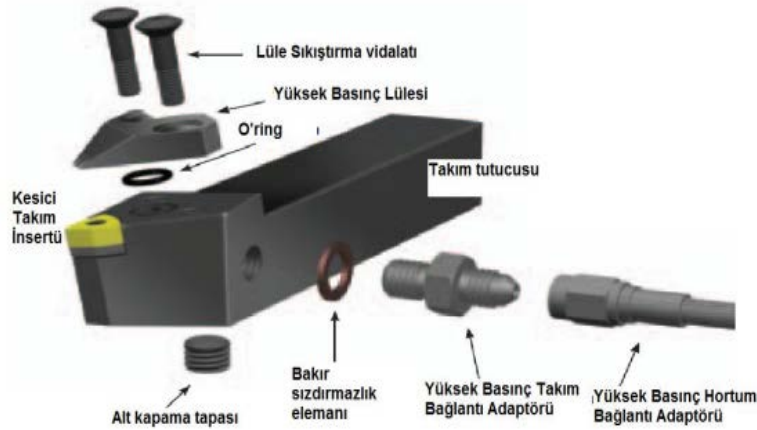
Özkütle (g/cm ³)	Erime noktası (C)	Elektrik öz direnci (10 ⁻⁶ ohm cm)	Isıl iletkenlik (W/m ^o C)	Özgül ısı (J/Kg ^o C)	Kaynak kabiliyeti
4.43	1650	165	7.3	565	Çok iyi

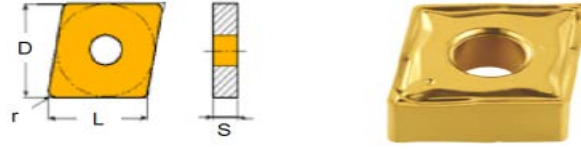
Tablo 3.Titanyum (Ti-6Al-4V Eli) Mekanik Özellikleri

Çekme direnci (ksi)	Akma direnci (ksi)	Akma direnci (ksi)	Sertlik (HRC)
130	120	10	32

2. 2 Kesici Takım

Tornalama testlerinde kullanılmak üzere yüksek basınçlı jet soğutma sistemleri için geliştirilen özel tasarım “SECO Jet Stream” takım tercih edilmiştir. Jet Stream 26 sistemindeki takımlarının tercih edilme sebebi ise 350 bardaki maksimum çalışma basıncına cevap verebilecek özellikte olmasıdır. Jet Stream takım tutucu sisteminin yapısı şekil 2 ve 3’de verilmiştir.

**Şekil 2.** Deneylerde kullanılan Jet Stream takım tutucu



Şekil 3. Deneylerde kullanılan kesici uç

Kesici takım tutucusuna yüksek basınç pompasından gelen kauçuk bağlantı hortumunun takılması ile tutucu üzerinde bulunan lüle çaplarına göre farklı debilerde yüksek basınç oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan Kesici takım tutucusu tipi SECO PCLNL2525M12JET kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda ISO Kodu CNMG120408 takım uç çapı 0.8 mm CP250 PVD Kaplamalı (Ti, Al) N + TiN) insertler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici uçun geometrik boyutları tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Deneylerde Kullanılan Kesici Uç’a Ait Geometrik Boyutlar

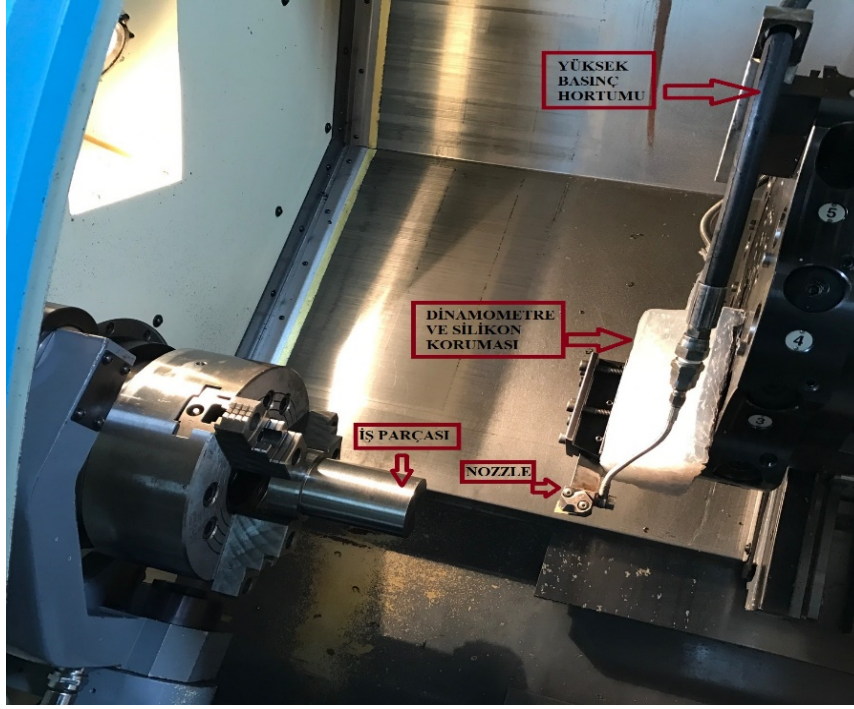
Gösterim (ISO)	SINIF	D	L	S	r
CNMG12042 08 – MR4	CP250	12.7	12.9	4.776	0.8

Bütün deneyler 50 – 4000 iş mili devir aralığı ve 15 kW motor gücüne sahip CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Yüksek basınçlı jet soğutma sistemi torna tezgahına yüksek basınca dayanıklı bağlantı ekipmanları ile entegre edilmiştir. Soğutma sisteminde bir adet maksimum 300 bar sıkıştırma basıncında ve 21 l/dak akış debisinde yüksek basınç pompası bulunmaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. Yüksek Basınç Lülesinin Özellikleri

Nozul Sayısı	Nozul Çapı	Max. Ulaşılabilen Basınç	Max. Ulaşılabilen Soğutma Suyu Debisi
1	1,6 mm	300 bar	21 lt/dak

YBJS nin deneyleri için 300 lt lik Soğutma sıvısı tankına 5% bor yağı konsantrasyonu ile karışımı sağlanmıştır. İşleme merkezine entegrasyonu yapılan yüksek basınçlı jet soğutma sistemine dair ekipman ve düzenekler Şekil 4’te verilmiştir. Şekilde yüksek basınç pompasından gelen soğutma sıvısının hidrolik basınca dayanıklı hortum vasıtasıyla takım tutucuya yapılan bağlantısı görülmektedir.



Şekil 4. YBJS sisteminin CNC Torna Tezgâhına montajı

2.3. Yüksek Basınç Jet Soğutma (YBJS) Sisteminin Yapısı

Şekil 5 de tez çalışmasında kullanılan modüler yapıda tasarlanmış yüksek basınç soğutma sistemi soğutma suyu tankı, 300 litere kapasiteli ve 150 cm yükseklikte 75 cm çapında plastik tanka sahiptir. Filtreler, 2 adet alçak basınç pompası çelik filtre, 20 µm giriş filtresi, 1 adet alçak basınç pompası çelik filtre 20 µm çıkış filtresi, 1 adet yüksek basınç pompası çelik filtre ve 10 µm giriş pompası özelliklerindedir. Alçak basınç pompası, en yüksek 5 bar basınçlı, çelik paslanmaz gövdeli, 220 V elektrik bağlantılı soğutma suyu geri dönüş pompası ve alçak basınç pompası, en yüksek 350 bar basınçlı, en yüksek 21 Lt/dak debili pistonlu çelik gövdeli 15 HP 380 V 3 faz elektrik bağlantı kumandalı özelliğine sahiptir. Yüksek basınç hortumu, en yüksek 500 bar'a dayanabilen 16mm çaplı kauçuk esnek yüksek basınç hortumlu teknik özelliklerindedir.



Şekil 5. Yüksek Basınçlı Jet Soğutma sisteminin yapısı

2.4 YBJS de Kullanılan Soğutma Sıvısı

Çalışmada kullanılmak üzere özel bitkisel içerikli yarı sentetik çevreye zararsız bir kesme sıvısı tercih edilmiştir. Tercih edilen Kesme sıvısı Blaser Swisslube firmasına ait B-Cool 655 tipi kesme sıvısıdır. YBJS nin test denemeleri için 300 Lt lik soğutma suyu tankı %5 soğutma sıvısı konsantrasyonu kullanılmıştır.

2.5. Deney tasarımı ve kesme parametrelerinin belirlenmesi

Bu çalışmada yüksek basınçlı soğutmanın yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amaçlanmıştır. Bununla birlikte kesme parametreleri olarak da literatürden farklı olması için yüksek hızlar seçilmiştir. Çalışmada kullanılan kesici uç için katalogta önerilen kesme hızı aralığı 25-35 m/dak, ilerleme hızı 0.18-0.4 mm/dev ve kesme derinliği 0,5-4 mm aralıklarındadır. Yüksek hızda kesme yapmak amaçlandığı için tezgah dinamiğine bakılarak ön deneyler gerçekleştirilmiş ve kesme hızları 80, 100, 120 m/dak olarak belirlenmiştir. İlerleme hızlarının seçimi ise tornalama deneyi takım ömrü standardı göz önünde bulundurularak 0.2-0.25-0.3-0.4 mm/dev olarak seçilmiştir. Kesme derinliği ise 2 mm olarak

sabit alınmıştır. Soğutma sıvısı basıncı 6 ve 120 bar olarak belirlenmiştir. Deneilerin yapılış sırasına göre belirlenmiş kesme parametreleri tablo 6'da verilmiştir. 2 mm sabit kesme derinliğinde, üç farklı kesme hızlarında ve dört farklı ilerleme hızlarında her bir kesme sıvısı basıncı için 12 adet deney olmak üzere toplam 24 adet deney yapılmıştır.

Tablo 6 Deneilerde kullanılan kesme parametreleri

No	Vc(m/dak)	f (mm/dev)	P (bar)
1	120	0.2	6
2	120	0.25	6
3	120	0.3	6
4	120	0.4	6
5	100	0.2	6
6	100	0.25	6
7	100	0.3	6
8	100	0.4	6
9	80	0.2	6
10	80	0.25	6
11	80	0.3	6
12	80	0.4	6
13	120	0.2	200
14	120	0.25	200
15	120	0.3	200
16	120	0.4	200
17	100	0.2	200
18	100	0.25	200
19	100	0.3	200
20	100	0.4	200
21	80	0.2	200
22	80	0.25	200
23	80	0.3	200
24	80	0.4	200

2.6. Yüzey Pürüzlülük Cihazı

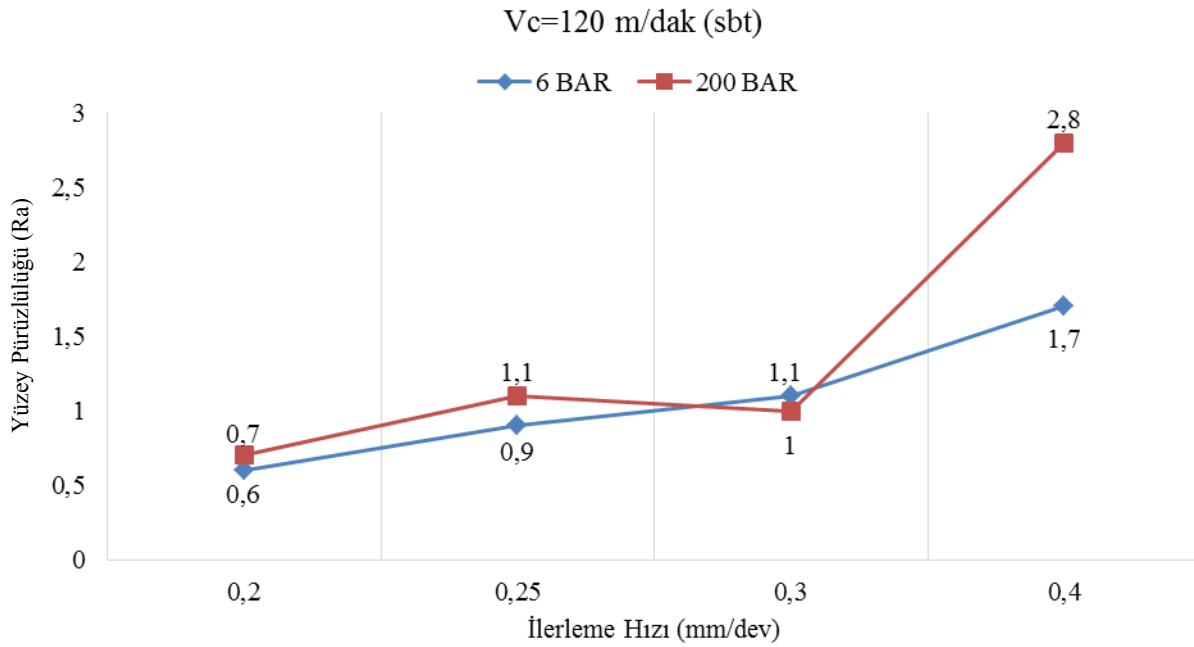
Deneilerde farklı kesme parametrelerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde 0.01 μm hassasiyette ölçüm yapabilen, elmas uçlu Hommel Werke firmasının T 500 yüzey pürüzlülük test cihazı kullanılmıştır. Pürüzlülük değeri için ayarlanan ölçü parametreleri tablo 7 de verilmiştir. Kesme işlemi tamamlandıktan sonra işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri silindirik iş parçası üzerinden üç ayrı bölgeden yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması alınarak, nihai yüzey pürüzlülüğü değeri elde edilmiştir.

Tablo 7. Ölçüm ayarları parametreleri

Örnekleme uzunluğu (L)	Ölçme uzunluğu (Lm)	Toplam uzunluk (Lt)
0,8 mm	5 x Lc = 5 x 0,8= 4 mm	4,8 mm

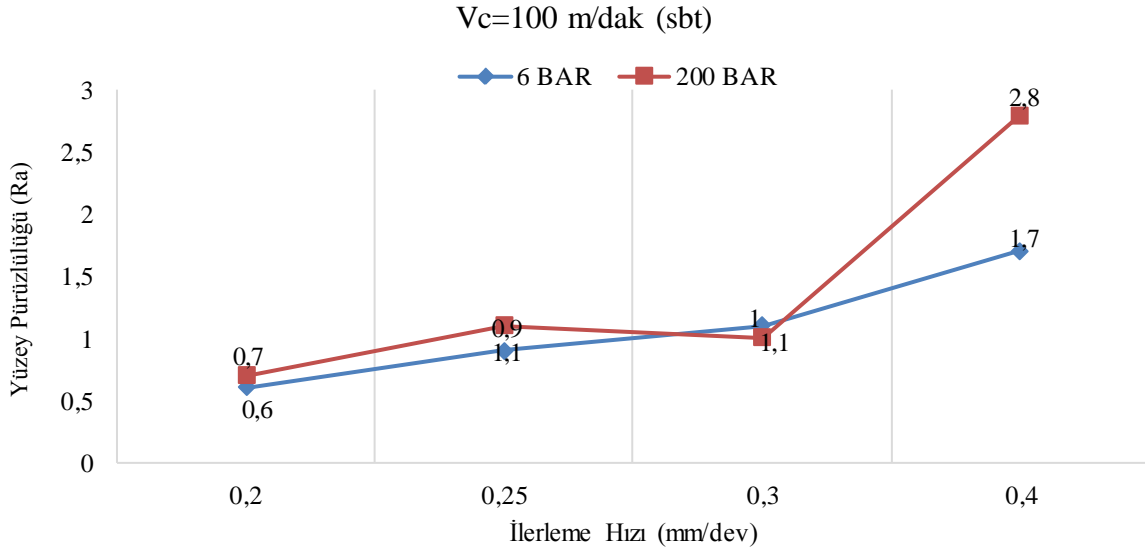
3. Bulgular

Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, her bir kesici takım ile talaş kaldırma işlemi sonucunda elde edilen işlenmiş yüzey üzerinde üç farklı bölgede yapılmış ve aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Yüksek Basınçlı Jet Soğutma şartlarında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin, kesme hızı ve ilerleme miktarı bağlı olarak değişimleri Şekillerde grafik halinde verilmiştir. Şekil 6'da 120 m/dak sabit kesme hızında, iki farklı soğutma basıncı ve dört ayrı ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi görülmektedir.



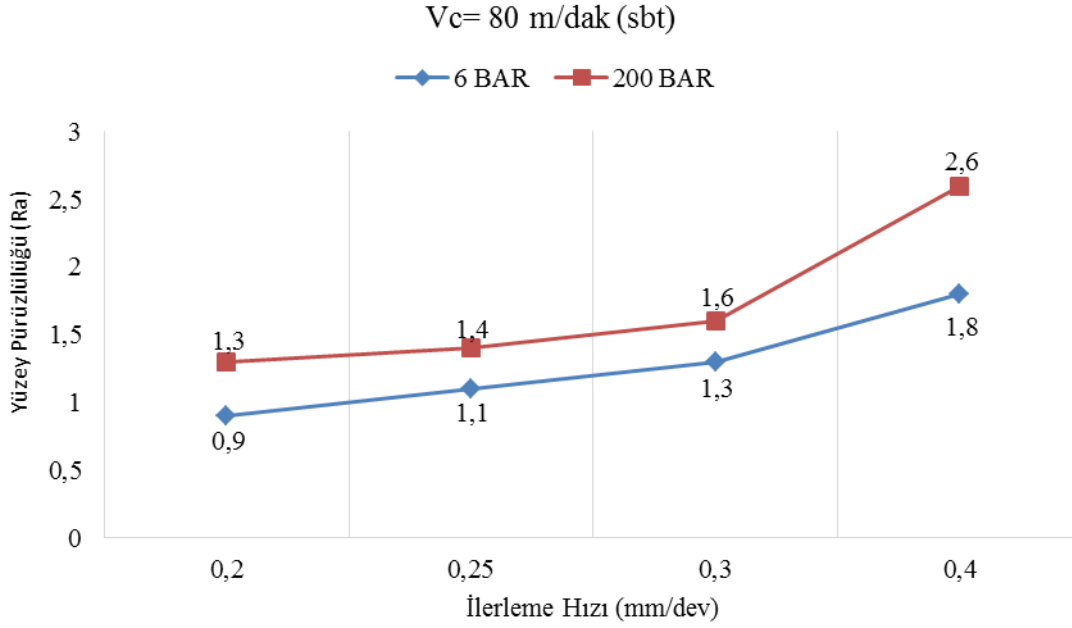
Şekil 6. 120 m/dak sabit kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişimi

Yüzey pürüzlülük değerleri elmas uçlu profilometre ile ölçülmüştür. Grafikten de görüldüğü üzere sabit kesme hızında, ilerleme hızlarının artışıyla yüzey pürüzlülük değerlerinde bozulmalar meydana gelmiştir. Basınçlı soğutmanın yüzey pürüzlülüğüne olumlu yönde bir etkisi olmamıştır. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 bar basınç altında ve ilerlemenin 0,2 mm/dev. olduğu kesme işleminden Ra=0,6µm olarak elde edilmiştir. 6 bar ve 200 bar basınçta yapılan çalışmalarda yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, ilk üç ilerleme hızlarında birbirlerine yakın değerler elde edilirken 0,4 mm/dev. İlerleme hızı ile yapılan deneyde bariz fark elde edilmiştir. Yüksek basınçlı soğutma, yüzey pürüzlülüğüne sözü edilen ilerleme hızında olumsuz yönde etki etmiştir. Şekil 7'de 100 m/dak sabit kesme hızı kullanılarak yapılan deneylerde ilerleme hızı yüzey pürüzlülüğü ilişkisi görülmektedir.



Şekil 7. 100 m/dak yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişimi

100 m/dak sabit kesme hızı, farklı ilerleme hızları (0.2-0.25-0.3-0.4 mm/dev) ve farklı soğutma suyu basıncı (6 bar – 200 bar) uygulanarak yapılan çalışmalarda ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerleri de orantılı olarak artış göstermiştir. Şekil 6’da 120 m/dak sabit hızla yapılan deneyde 0.4 mm/dev kesme hızında soğutma sıvısı basıncından dolayı yüzey pürüzlülük değerinde gözlemlenen fark, bu grafikte 0.3 mm/dev ve 0.4 mm/dev ilerleme hızlarında gözlemlenmiştir. Diğer iki ilerleme hızlarında (0.2 ve 0.25 mm/dev) elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ise basınç farkından etkilenmemiş ve aynı değerler çıkmıştır. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 bar ve 200 bar basınç altında ve ilerlemenin 0.2 ve 0.25 mm/dev. olduğu kesme işlemlerinde ortalama 1.1µm olarak elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise 200 bar basınçta 0.4 mm/dev. İlerleme hızında 2.5 µm olarak elde edilmiştir. Bu değer 120 m/dak. sabit kesme hızı ile aynı ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyden elde edilen pürüzlülük değerine (2.8 µm) yakın bir değerdir. Şekil 8’de 80 m/dak sabit kesme hızı kullanılarak yapılan deneylerde ilerleme hızı yüzey pürüzlülüğü ve soğutma sıvısı basınç farkı ilişkisini gösteren grafik görülmektedir.



Şekil 8. 80 m/dak yüzey pürüzlülüğünün ilerleme hızına ve basınca göre değişimi

Şekil 8’de elde edilen grafikte diğer grafiklerde de görüldüğü üzere ilerleme hızının artmasıyla orantılı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde de artış eğilimi devam etmiştir. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 bar basınç altında ve ilerlemenin 0.2 mm/dev. olduğu kesme işleminde 0.9 μ m olarak elde edilmiştir. Soğutma sıvısının 200 bar basıncı altında 0.4 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülük değeri 2.6 μ m olarak ölçülmüştür.

4. Tartışma ve Sonuç

Literatür incelendiğinde Ti6Al4V alaşımı ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Çalışmalar içerisinde bu alaşım ısı iletkenliği ve genleşmesinden dolayı işlenebilirliğinin güç olduğu, kesme esnasında oluşan sıcaklığın en aza indirilemediği için de takım aşınmasının fazla olduğu, sık sık takım değiştirmek zorunda kalındığı, bu olayın da işleme zamanını ve maliyetini artırdığı edinilen bilgiler arasındadır. Kesme bölgesindeki ısı oluşumunu azaltmak, takım aşınmasını en aza indirmek, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek, maliyeti ve işleme zamanını azaltmak için bu malzemelerin talaşlı imalatında soğutma sistemi olarak, kesme bölgesini soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Bu soğutma sistemleri takım aşınması, takım ömrü, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü gibi deney verilerine olumlu yönde iyileşmeler yapmaktadır. Ancak yüksek basınçlı jet soğutma ile ilgili çalışmalarda Ti6Al4V alaşımları ile ilgili çalışmalar Ti6Al4V-ELI (Extra Low Interstitial) alaşımına göre daha fazla sayıdadır.

Literatürde Ti6Al4V-Eli alaşımlı malzemeyle yapılan çalışmaların Ti6Al4V alaşımlı malzemeye göre daha az olması sebebiyle bu malzemeyle çalışma yapmak tercih edilmiştir. Ayrıca yüksek basınçlı soğutmanın, yüksek kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmada en iyi yüzey pürüzlülük değeri 6 bar basınçta, 120 m/dak kesme hızı ve 0.2 mm/dev ilerleme hızı kullanılarak yapılan deneyde elde edilmiştir. Her iki basınçta yapılan

deneylerde 0.3 mm/dev ilerleme hızına kadar elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, kendi aralarında birbirlerine yakın değerler iken, 0.3 mm/dev ilerleme hızından sonra özellikle 0.4 mm/dev ilerleme hızında yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinde bariz bir kötüleşme görülmüştür. Bu olay yüksek basınçla yapılan çalışmada daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Ancak 0.4 mm/dev. sabit ilerleme hızı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde her iki basınçta da kesme hızlarının değişmesiyle yüzey pürüzlülüklerinde bir değişme gözlenmemiş, 6 bar basınçta 0.4 mm/dev ile 80,100 ve 120 m/dak kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerleri ortalama 1.7 µm, 200 bar basınçta aynı ilerleme ve kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değeri ortalama 2.6 µm olarak elde edilmiştir.

DeneySEL çalışmalardan elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri, genel olarak incelendiğinde, hem 6 bar hem de 200 bar basınçla yapılan deneylerde sabit kesme hızlarında ilerleme hızı arttıkça artış göstermiştir. Yüksek basınçlı soğutmayla yapılan deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri 6 bar basınçla yapılan deneylere göre daha fazla çıkmıştır.

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden kesme parametrelerinin başında ilerleme hızı gelmektedir. Literatürde çalışılan malzemeye bakılmaksızın YBJS sistemi ile yapılan ve yüzey pürüzlülüğünün incelendiği çalışmalarda seçilen ilerleme hızları 0.10-0.14-0.18-0.22 mm/dev. [17], 0.12-0.14-0.16 mm/dev. [18] aralığındadır. Kuru ortamda ve yüksek basınçla yapılan deneylerin yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırılmasında 0.18 mm/dev ilerleme hızı ve 193 m/dak kesme hızı değerleri ile elde edilen veriler seçilmiştir [17]. Bu değerlere göre yüksek basınçlı soğutma ile yapılan deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.5 µm, kuru ortamda yapılan deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 2.2 µm dir. Yapılan çalışmada kuru kesme ile basınçlı kesmeden elde edilen pürüzlülük değerleri arasındaki fark yaklaşık olarak % 45 oranındadır [17]. Çift yönlü yüksek basınçla yapılan çalışmada, yüzey pürüzlülük değerlerinin mukayesesinde, 0.12-0.14-0.16 mm/dev ilerleme hızları ve 78-112-156 m/dak kesme hızları ile yapılan deney verileri kullanılmıştır. 0.12 mm/dev ilerleme hızı, 156 m/dak kesme hızı kullanılarak gerçekleştirilen yüksek basınçlı soğutma ile yapılan deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1.12 µm dir. Aynı kesme parametreleri ile kuru ortamda yapılan deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise 1.23 µm olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada ise yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark yaklaşık % 10 oranındadır [18]. Her iki çalışmada da nozul çapı 0.5 mm ve soğutucu basınç değeri 80 bar olarak kullanılmıştır. Genel olarak yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında kesme hızının yüksek ve ilerleme hızının düşük olarak seçildiği çalışmalarda en iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada takım ömrü standardı göz önünde bulundurularak ilerleme hızları 0.2-0.25-0.3-0.4 mm/dev olarak seçilmiştir. Bu değerlerin en küçüğü literatürde kullanılan en büyük ilerleme değerine karşılık gelmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan yüksek basınç ünitesinde kullanılan nozul çapı 1.6 mm ve çalışma basıncı 200 bar dır. Sabit kesme hızlarında (100-120 m/dak), 0.20 ve 0.25 mm/dev. ilerleme hızları ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri 6 bar ve 200 bar basınçla karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakın değerler elde edilmiştir. 100 m/dak kesme hızında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 bar için 1 µm, 200 bar için 1.1 µm dir. 120 m/dak kesme hızında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 6 bar için 0.6 µm, 200 bar için 0.7 µm dir. Düşük ve yüksek basınç kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülük değeri arasındaki fark 100 m/dak kesme hızı için % 10 oranında, 120 m/dak kesme hızı için % 16 oranındadır. Literatürdeki oranlar yüksek basınçlı soğutma için pozitif iken yapılan çalışmada negatif yöndedir. Ancak elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük

değerleri, literatürdeki değerlere göre, kullanılan kesme hızları ve ilerleme hızları da göz önünde bulundurularak çok daha iyi değerlerdir.

Sonuç olarak Ti6Al4V-ELI malzemenin yüzey pürüzlülüğü üzerine yüksek basınçta soğutmanın olumlu yönde bir etkisi görülmemiştir. Kuru soğutmayla birlikte 80 ile 200 bar basınç aralığında basınçlar seçilerek, 0.10-0.25 mm/dev ilerleme hızları aralığında hızlar belirlenerek, nozul çapının da etkisini görmek amacıyla hem 1.6 mm hem de 0.5 mm nozullar kullanılarak sabit kesme derinliği ve ilerleme hızında deney tekrarı yapıp sonuçlar yeniden değerlendirilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir. SDÜ BAP Birimine teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Chunxiang, C., BaoMin, H., Lichen, Z., Shuangjin, L., “Titanium alloy production technology, market prospects and industry development”, *Materials and Design*, 32: 1684–1691, (2011).
- [2] Simith, F.W., “Structure and Properties of Engineering alloys 2nd ed”, Çeviri Editörü, Erdoğan, M., Mc Graw Hill, New York, 446-486, (2001).
- [3] E. Ezugwu, O., Wang Z.M., “Titanium alloys and their machinability-a review”, *Journal of Materials Processing Technology*, 68 : 262-274, (1997).
- [4] Kurt, Bülent., “ Ti – 6Al – 4V Alaşımı İle Farklı Tip Paslanmaz Çeliklerin Difüzyon Kaynağı”, Fırat Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (2005).
- [5] Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., “Titanium alloys and Their Machinability – a review”, *Journal of materials processing technology*, 68 : 262 – 274 (1997).
- [6] Titanyum 6al-4v-Eli <http://www.implament.com/detay/titanyum-6al-4v-eli/111/> (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [7] Metal İşleme Ürünleri Tornalama Takımları Katoloğu, Sandvik Coromant, İstanbul, 1-8 (2002).
- [8] Korkut, İ., Dönertaş, M.A., Şeker, U., “Üç boyutlu dinamometre tasarımı ve imalatı”, *ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji dergisi*, 1(2): 115-129 (1999).
- [9] Altıntaş, Y., “Manufacturing Automation”, Cambridge University Press, 18-32 (2000).
- [10] Özçatalbaş, Y., 2000. “Mühendislik Malzemelerin İşlenebilirliği Ders Notları”, *Gazi Üniversitesi TEF Makine Eğitimi Bölümü*, Ankara, 1-15.

- [11] Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., 1997, Titanium alloys and their machinability a review, *Journal of Materials Processing Technology* 68, 262-274
- [12] Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 6-25 (2002).
- [13] Bayrak, M., “Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 1-35 (2002).
- [14] Courbona, C., Sajnb, V., Kramar, D., Recha, J., Kosel, F., Kopac, J., 2010, “A Numerical Model To Analyze High Pressure Jet Assistance In Turning”, *Proceedings of the 1th International Conference of Sustainable Life in Manufacturing*, 70-76 Isparta, TURKEY
- [15] Yünlü, L., Çolak, O., Kurbanoğlu, C., 2013, “Chip Formation Analysis of High Pressure Jet Assisted Machining of Ti-6Al-4V”, *Proceeding of the 4th International Conference on Sustainable Life in Manufacturing, SLIM2013*, Fiesca, SI.
- [16] Kramar, D., Kopac, J., 2009, “High Pressure Cooling in the Machining of Hard-to-Machine Materials”, *Journal of Mechanical Engineering* 5511, 685-694.
- [17] Kamruzzaman, M., Dhar, N. R., 2009, “The Influence of High Pressure Coolant on Temperature Tool Wear and Surface Finish in Turning 17CrNiMo6 and 42CrMo4 Steels”, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences* 4,6, 93-103.
- [18] Mia, M., Dhar, N. R., 2018, “Effects of Duplex Jets High-Pressure Coolant on Machining Temperature and Machinability of Ti-6Al-4V Superalloy”, *Journal of Materials Processing Technology* 252, 688-696.
- [19] Ayed, Y., Germain, G., Ammar, A., Furet, B., 2015, “Tool Wear Analysis and Improvement of Cutting Conditions using The High-Pressure Water-Jet Assistance when Machining The Ti17 Titanium Alloy”, *Precision Engineering* 42, 294-301.