



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Yeni sıcak ultrasonik yardımcı imalat ünitesi tasarımı ve ekonomik analizi

Design and economic analysis of a novel hot ultrasonic machining system

Yazar(lar) (Author(s)): M. Alper SOFUOĞLU¹, Selim GÜRGEN², Fatih H. ÇAKIR³, Sezan ORAK⁴, Melih C. KUŞHAN⁵

ORCID¹: 0000-0003-4681-6390

ORCID²: 0000-0002-3096-0366

ORCID³: 0000-0002-0873-5920

ORCID⁴: 0000-0003-3811-6415

ORCID⁵: 0000-0002-9427-6192

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Sofuoğlu M.A., Gürgen S., Çakır F.H., Orak S. ve Kuşhan M.C., “Yeni sıcak ultrasonik yardımcı imalat ünitesi tasarımı ve ekonomik analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(2): 277-282, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.523697

Yeni Sıcak Ultrasonik Yardımlı İmalat Ünitesi Tasarımı ve Ekonomik Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

**M. Alper SOFUOĞLU¹, Selim GÜRGEN^{2*}, Fatih H. ÇAKIR², Sezan ORAK¹,
Melih C. KUŞHAN¹**

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 26480, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Meslek Yüksekokulu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 26110, Eskişehir, Türkiye

(Geliş/Received : 14.01.2018 ; Kabul/Accepted : 07.05.2018)

ÖZ

Ultrasonik yardımcı işleme, takıma veya iş parçasına belirli bir titreşim uygulanarak iş parçasının işlenmesi süreci olup son işlem uygulamalarında yüzey özelliklerinin iyileşmesi, kesme kuvvetlerinin azalması ve takım ömrünü artırılması amacıyla uygulanır. Sıcak işleme ise talaş kaldırması zor olan malzemelerin termal yumuşamasını sağlayarak kesme işleminin kolaylaştırılmasını amaçlayan bir işlemdir. Bu işlem sayesinde kesme kuvvetlerinde azalma ve takım ömründe artış görülmektedir. İşlenebilirliği zor malzemeler için son yıllarda ortaya çıkan en önemli melez yöntemlerden biri ise sıcak titreşim yardımcı talaşlı işlemdir. Bu işlem ultrasonik yardımcı işleme ile sıcak işlemeyi birleştiren yeni bir melez imalat yöntemidir. Bu çalışma kapsamında ülkemizde yaygın olmayan bu üretim tekniği için yeni bir imalat ünitesi tasarımı yapılmıştır. Bu yeni üretim yöntemi ile özellikle savunma ve havacılık sektöründe işlenebilirliği düşük olan süperalaşım, paslanmaz çelik gibi malzemeler hem yüzey kalitesi artırılarak imal edilebilecek hem de takım maliyeti gibi masraflar azaltılacaktır. Yöntemin hayata geçmesiyle de savunma ve havacılık gibi kritik bir alanlarda ileri teknoloji edinilerek milli bir birikim sağlanmış olacaktır. Tasarlanan imalat ünitesi universal torna tezgahlarına ilave bir modül olarak eklenebilmekte ve ileride CNC tezgahlar için de yaygınlaştırılabilme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik yardımcı işleme, sıcak işleme, melez yöntemler, ultrasonik sistem tasarımı.

Design and Economic Analysis of a Novel Hot Ultrasonic Machining System

ABSTRACT

Ultrasonic assisted machining uses vibrational cutting generally for finishing operations to improve surface properties of the workpiece, reduce cutting force and enhance tool life. On the other side, hot machining takes advantage of thermal softening of difficult-to-cut materials during operations. This process reduces cutting forces and increases tool life. As a hybrid manufacturing method, hot ultrasonic machining is a high-rank important process emerging in the last years. This method brings vibrational cutting and hot machining together to be benefited from both techniques. Within the scope of this study, a new manufacturing system was designed for this production technique which is not common in Turkey. With this new production method, materials such as superalloys and stainless steels, which are particularly hard to machine materials in the defense and aerospace sectors, can be manufactured both by increasing the surface quality and by reducing costs such as tooling costs. With the realization of the method, advanced technology will be gained in critical areas such as defense and aviation. The designed manufacturing system is able to integrated into universal turning lathes and has a potential to be adapted to CNC machines in the near future.

Keywords: Ultrasonic assisted machining, hot machining, hybrid methods, ultrasonic system design.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Modern ürün tasarımları ve imalat teknolojileri her geçen gün değişmektedir. Bu kapsamda imalatta kullanılan yenilikçi yaklaşımlar ile imalat süreçlerinin iyileştirilmesinde uygulanan pek çok yöntem mevcuttur. Geliştirilen yöntemlerden bazıları (3d printing vb.) geleneksel imalat yöntemlerine göre farklı prensiplerle çalışmakta, bazıları ise geleneksel işlem şekillerinde yapılacak modifikasyonlar ile gerçekleştirilmektedir.

Ultrasonik esaslı titreşimlerin talaşlı imalatta kullanımıyla ilgili ilk uygulamalar 1950'lerin sonlarında

başlamıştır [1]. Bu çalışmalarda bir boyutlu osilasyon hareketinden faydalanılmıştır. İki boyutlu titreşim uygulamaları ise özellikle seramik ve camların imalatında 1990'lı yıllarda geliştirilmiştir [1]. Yapılan çalışmalara göre iki boyutlu titreşim uygulamaları bir boyutlu titreşimin sağladığı faydaların ötesinde faydalar sunmuştur. Özellikle optik uygulamalarda, kompleks şekillerin üretilmesinde bu uygulamalar kullanılmıştır [2-4]. İki boyutlu titreşim ile ilgili çalışmalar mikro işlemede ve cam ve seramikler gibi aşırı gevrek malzemelere odaklanırken bir boyutlu titreşim ile ilgili çalışmalar ise işlemesi zor olarak tanımlanan havacılık malzemeleri üzerine yoğunlaşmıştır [5-10].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : sgurgen@ogu.edu.tr

Sıcak işleme ise talaş kaldırması zor olan malzemelerin termal yumuşamasını sağlayarak kesme işleminin kolaylaştırılmasını amaçlayan bir işlemdir. Süperalaşım, titanyum alaşımlar ve seramikler gibi kesimi zor malzemeler için sıcak işleme tercih edilmektedir. Yüksek mekanik özelliklere ve düşük termal iletkenliğe sahip olan bu malzemeler kesme işlemi sırasında aşırı yükselen kesme kuvvetlerine ve kesme sıcaklıklarına sebep olmaktadır. Bu koşullar takım ömrünü bariz bir şekilde azaltmaktadır. Melez imalat yöntemleri birçok işlem için sıklıkla tercih edilen ve kullanılan her bir yöntemin avantajlarından yararlanan tekniklerdir. İşlenebilirliği zor malzemeler için son yıllarda ortaya çıkan en önemli melez yöntemlerden biri ise sıcak titreşim destekli kesme işlemidir. Bu yöntem titreşimli kesme ve sıcak kesme işlemlerinin sağladığı avantajları bir araya getirmektedir. Sıcak titreşim destekli talaşlı işlemede, ısıtma sistemleri ile istenen sıcaklığa getirilen iş parçası kesici takıma veya parçaya titreşim uygulanarak işlenmektedir.

Bu çalışmada dünyada yeni yaygınlaşmaya başlayan ve ülkemizde henüz yaygınlaşmamış bu üretim yöntemi için tezgahlara yeni bir imalat ünitesi tasarımı planlanmıştır. Tasarlanan bu ünite tornalama işlemi için uygulanabilir konumdadır. Tasarlanan modül ve yöntem ile talaşlı imalat alanındaki son işlem uygulamalarında operatörlere ve mühendislere kolaylık sağlayacaktır. Kullanılan ünite günümüzde yaygınlaşan mikroişleme uygulamalarında kolaylıkla kullanılabilir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

2.1. Kesme kuvvetine etkisi (Effects on cutting force)

İki boyutlu titreşim üreten sistemlerde dairesel ya da eliptik yörünge izleyecek şekilde tasarlanmaktadır. Shamoto ve Moriwaki bu şekilde bir sistem tasarlamışlardır [11]. Bu sistemde iki piezoelektrik seramiğe kontrol sistemi ile akım gönderilerek eliptik yörünge elde edilmiştir. Busan üniversitesinde tasarlanan sistem [12] ise oto rezonant değildir. Buradaki eliptik hareket artı şeklindeki yuvadan mekanik olarak sağlanmaktadır.

Titreşim ile kesme üzerine yapılan çalışmalara göre benzer şartlarda kesme kuvvetleri geleneksel işleme göre önemli ölçüde azalmaktadır [13-16]. Havacılık malzemeleri gibi pekçok farklı grup malzeme için benzer şekilde bildirilmiştir. Bu etkinin titreşimin iki eksenli olduğu durumun tek eksenli olduğu duruma kıyasla arttığı da rapor edilmiştir.

Bir boyutlu titreşim için kesme işlemi sırasında ölçülen değerler, geleneksel tornalama ile elde edilen kararlı kesme kuvveti hemen hemen aynı olduğu ancak boşta bulunduğu zaman kesme kuvvetinin sıfırlanması nedeniyle ortalama kuvvetin önemli ölçüde azaldığı şeklindedir. Bahsedilen bu değişimler oldukça küçük aralıklarda gerçekleştiği için deneysel olarak tayini çok kolay değildir. İki boyutlu titreşimde ise hem maksimum kuvvet değerleri hem de ortalama kesme kuvvetleri geleneksel tornalamaya göre daha düşüktür. Bu durumda

üretilen talaş şeklinin farklı mekanizmalar ile değiştirilmesi ile ifade edilmektedir. Bu bağlamda eliptik yörünge şeklinin kuvvet değişiminde etkili olmaktadır. Ultrasonik uygulamaları ile yapılan çalışmalar genellikle kuru koşullarda yapılmıştır, soğutma sıvıları kullanıldığı takdirde yağlamanın etkisi ile de kesme kuvvetlerinin bir miktar da azalacağı düşünülmektedir.

2.2. Takım ömrüne etkisi (Effects on tool life)

Titreşim ile işleminin takım ömrünü geleneksel işlemeye göre artırdığı pek çok çalışmada raporlanmıştır. Bu kapsamda elmas uçlar ile demir alaşımlarının işlenmesinde, demir dışı alaşımların işlenmesinde ve gevrek malzemelerin işlenmesinde raporlanmıştır. Bu çalışmalar elmas, CBN, WC gibi farklı kesici uç malzemeleri için de paralel sonuçlar vermişlerdir. [16-19]. Farklı durumlarda görülen aşınma mekanizmaları farklı olarak raporlansa da genel olarak takım ömrünü iyileştirdiği belirtilmiştir [17,20,21].

2.3. İşparçasına etkisi (Effects on workpiece)

Yüzey özellikleri, imalat süreçlerinin başarısını ölçmek için kullanılan temel parametrelerden biridir. Yüzey pürüzlülüğünün yanında form bozuklukları da hassas imalat uygulamaları için oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda titreşim uygulanan uygulamalarda geleneksel uygulamalara kıyasla yüzey pürüzlülüklerinde azalma, yuvarlaklık, düzlemsellik gibi form özelliklerinde iyileşme görüldüğü belirtilmiştir. Bu sonuçlar farklı malzemeler için benzer şekilde raporlanmıştır. Bu iyileşmelerin yanında özellikle mikro işleme örneklerinde görüldüğü üzere yüzeyde istenilen bir formun ya da tekstür yapının eldesi de mümkün hale gelmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde bir boyutlu titreşim ile yüzey pürüzlülüğü değeri %40, iki boyutlu titreşimde ise %95 oranında azalmıştır. Özellikle çok düşük pürüzlülük değerlerinin gerekli olduğu optik uygulamalarda iki boyutlu titreşim ile işleme oldukça avantaj sağlamaktadır. Titreşim etkisi ile yüzey özelliklerinin iyileşmesini daha düzenli talaş oluşumu, takım aşınmasının azalması ayrıca uygulanan titreşimin tirlama titreşimlerinin düşürülmesine bağlanabilir.

Geleneksel yaklaşımda yüzey pürüzlülüğü değeri ilerleme hızı ile doğru takım uç yarıçapı ile ters orantılıdır. En temel yaklaşım daha büyük uç yarıçapı kullanmaktır. Bu durum ise tirlama titreşimine yol açabilir. Kesme kuvvet karakteristiğinin titreşim etkisi değiştirilmesi daha büyük radyuslu uç kullanımını mümkün kılar ve yüzey pürüzlülüğü değerleri de önemli ölçüde azaltılabilir. Ultrasonik titreşim ile üretilen frekansın tirlama titreşimlerine etkisi konusu ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır [19, 22-23].

2.4. Talaş oluşumuna etkisi (Effects on chip formation)

Titreşim uygulamalarının talaş şekillerine etkisi bazı araştırmacılar tarafından raporlanmıştır. Ultrasonik titreşimlerin talaş şekillerine etkisinin incelendiği çalışmalar kısıtlıdır. Yapılan çalışmada [10] işlenen Ti6Al4V malzeme ile ultrasonik titreşimin talaş şekline ve yüzey mikroyapısına etkisi incelenmiştir. Ultrasonik

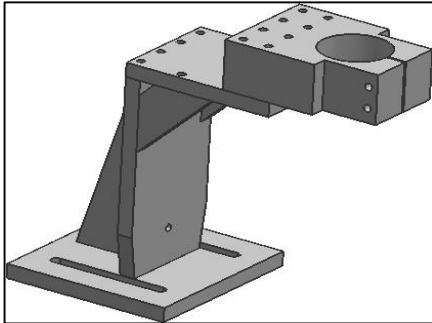
titreşimin etkisi ile yüzey deformasyonun geleneksel tornalamaya göre daha az olduğu raporlanmıştır. Ultrasonik titreşimin etkisi ile talaş şeklinin de değiştiği belirtilmiştir. Geleneksel tornalamada kalın ve değişik formda talaşlar üretilirken, ultrasonik titreşim yardımıyla işlemede ince ve sürekli talaş oluşumu raporlanmıştır. Bu durumu da kayma bandı oluşumundaki azalmaya bağlanmıştır. Bu talaş oluşumu yapılan nümerik çalışmada [7] raporlanan talaş şekillerinin Cockcroft & Latham hasar kriteri belirlenerek nümerik olarak da saptanmıştır. Ayrıca ultrasonik titreşimlerin işleme ile talaşın kesme bölgesinden ayrılma açısını da etkilediği raporlanmıştır [24].

3. SICAK ULTRASONİK İMALAT (HOT ULTRASONIC MANUFACTURING)

Sıcak ultrasonik imalat ünitesi temel olarak üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ultrasonik ünitenin tezgah üzerinde sabitlemesini sağlayan fikstür, kesici takıma titreşimi sağlayan ultrasonik ünite ve sıcak kesme için iş parçasının ısıtılmasını sağlayan ön ısıtma fırınıdır.

3.1. Ultrasonik sistem için fikstür (Fixture for ultrasonic system)

Ultrasonik üniteyi sabitlemek için tasarlanan fikstür altı parçadan oluşmaktadır: Kelepçe, üst tabla, alt tabla, destek tablası, dikme ve destek parçaları. Ultrasonik ünite fikstürü Şekil 1'de üç boyutlu olarak gösterilmektedir. Fikstür malzemesi olarak kalıpcılıkta yaygın olarak kullanılan ck45 çeliği seçilmiştir. Çelik malzeme hem fikstür yapısına mukavemet sağlayacak hem de yüksek özkütlesi sebebiyle fikstüre ağırlık kazandırarak ultrasonik ünitenin rijit bir şekilde tezgaha bağlanmasına sebep olacaktır. Kelepçe malzemesi olarak ise AA7075 alüminyum alaşım tercih edilmiştir. Alüminyum alaşımından üretilen kelepçe sıkma civataları sayesinde esnetilerek içine yerleştirildiği ultrasonik üniteyi tutacaktır. Fikstürün çelik bileşenleri kaynakla birleştirilmektedir. Kelepçe ise üst tablaya civata bağlantılarıyla sabitlenmektedir. Alt tabla kısmında tezgaha bağlantıyı sağlamak amacıyla bağlantı slotları yer almaktadır.



Şekil 1. Fikstür (Fixture)

3.2. Ultrasonik sistem (Ultrasonic system)

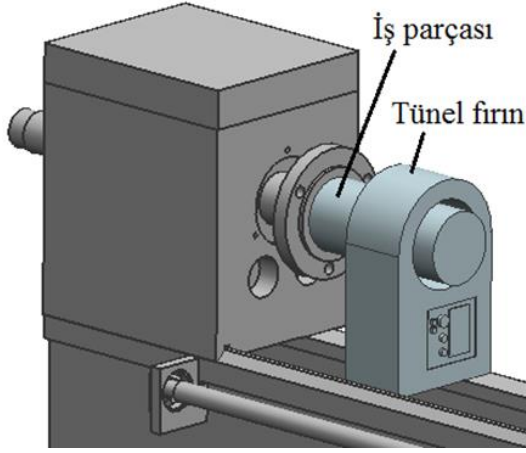
Ultrasonik imalat teknolojisi endüstride ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca çevreci bir üretim teknolojisidir. Ultrasonik sistemler yaygın olarak plastik malzemelerin birleştirilmesinde ve farklı kalite kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır. Günümüzde ultrasonik teknolojisi talaşlı imalat yöntemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Ultrasonik ekipman üç üründen oluşmaktadır (Şekil 2). Bunlar ultrasonik güç kaynağı, ultrasonik konvertör (ultrasonik kristal, çevirici) ve horn'dur. Horn tasarımı tamamen ürüne bağlı olarak değişir. Ultrasonik titreşimler sayesinde saniyede 20000 veya 40000 kez sürtünmeler oluşur. Bu titreşim sayısına göre sistem 20 kHz ya da 40 kHz olarak belirtilir. Ultrasonik güç kaynağı, ultrasonik titreşimleri başlatır ve kontrol eder. Bu kaynak şebekeden elde ettiği elektrik enerjisini ultrasonik kristalin titreşime frekans-genlikteki elektrik işaretine dönüştürür. Elde edilen bu işaret ultrasonik kristale beslenir. Ultrasonik kristalde bu işaret mekanik titreşimlere dönüştürülür. Booster (yükselteç), genlik miktarı düşük olan titreşimleri yükseltir bazen de düşürür. 1:2 ve 1:3 yaygın olarak kullanılan yükseltme oranlarıdır. Genlik yükseltilirken kullanılan malzeme ve ürün geometrisine göre seçim yapılması önemlidir. Horn, booster ile iletilen titreşimleri temas edilecek parçaya aktarır. Bu parça ürünle sürekli temas halindedir.



Şekil 2. Ultrasonik sistem (Ultrasonic system)

3.3. Ön ısıtma fırını (Pre-heating oven)

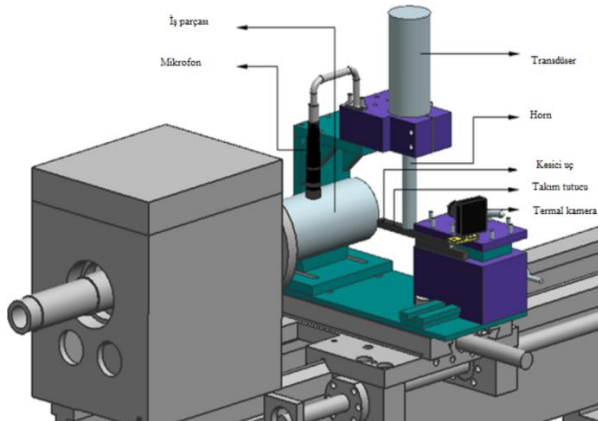
Ön ısıtma fırını 220 V ile çalışmaktadır. Sıcaklık kontrolü Dual Display Dijital On-Off kontrollüdür. Yatay genişliği 100 mm'dir. Seramik boru üzerine ısıtıcı rezistans teller bulunmaktadır. Fırın tezgaha bağlı işparçasının etrafını saracak şekilde yerleştirilecektir. Bu yüzden ortadan açılır şekilde tasarlanarak işparçası tezgah üzerindeyken fırın içine girebilecektir. Fırın sıcaklığı 400 0C'ye kadar çıkabilmektedir. Fırının tezgah üzerindeki bir iş parçasını ısıtma aşaması Şekil 3'te görsel olarak verilmiştir.



Şekil 3. Ön ısıtma fırını (Pre-heating oven)

3.4. Sıcak ultrasonik imalat sisteminin kullanımı (Usage of hot ultrasonic manufacturing system)

Sıcak ultrasonik imalat ünitesi ek bir modül olduğu için universal tezgahlara kolaylıkla adapte edilebilmektedir. Sistemin tezgaha eklenmesinden önce işparçasının sabitlenmesi ve kesici takımın bağlanması gibi konvansiyonel kesme işlemlerindeki tezgah kurulum aşamaları tamamlanmış olmalıdır. Bu aşamalardan sonra kesici takım arabası üzerine ultrasonik ünite yerleştirilmektedir. Kesici takıma titreşim sağlayan horn ise takım üzerine konumlandırıldıktan sonra kelepçenin sıkılmasıyla kullanıma hazır olmaktadır. Kesme işlemi öncesinde fırınla iş parçasının ısıtılması sağlanmaktadır. Isıtma süresince kızılötesi termometre veya termokupl ile sıcaklık kontrolü yapılabilir. Isıtma tamamlandığında portatif fırın çıkarılarak kesici takım arabası işparçasına yaklaştırılıp kesme işlemi başlatılmaktadır. Kesime başlanmadan hemen önce ultrasonik üreteç açılıp kesici takıma titreşim sağlanması başlatılmaktadır. Şekil 4'te tüm ünitenin tezgaha yerleştirilmiş hali şematik olarak gösterilmiştir.

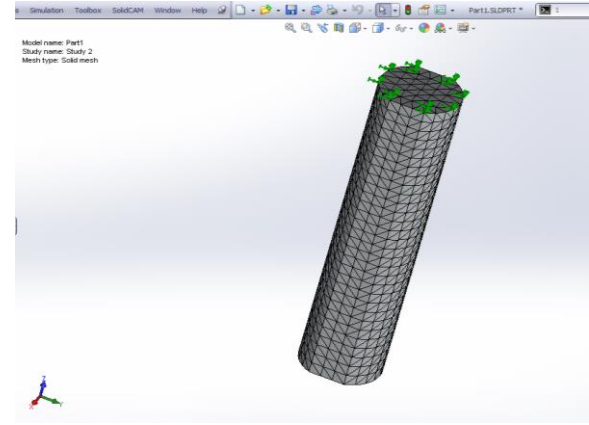


Şekil 4. Sıcak ultrasonik imalat sistemi (Hot ultrasonic machining system)

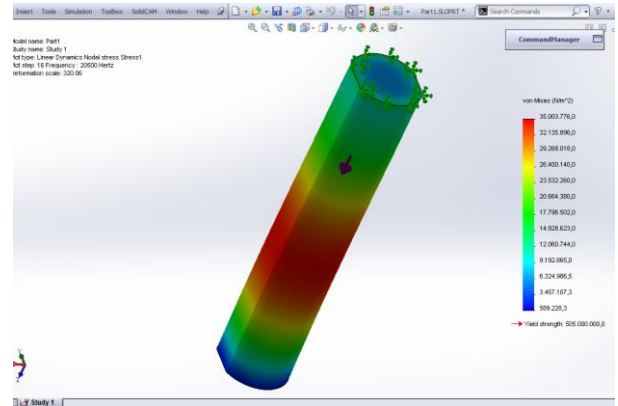
3.5. Horn nümerik tasarımı (Numerical design of horn)

Analizler Solidworks programında gerçekleştirilmiştir ve öncelikle meşleme operasyonu yapılmıştır (Şekil 5).

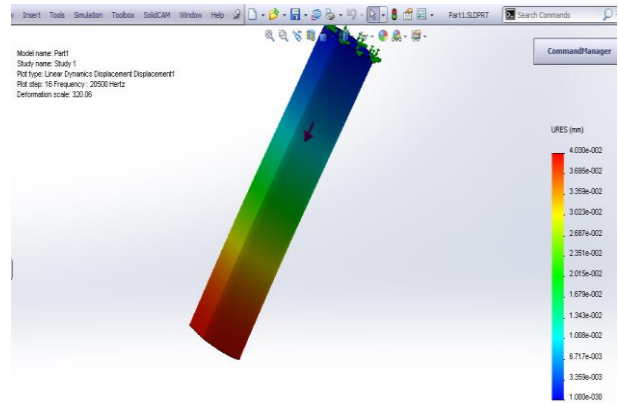
Doğrusal dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizde hornun üst kısmı mesnetlenmiştir. Hornun üst kısmına yer değiştirme değeri olarak 0,02 mm verilmiştir ve modal sönümlenme oranı 0,1 olarak verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda horn von Mises gerilme değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Hornun orta kısmında gerilemeler 35 MPa değerlerine kadar yükselirken serbest uç kısmında 0,6 MPa değerine kadar düşmektedir. Horn için gerinim değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Horn için uç kısmında gerinim değerleri 0,04 mm değerlerindedir.



Şekil 5. Horn ağ oluşturma (Meshing of horn)



Şekil 6. Horn'daki von Mises gerilme dağılımı (von Mises stresses in horn)



Şekil 7. Horn'daki gerinim dağılımı (Strain distribution in horn)

3.6. İmalat sistem maliyeti (Manufacturing system cost)

Tasarlanan ünite de kullanılan cihazlar için prototip oluşturulmuştur. Ultrasonik güç kaynağı ve konvertör mevcut halde ultrasonik kaynak ekipmanlarında kullanılan sistemlerle aynıdır. Kesici takıma titreşimi aktaran horn kısmı ise kullanılacak takım tutucunun mekanik ve malzeme özelliklerine göre özel olarak tasarlanmıştır. Horn tasarımı sırasında nümerik analiz ile titreşim karakteristikleri göz önüne alınmıştır. Ultrasonik fikstür ise tezgaha uygun olarak tasarlanmıştır. Fırın tasarımında en yüksek sıcaklık değeri ve iş parçasının çapı önemli tasarım parametreleridir. Üretilen prototip maliyetleri Çizelge 1'de verilmiştir. Maliyet Çizelgesundaki değerlere mühendislik, işçilik ve malzeme maliyetleri dahildir.

Talaşlı imalat ile ilgili tezgah firmaları incelendiğinde spesifik talaşlı imalat operasyonları için tezgah üreten firmalar kısıtlıdır. Ultrasonik ekipman üreten firmalar daha çok kaynak prosesine yoğunlaşmış durumdadır. Yapılan tasarım ise daha çok talaşlı imalat proseslerine yöneliktir. Isıl işlem fırını üreten firmalar için de gerekli olan sistem spesifik bir tasarım ve üretim gerektirdiği için benzer ürün sayısı piyasada çok kısıtlıdır.

Tasarlanan bu yeni imalat sisteminin temel kullanıcılarından biri havacılık malzemelerinin talaş imalat ile şekillendirilmesini yapan firmalardır. Kullanılan bu imalat sistemi özellikle havacılık malzemelerinin talaşlı imalat ile işlenmesinde büyük kolaylıklar sağlar. Bir diğer temel kullanıcılar ise biyomedikal sektördür. Özellikle kişiye özel implant işleminde geliştirilen sistem kullanılabilir. İkincil müşteri grubu ise mikroişleme üzerinde yoğunlaşan firmalardır. Saat-optik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan mikroişleme operasyonlarında ultrasonik yardımcı işleme yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Ekipman maliyetleri (Cost of equipments)

Ekipman	Maliyet
Ultrasonik güç kaynağı	1950 euro
Ultrasonik konvertör	1000 euro
Aluminyum horn	1000 euro
Ultrasonik fikstürü	750 euro
Ön ısıtma fırını	3500 euro
TOPLAM	8200 euro

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND SUGGESTIONS)

Bu çalışma kapsamında yaygın olmayan bu üretim yöntemi olan sıcak ultrasonik yardımcı imalat yönteminin tanıtımı, kullanım alanları ve avantajları incelenmiştir. Ayrıca ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan yeni imalat sistemi ile kullanıcılara şu faydalar sağlanacaktır.

1. Aralıklı kesmeden dolayı takım aşınması azalacak, takım ömrü artacaktır.

2. Kesme işlemi kolaylaşacak, ortalama kesme kuvvetleri düşecektir.
3. Daha düzgün yüzeyler elde edilecek, yüzey pürüzlülüğü düşecektir.
4. Tırlama titreşimleri önlenecektir.
5. İşparçası üzerindeki artık gerilmeler azalacaktır.
6. Üretim maliyetleri düşecektir.
7. Ultrasonik titreşim ile işleme temiz bir üretim tekniğidir. Doğayı kirletmez ve doğa dostudur. Kesme sıvısı tüketimini azaltır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma ESOGU BAP projesi (2016-1086) ve TÜBİTAK projesi (215M382) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca M. Alper Sofuoğlu 2228 TÜBİTAK burs programlarına teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Brehl D.E., Dow T.A., Review of vibration-assisted machining, *Precision Engineering*, 32(3): 153-172, (2008).
- [2] Brehl D.E., Dow T.A., Garrard K.S., Microstructure fabrication using elliptical vibration-assisted machining. *Proc ASPE*, 39: 511-514, (2006).
- [3] Shamoto E., Suzuki N., Tsuchiya E., Hori Y., Inagaki H., Yoshino K., Development of 3-DOF ultrasonic vibration tool for elliptical vibration cutting of sculptured surfaces. *CIRP Ann*, 54: 321-324, (2005).
- [4] Shamato E., Ultraprecision micromachining of hardened die steel by applying elliptical vibration cutting, *JSME News*, 16: 1-4, (2005).
- [5] Ahmed N., Mitrofanov A.V., Babitsky V.I., Silberschmidt V.V., Analysis of material response to ultrasonic vibration loading in turning Inconel 718, *Materials Science and Engineering: A*, 424(25): 318-325, (2006).
- [6] Babitsky V.I., Mitrofanov A.V., Silberschmidt V.V., Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study, *Ultrasonics*, 42(1-9): 81-86, (2004).
- [7] Cakir F., Gurgun S., Sofuoğlu M., Celik O.N., Kushan M.C., Finite Element Modeling of Ultrasonic Assisted Turning of Ti6Al4V Alloy, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195: 2839-2848, (2015).
- [8] Khajehzadeh M., Akhlaghi M., Razfar M.R., Finite element simulation and experimental investigation of tool temperature during ultrasonically assisted turning of aerospace aluminum using multicoated carbide inserts, *Int J Adv Manuf Technology*, 75: 116, (2014).
- [9] Maurotto A., Muhammad R., Roy A., Babitsky V.I., Silberschmidt V.V., Comparing Machinability of Ti-15-3-3-3 and Ni-625 Alloys in Uat, *Procedia CIRP*, 1: 330-335, (2012).

- [10] Patil S., Joshi S., Tewari A., Joshi S.S., Modelling and simulation of effect of ultrasonic vibrations on machining of Ti6Al4V, *Ultrasonics*, 54(2): 694-705, (2014).
- [11] Shamoto E, Suzuki N, Moriwaki T, Naoi Y., Development of Ultrasonic Elliptical Vibration Controller for Elliptical Vibration Cutting, *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 51(1): 327–330, (2002).
- [12] Ahn JH, Lim, HS, Son SM., Improvement of Micro-Machining Accuracy by 2-Dimensional Vibration Cutting, *Proc ASPE*, 150–153, (1999).
- [13] Nath C, Rahman M., Effect of Machining Parameters in Ultrasonic Vibration Cutting, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 48(9): 965–974, (2008).
- [14] Nath C, Rahman M, Andrew SSK., A Study on Ultrasonic Vibration Cutting of Low Alloy Steel, *J. Mater. Process. Technol.*, 192–193: 159–165, (2007).
- [15] Muhammad R, Roy A, Silberschmidt VV., Finite Element Modelling of Conventional and Hybrid Oblique Turning Processes of Titanium Alloy, *Procedia CIRP*, 8: 510–515, (2013).
- [16] Zhou M, Eow YT, Ngoi BKA, Lim EN., Vibration-Assisted Precision Machining of Steel with PCD Tools, *Mater. Manuf. Process.*, 18(5): 825–834, (2003).
- [17] Suzuki N, Nakamura A, Shamoto E, Harada K, Matsuo M, Osada M., Ultraprecision Micromachining of Hardened Steel by Applying Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting, *IEEE*, 221–226, (2003).
- [18] Weber H, Herberger J, Pilz R., Turning of Machinable Glass Ceramics with an Ultrasonically Vibrated Tool, *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 33(1): 85–87, (1984).
- [19] Xiao M, Sato K, Karube S, Soutome T., The Effect of Tool Nose Radius in Ultrasonic Vibration Cutting of Hard Metal, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 43(13): 1375–1382, (2003).
- [20] Kim JD, Choi IH., Micro Surface Phenomenon of Ductile Cutting in the Ultrasonic Vibration Cutting of Optical Plastics, *J. Mater. Process. Technol.*, 68(1): 89–98, (1997).
- [21] Kim JD, Lee ES., A Study of the Ultrasonic-Vibration Cutting of Carbon-Fiber Reinforced Plastics, *J. Mater. Process. Technol.*, 43(2–4): 259–277, (1994).
- [22] Xiao M, Karube S, Soutome T, Sato K., Analysis of Chatter Suppression in Vibration Cutting, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 42(15): 1677–1685, (2002).
- [23] Tabatabaei SMK, Behbahani S, Mirian SM., Analysis of Ultrasonic Assisted Machining (UAM) on Regenerative Chatter in Turning, *J. Mater. Process. Technol.*, 213(3): 418–425 (2013).
- [24] Lotfi M, Amini S., Effect of Ultrasonic Vibration on Frictional Behavior of Tool-Chip Interface: Finite Element Analysis and Experimental Study, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* (2016).