

**MİKRO FREZELENME İŞLEMİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN TAKIM DEFORMASYONU
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet SAMANCIOĞLU**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Muhammet YÜRÜSOY**

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MART 2010

**T.C.
AFYONKARAHİSAR KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİKRO FREZELENME İŞLEMİNDE
KESME PARAMETRELERİNİN
TAKIM DEFORMASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ahmet SAMANCIOĞLU

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Muhammet YÜRÜSOY**

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MART 2010

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Muhammet YÜRÜSOY danışmanlığında, Ahmet SAMANCIOĞLU tarafından hazırlanan“Mikro Frezelenme İşleminde Kesme Parametrelerinin Takım Deformasyonu Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”; başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca;

04/ 03/ 2010

Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan

Doç. Dr. Şükrü TAKTAK

Danışman

Doç. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

Üye

Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
RESİMLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Mikro Frezeleme	1
1.2. Problemin Tanımı Ve Çalışmanın Amacı	5
1.3. Literatür Taraması	7
1.4. Mikro freze sistemleri	18
1.4.1. Spindle Devri Ve Spindle Konisi	20
1.4.2. Ölçüm Sistemleri	21
1.5. Mikro Kesme	23
1.5.1. Mikro İşlemlerde Kesme Kuvvetleri	25
1.5.2. Teorik Kesme Kuvvetlerinde Dikkat Edilecekler	27
1.6. Mikro Uygulamalar	28
1.7. Mikrofrezleme Süreci Ve Sonuçları	29
2. İŞLEM SÜRECİ	31
2.1. Mikro Frezelemede Sıfır Noktasının Belirlemesi	31
2.2. Kesme Derinliğinin Etkisi	32
2.3. İlerleme Hızının Tahmini Ve İlerleme Hızının Etkisi	33
2.4. Devir Sayısının Etkisi	34
2.5. Tane Boyutunun etkisi	35
2.6. Dinamik Yükleme Ve Gerilme Analizi	36
3. MATERYAL VE METOD	40
3.1. Deneysel Çalışmalar.	40
3.2. Numunenin Genel Özellikleri ve Kullanım Yerleri	41
3.3. Kesici Takım ve Kesme Parametreleri	42
3.4. Deney Düzeneği	43

3.5.	Katı Modelinin Oluşturulması Ve Sonlu Elemanlar Analizi	46
3.6.	Yüzey Pürüzlülüğü	48
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	50
4.2.	İlerlemenin Etkisi (TiAlN)	50
4.4.	İlerlemenin Etkisi(TiN)	53
4.4.	Talaş Derinliğinin Etkisi (TiAlN)	55
4.5.	Talaş Derinliğinin Etkisi (TiN)	58
4.5.	Kesim Hızı (Devir)'nın Etkisi (TiAlN)	61
4.6.	Kesme Hızı (Devir)'nın Etkisi (TiN)	63
4.7.	Kesim Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	65
5.	SONUÇ ve ÖNERİLER	67
5.1	Öneriler	68
6.	KAYNAKLAR	70
	ÖZGEÇMİŞ	76

ÖZET

Yüksek Lisans

MİKRO FREZELENME İŞLEMİNDE KESME PARAMETRELERİNİN TAKIM DEDFORMASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet SAMANCIOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi

Doç. Dr. Muhammet YÜRÜSOY

Bu çalışmada AISI1045 malzeme TiAlN ve TiN kaplamalı mikro takımlarla işlenmiş ve mikro frezeleme sürecinde takımlarda meydana gelen deformasyon değerleri araştırılmıştır. Uygulanan parametreler sonrası AISI1045 malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülük değeri MAHR-PERTHOMOTERR M2 cihazı ile ölçülmüştür. Yapılan çalışmada takımlar üzerine gelen yük etkileri neticesinde oluşan deformasyon değerleri temel üç kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği) üzerinde durulmuştur. Çalışmada meydana gelen elastik deformasyon bir lazer ölçüm ünitesiyle tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonunda takımda meydana gelen elastik deformasyon artan ilerleme ve talaş derinliği ile orantılı arttığı görülmektedir. Bununla birlikte artan kesme hızıyla birlikte takımlarda meydana gelen deformasyon azalmaktadır.

2010, 69 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Kesme kuvvetleri, Kesici takım deformasyonu, Mikro imalat, Kesim hızı, Talaş derinliği, İlerleme hızı.

ABSTRACT
Master Science

**INVESTIGATION OF EFFECTS OF CUTTING
PARAMETERS ON TOOL DEFORMATION
IN MICROMILING PROCESS**

Ahmet SAMANCIOĞLU

**Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences**

Supervisor: Assoc. Prof. Muhammet YÜRÜSOY

In this study, AISI material is worked with TiAlN and TiN planted micro tools, and tool deformation values resulting from the micromilling process are investigated. After parameters applied, surface roughness on AISI 1045 material is measured with MAHR-PERTHOMOTER M2 device. The study is emphasized on basic three parameters (speed of cut, feed rate, depth of cut), which are load effects on tools causing deformations on materials. Experimental studies revealed that elastic deformations are directly proportional to feed rate and depth of cut. Study also revealed that, while cutting speed increases, the tool deformations decreases.

2010, 69 Pages

Keywords: Cutting Forces, Cutting Tool Deformation, Micro Manufacturing, Cutting Speed, Depth of Cut.

TEŞEKKÜR

Hazırladığım tez çalışmamı belirlememde ve çalışmalarım süresince desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve problem çözümünde bana destek olan, çalışmalarımı gerçekleştirmemde maddi ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, değerli görüşleri ile bana yol gösteren sayın hocam Doç. Dr. Kubilay ASLANTAŞ ve Doç. Dr. Muhammet YÜRÜSOY’a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar sırasında ve nümerik çalışma sonuçlarının değerlendirilmesinde, literatür araştırmalarında bana yardımını ve desteğini esirgemeyen, her zaman hoşgörü nazik ve beyefendi kişiliği ile saygı duyduğum sayın Arş. Gör. İrfan UCUN ve ağabeyim Mustafa SAMANCIOĞLU’na teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, elde ettiğim her başarıda bende daha fazla hak sahibi olan aileme her daim minnettar ve teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet SAMANCIOĞLU
AFYONKARAHİSAR, Mart 2010

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Ölçme Birimlerine Göre Hassasiyet	1
Şekil 1.2 Çıkan Talaş (Numune) boyutları	8
Şekil 1.3 FIB İşlemeyle Mikrofreze Takımı Üretme Yöntemi	12
Şekil 1.4 Bir mikro freze çakısının standart ebatları ve mikro yapısı	15
Şekil 1.5 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kesme takımı materyalinin sertliği	17
Şekil 1.6 Mikro-Freze Sisteminin Kontrol Sistemi	20
Şekil 1.7 Spindle Güç-Devir Grafikleri	21
Şekil 1.8 Mikrofrezeleme için lazer deplasman ölçer	22
Şekil 1.9 Pearlite işleme için takım vibrasyon frekans spektrası	26
Şekil 2.1 Sıfır Noktasında Kuvvet (Z-Eksen Boyunca) X Zaman	32
Şekil 2.2 Kesme Gücünün, Kesme Derinliğine Göre Değişimi	33
Şekil 2.3 İlerleme Hızına Bağlı Olarak Kesme Gücündeki Değişim	34
Şekil 2.4 Spindle Hızına Bağlı Olarak, Kesme Kuvvetindeki Değişim	35
Şekil 2.5 Malzeme Takım Konumuna Göre Deplasman Değerleri	37
Şekil 2.6 Takım Çapına Ve Kuvvete Bağlı Frekans Grafiği	38
Şekil 4.1 Grafik 125mm/dak ilerleme (TiAlN)	50
Şekil 4.2 150mm/dak İlerleme (TiAlN)	50
Şekil 4.3 Grafik 175mm/dak ilerleme (TiAlN)	51
Şekil 4.4 Grafik 200mm/dak ilerleme (TiAlN)	51
Şekil 4.5 8350 dev/dak anlık deformasyon farklıları	52
Şekil 4.6 13600 dev/dak anlık deformasyon farklılığı	53
Şekil 4.7 125mm/dak ilerleme (TiN)	53
Şekil 4.8 150mm/dak ilerleme (TiN)	54
Şekil 4.9 175mm/dak ilerleme (TiN)	54
Şekil 4.10 200mm/dak ilerleme (TiN)	54
Şekil 4.11 0,03mm talaş derinliği (TiAlN)	55
Şekil 4.12 0,06mm talaş derinliği (TiAlN)	56
Şekil 4.13 0,100mm talaş derinliği (TiAlN)	56
Şekil 4.14 0,125mm talaş derinliği (TiAlN)	56
Şekil 4.15 0,150mm talaş derinliği (TiAlN)	57
Şekil 4.16 0,175mm talaş derinliği (TiAlN)	57
Şekil 4.17 10800-13600 dev/dak anlık genlik değerleri	58
Şekil 4.18 0,03mm talaş derinliği (TiN)	59

Şekil 4.19 0,03mm talaş derinliği (TiN)	59
Şekil 4.20 0,1mm Talaş Derinliği (TiN)	60
Şekil 4.21 0,125mm Talaş Derinliği (TiN)	60
Şekil 4.22 0,15mm Talaş Derinliği (TiN)	60
Şekil 4.23 8350 dev/dak (TiAlN)	62
Şekil 4.24 10800 dev/dak (TiAlN)	62
Şekil 4.25 13600 dev/dak (TiAlN)	63
Şekil 4.26 17875 dev/dak (TiAlN)	63
Şekil 4.27 8350 dev/dak (TiN)	64
Şekil 4.28 10800 dev/dak (TiN)	64
Şekil 4.29 TiN Ra Değerleri	66
Şekil 4.30 TiAlN Ra Değerleri	66

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1.1 Takım FEM Analizi	3
Resim 1.2 Mikro Frezeleme Tezgahı a) İşlem Ünitesi b) Tezgahın genel görünümü	6
Resim 1.3 FIB İşleme ile Yapılmış 4-Kanallı Mikrofreze Takımı	11
Resim 1.4 FIB İşlemeyle Yapılmış, İki-Kanallı Mikrofrezeleme Takımı	12
Resim 1.5 FIB İşleme İle Yapılmış İki-Kanallı Kare Mikrofreze Takımı	13
Resim 1.6 Çeşitli mikro imalat tezgâhları	14
Resim 1.7 Takım Aşınması (Scale çubuğu 50µm)	16
Resim 1.8 Mikro kesme takımının elektron SEM görüntüsü	17
Resim 1.9 Mikrofreze makinesinin resmi	19
Resim 1.10Çapak alma işlemi a) önce, b) final paso	25
Resim 1.11 Üç Eksenli, Elmas Takımlı Yüksek-Hassasiyetli Makine	29
Resim 1.12 Yüksek Hassasiyetli Mikro Freze, EDM Makinesi	30
Resim 2.1 Takım a) İşparçasına Temastan Önce, b) İşparçasına Temastan Sonra	31
Resim 2.2 a) Haddelenebilir, b) Gevrek İşlenmiş Yüzey	33
Resim 3.1 Resim Lazer Mesafe Ölçüm Cihazı	40
Resim 3.2 LK-NAVIGATOR Programı	41
Resim 3.3 Deney Numunesi ve Açılan Kanallar (Büyütme 50x)	42
Resim 3.4 TiAlN-TiN Takım Parametreleri	43
Resim 3.5 Üç Eksenli CNC	44
Resim 3.6 Deney Seti	44
Resim 3.7 Deney Yapılma Şekli	45
Resim 3.8 Data Değerleri	46
Resim 3.9 Yönlendirilmiş iyon demeti öncesi	47
Resim 3.10 Yönlendirilmiş iyon demeti Sonrası	47
Resim 3.11 Gerilme Analizi	48
Resim 3.12 Deplasman Değerleri	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Takım Çapına Ve Kuvvete Bağlı Frekans Tablosu	38
Çizelge 3.1 TiAlN Deney Tablosu	42
Çizelge 3.2 TiN Deney Tablosu	43
Çizelge 3.3 Yüzey için Uygulanan Parametreler	49

1. GİRİŞ

1.1.Mikro Frezeleme

Minyatürleştirme, mikro elektronik (cep telefonları ve sensörler), araç motorları, sağlık (implant, microdosage), biyomedikal, kimyasal endüstri, saat yapımı, uzay mühendisliği, elektronik, çevre, iletişim ve otomotiv gibi pek çok endüstri kolunda yüksek hassasiyetli minyatür bileşenlere olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu minyatürleşme, sağlıkta, ekonomide ve yaşam kalitesinde gelişmelerin önünü açan, Lab-on-a-chip'li (LOC'lar, Tek çipte bir biyoloji-kimya laboratuvarının işlevlerini içeren kartlar) mikrokanallar, Şekil Hafızalı Alaşım'dan yapılmış(shape memory alloy- SMA'lar) "stentler", Yakıt Hücreleri (Fuel Cell) uygulamaları için Akışkan Grafit (Fluidic Graphite) Kanalları, Minyatürden daha küçük (minyatür-altı) hareketlendirici ve sensörler ve medikal cihazlar mikro-sistemlerin geliştirilmesini mümkün kılacaktır (Corbett, McKeon, PeggsR Whatmore, 2000; Lang, 1999). Bu ilerleme ile birlikte ihtiyaç olan bir fabrika dolusu mikro silikon parçanın üretilmesindeki zorluklar ve diğer malzemelerin yapımı arasında açık bir dengesizlik vardır. Mikrosistemler, düşük üretkenlik ve az miktarlardaki üretimin uygun maliyetlerde yapılamaması nedeniyle ticari olarak yaygınlaşamamaktadır. Minyatür cihazların ve binlerce mikrometreden birkaç milimetreye kadar ebatlara sahip parçalar içeren bileşenlerin üretiminde kullanılan diğer bir metot da, mikromekanik işlemdir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Ölçme Birimlerine Göre Hassasiyet (Chae,Park and Freiheit, 2006)

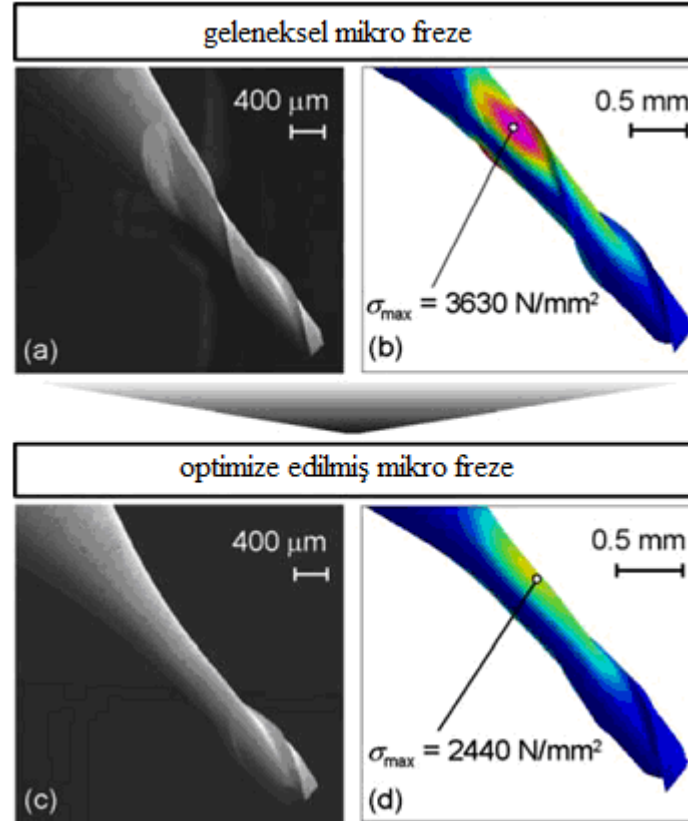
Günümüzde, mekanik kesmeyle mikro-meso ölçekli bileşenlerin üretilmesine yoğun ilgi duyulmaktadır (Liu, DeVor, KapoorEhman, 2004; Liu, Jun, DeVorKapoor,

2004). Mekanik mikro-işleme süreci çok küçük parçaların üretimi konusunda yetersiz kalsada, litografi ile birleştirildiğinde, fonksiyonel parçaların üretimi için makro ebatlarla mikro-nano ebatların bir araya getirilmesinde, mekanik kesme büyük önem kazanmaktadır (G. L. Benavides, D. P. Adams and P. Yang, 2001; Howe, 2003). Bu durum, özellikle bir çok farklı materyaller, ara yüzler ve fonksiyonel şekillerden meydana gelen kompleks mikroyapıların üretilmesi için doğrudur (Chae, 2006).

Güçlendirilmiş karbür freze uçları kullanan mikro-kesme takımları, kompleks çelik mikrobileşen şekillerinin ekonomik olarak üretimi için gerekli potansiyele sahiptir (Alting, FKimura, HansenBissacco, 2003; Masuzawa, 2000). Bununla birlikte, farklı bakış açıları, bu teknolojinin genel kabul bulmasını zorlaştırmaktadır: takım başarısızlığının sıklığından kaynaklanan düşük süreç güvenilirliği, günümüz mikro freze uçlarının takım ömürlerinin kısa olması ve bunların sebep olduğu yüksek maliyetleridir. Güçlendirilmiş karbür kesicilerin en sık uygulanan üretim süreci talaş kaldırma (rendeleme-grinding) işlemidir (Onikura, Ohnishi and Take, 2000; Schaller, Bohn, MayerSchubert, 1999). Bugün, piyasada temin edilebilecek en küçük mikro freze ucu 50µm çapındadır. 50µm'den belirgin şekilde daha düşük çaptaki takımların üretimi, araştırma enstitüler tarafından test edilmektedir.

Makro süreçtekinden farklı bir zihniyet gerektiren mikro-üretimde, birkaç kritik sorun vardır. Bu sorun temel olarak paçaların, takımların ve proseslerin minyatirize edilmesinden gelir. Minyatürleştirilmiş freze uçlarının performansı, takım ömrünü ve bileşenlerin tolerans kontrolünü azaltan kesici köşelerde meydana gelen hasarı, hatta takım şaftlarındaki kırılmayı bile fark etmek zordur (Alting, FKimura, 2003; Tansel, Nedbouyan, TrujilloTansel, 1998). Mikroişleme sürecini inceleyen araştırmacıların büyük bir çoğunluğu, kesilmiş ürünlerin kalitesinin izlemek ve artırmak için kesme kuvvetini kullanmıştır (Li, Lin and Leow, 2000; Liu, Jun, 2004; Tansel, 1998). Çok küçük kesme kuvvetlerinin hassas olarak ölçülmesi, çok az gürültünün bile yanlış kesme-kuvveti sinyali verebileceği için, çok zordur. Mikrofrezeleme sürecinde yüksek devirlerde çalışıldığından dolayı, mikroişleme kesme-kuvveti frekans düzenlerinin(rejimleri-sistemleri) pek çoğunda, kuvvet sensörlerinin frekans bantgenişlikleri, yetersizdir.

Bu çalışmada deneysel bulgular üzerinden hareket edilmiş, tek eksenli olarak takımlarda meydana gelen sapmalar ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, mevcut geleneksel mikro freze uçlarının Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) ile gerilim analizi (Resim 1.1) kullanılarak belirlenen zayıf noktalarını temel almaktadır (E Uhlmann and Schauer, 2002). Bu sayede takımları yüklenebileceği en fazla yük miktarı ve maksimum sapma miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.



Resim 1.1 Takım FEM Analizi (E Uhlmann and Schauer)

Gerekli sınır koşulları teknolojik araştırmalar neticesinde belirlenmiş, SEM simülasyon yöntemi kullanılarak, mikro freze uçları için yenilikçi bir parametrik takım tasarımı geliştirilmiş ve deneysel testlerle doğrulanmıştır (E Uhlmann and Schauer, 2002). Yapılan deneysel çalışma şartları büyük benzetim oranının ile SEM sınır şartlarında uygulanmıştır. Uygulanan yük miktarlarına tersine mühendislik metodu ile deneysel sapma miktarını verebilecek kuvvetler uygulanmıştır.

Mikro kesim işlemi için önemli olan konulardan biri de takım/iş parçası etkileşimidir. Mikro kesmede, kritik talaş kalınlığının altındaki kesimlerde talaş oluşmayabilir.

Bunun sebebi, çok küçük talaş kalınlığında işleme yapılırken, ortaya çıkan, aynı zamanda kesme kararsızlıklarına da sebep olabilen elastik etkilerdir. Tekrarlanan chatter (kararsızlık)'da dikkate alınması gereken diğer bir konudur. Takım ile iş parçası arasında, hassas dinamik ölçüm yapılması çok güçtür. Bu tür küçük parçaların tutulması, monte edilmesi ve test edilmesi boyutları nedeniyle, zordur. Makro yaklaşımların çoğu mikro alana uygulanamaz. Mikro parçalarla, özellikle işleme ve test etme konularında, çok az sayıda çalışma yayınlanmıştır. Mikro parçalar çok kırılgan, görülmesi ve elle işlenmesi zor olduğundan dolayı, işlenebilmeleri ve paketlenebilmeleri için özel aparatlar gereklidir. Bazı durumlarda mikro parçaların kullanılabilmesi için, yapılarına entegre edilmiş özel işleme-parçalarının çıkartılması gerekir. Mikro-montaj gerektiren işlerde çalışmış olan çok insan mevcut olsa da, bu uygulamalar çoğunlukla yarı iletkenlerin montajı için geliştirilmiş düzlemsel geometriye sahiptir. Üç boyutlu parçaların montajı henüz tam anlamıyla incelenmemiştir. Ayrıca mikro parçaların ve mikrosistemlerin test edilmesi için mikro ebatlı parçaların davranışları hakkında sağlam bir anlayışa gereksinim vardır (Chae, 2006).

Geleneksel olarak, ultra-hassas işlemede, elmas için kullanılan takım-kesme operasyonları kullanılır, ancak demir içeren materyallerin işlenmesi konusundaki yüksek talep nedeniyle (Masuzawa, 2000) karbür kesicilerin kullanıldığı mikro-freze uygulamaları daha uygun görünmektedir. Bu çalışmada ek olarak, makro kesme işlemlerindeki bilgi birikimini mikro işlem alanına aktarılabilirliği incelenmiştir. Sonuç olarak, mikro-kesmeye uygulanabilecek, makro-kesme işlemleri konusunda yapılması gereken ve mikrokessmede kaliteyi artırabileceği düşünülen öneriler yapılacaktır (Chae, 2006). Farklı kuvvetler altında meydana gelen sapmalar ve yüzey kalitesi hakkında önerilerde bulunulacaktır.

Mikro üretimde, makine teçhizatları ve teknikleri yüksek hassasiyetli işlem süreçleri olarak kabaca sınıflandırılabilir. Diğer taraftan nispeten yüksek kapasiteli çözünürlüğü ve keskinliğine rağmen, mikro işlem süreçleri 2½D takım geometrisi ile sınırlı, oldukça az sayıda materyalle ve yüksek imalat sayısının karlı olması gerekir (E. M. Kussul, 1996).

Birkaç milimetreden daha küçük ve makinelerin çok nazik ve komplike görevleri yerine getirebilmelerini mümkün kılan oldukça sofistike işlevsel elemanlar içeren çok küçük mikro-makinelere literatürde sıklıkla rastlanır. Mikro imalat makineleri üründen 2–10 kat arasından büyük olmamalıdır. Japonya’daki imalat sektörü derin araştırmalara yöneldi, Ocak 1992’de “Micromachine Centre” araştırmalarına başladı, çok çeşitli makinelerin mühendisliğinde ilerleme kaydettiler (Lacalle and Lamikiz, 2009).

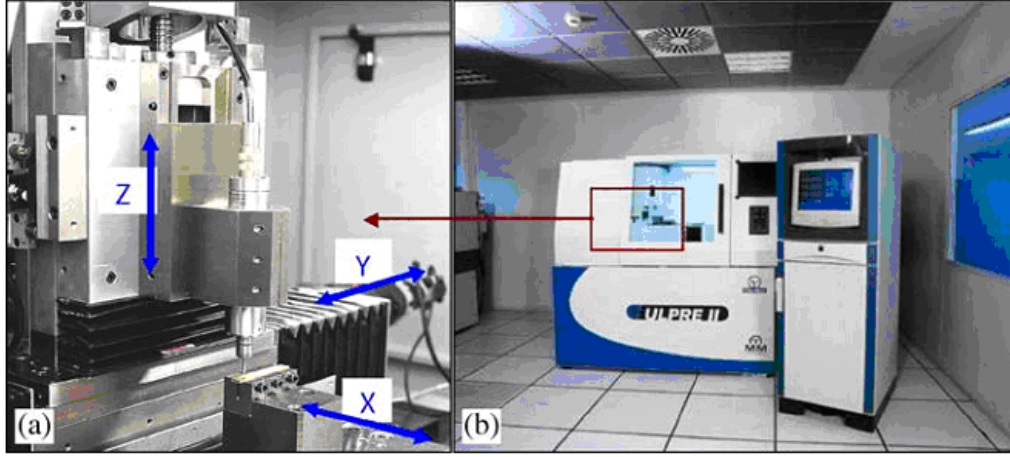
1.2. Problemin Tanımı Ve Çalışmanın Amacı

Mikro elemanların imalatında; tekrarlanabilir ve güvenilir metotlarla hassas analiz araçlarına ihtiyaç vardır. Mikro-bileşen üretiminde yaygın olarak kullanılan metotların çoğunun temeli, yarı iletkenlerin imalat sürecine dayanmaktadır. Bu süreçte, silikon materyaller, kimyasal maddeler ve kurutma işlemi kullanılarak, foto-oyma (photo-etch) yapılır ve genellikle toplu üretimde kullanılır. Çok sayıda araştırmacı, ticari değeri olan mikro-bileşenlerin üretimi için, LIGA (Bir Synchrotron ile kullanılan fotolitografi), lazer, ultrason, iyon tabancası(ion beam – iyon demeti), mikro-elektro erozyon makinesi gibi diğer bazı üretim yöntemlerinin fizibilitesinin araştırmıştır (Alting, Kimura, HansenBissacco, 2003; Madou, 1997; Masuzawa, 2000).

Çoğu mikro frezelemenin anlamı için mikron altı hassasiyet (bir mikron yada altı) genellikle onda bir mikron olan yüksek hassasiyetli makinelere başvurulur. Makine takımları en hassas hareketleri mikroskobik iş parçalarında yapabilir, ama onlar çok bilinen iş parçalarına uygulamalı ve mikron altı detayları ya da mezoskalede ölçebilmeliler. Hassasiyetin bu denli yüksek olduğu durumlarda takımda meydana gelebilecek olan deformasyon veya takım aşınması gibi durumlar fazlasıyla önem kazanmaktadır.

Mikro bileşenli parçalarda işlem sonrası ölçü takibinin neredeyse imkânsız olmasından dolayı, işlenen değer tek seferde doğruya ulaşmalıdır. Konvansiyonel talaşlı imalatla parça üzerinden ölçüm yapılarak, varsa kalan fazla talaş miktarı süreç tekrarlanarak istenilen ölçüye yakalanabilir. Mikro imalatla parça üzerinden ölçü

alma işleminin güçlüğünden dolayı kesme parametrelerine göre takımda meydana gelecek takım deformasyonu dikkate alınmalıdır. Takımda meydana gelecek deformasyon miktarınca ölçüde değişikliğe gidilmelidir. Ölçü hassasiyeti önem arz ettiğinden tezgahın bulunduğu alanın nem ve sıcaklık değeri sabit tutulmalıdır (Resim 1.2).



Resim 1.2 Mikro Frezeleme Tezgahı a) İşlem Ünitesi b) Tezgahın genel görünümü (Lacalle and Lamikiz, 2009)

Mikro işlemlerde parça üzerinde istenen yüzey pürüzlülüğü günümüzde var olan imkân ve yöntemler ile elde etmek neredeyse imkânsızdır. Şu an ticari olarak var olan kalıplama teknolojilerinde parlatma işleminde küçük nesnelere parlatma (pürüzsüzlük) işlemi elle yapılmaktadır. Mikro kalıplara bu metotla parlatma işlemi yapmak imkânsızdır. Mikro imalat sürecinde meydana gelen çapak (burr) alma işlemi çoğu parça üzerindeki nesnelerden alınamamaktadır. Bu gibi durumlar göz önüne alındığında ilk kontrol noktası olan takım unsuru daha çok önem arz etmektedir. Takımda meydana gelen elastik deformasyon (eksenel sapma) imal edilen parça üzerinde standart aralığı, yüzey pürüzlülüğünü, çapak (burr) oluşumunu kontrol altına alındığında, bu gibi problem riskini azaltılmış olacaktır.

Konvansiyonel üretimdeki takım-parça standart aralığı dikkate alındığında mikro üretimde bu oran çok daha düşüktür. Takımın boyutlarına oranla maruz kaldığı yük miktar oranı konvansiyonel üretim şartlarına oranla daha yüksektir. Bu nedenle mikro takımlar üzerindeki deformasyon miktarının kontrolü daha yüksek dikkat gerektirir. Yapılan çalışma imalat öncesi sapma değeri aralığını kontrol edebilme ve

standart değer aralığında imalat yapabilme, istenilen yüzey pürüzlülüğüne göre giriş şartlarını belirleyebilmek amacıyla yapılmıştır.

1.3.Literatür Taraması

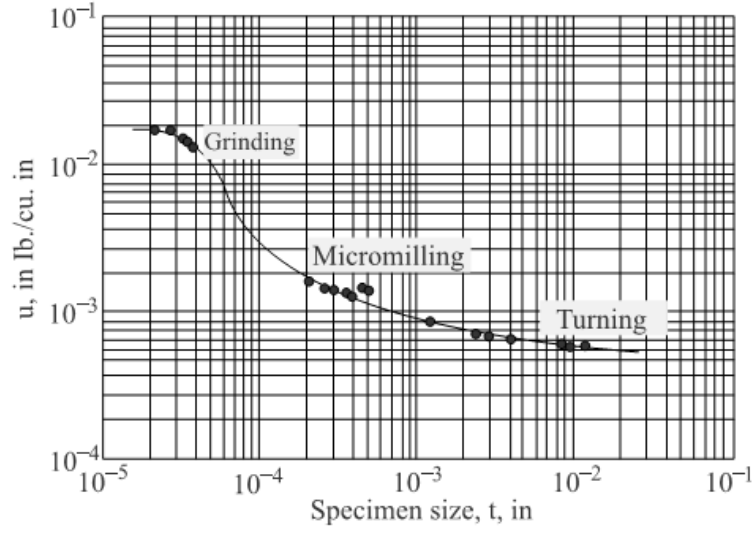
Uzun zamandır metal kesme işleminde ebatların etkisi bilinmektedir, Spesifik enerji arttıķa bozulma ebadı azalmaktadır (şekil 1.2). Kesme işlemindeki özgül enerjinin metal içerisindeki deformasyon boyutlarının azalması ile gereken enerjide artmaktadır. Backer ve arkadaşları (Backer,Marshall and Shaw, 1952) deforme olan (bozulan) birim hacim başına kesme kuvvetinin, haddelenmiş metal numunenin (AISI 1112 eliğinin) boyutlarının bir fonksiyonu ile belirlendiğini gösteren bir dizi deney gerçekleştirmiştir. Deforme olan numunenin deforme olma miktarına göre işleme süreçler, büyükten kğ doğru listelenmiştir. :

- Yüzey taşlama
- Mikro frezeleme
- Tornalama
- Çekme deneyi(Jackson).

Mikro frezeleme deneylerinde, tümünde dikkatlice balanslanmış 6 in'lik (152cm) karbür freze kesicileri kullanılmış ancak dişlerden birisi uçan (fly) freze kesicisi şeklinde iş görmesi için çıkarılmıştır. Zımparalamada olduğu gibi yüzey taşlamasında aynı ebatlarda, farklı kesme derinlikleri için yatay ve dikey kuvvetler ölçülmüştür. Kesme yüzeyi üzerindeki kesme gerilmesi (τ), Backer ve diğerleri tarafından sunulan, çok iyi detaylandırılmış metotlarla tahmin edilmiştir. (Jackson).

Günümüzde Minyatürize sistemlerin icadı ile çeliğin mikro-kesilmesi, özellikle biyomedikal uygulamalar için, araştırmaların ilgi odağı olmuştur. Birkaç laboratuvar ve üniversitede mikro işlem üzerine aştırmalar devam etmektedir (Bang, Lee and Oh, 2004; G. L. Benavides, 2001; E. Kussul and 2002; Tanaka, 2001). Sandia (G. Benavides,D. Adams and P. Yang, 2001)'ya göre, nano/makro ve mikro ebatlar arasındaki boşluğu doldurmak önemli bir araştırma alanı haline gelmektedir.

Hesselbach ve diğerleri (Hesselbach, Raatz and Wreg, 2004), mikro işlem teknolojisinin, uluslararası alandaki mevcut durumunu, Alman endüstrisinin mikro işlemenin sınırlarına ve ekonomik potansiyeline nasıl uyum sağladığı perspektifinden araştırmıştır. Farklı üretim süreçlerine özetlerken, mikro kesme alanında, enjeksiyon kalıplama ya da kabartma için çelik mikro-kalıpların üretimine ihtiyaç olduğu sonucuna varmıştır (J. Chae, 2006).



Şekil 1.2 Çıkan Talaş(Numune) boyutları (Jackson)

Alting ve diğerleri (Alting, Kimura, 2003), mikro-mühendislik alanını, ar-ge bölümlerinden imalatına kadar, bu makineler ile mikro ürünlerin imalat sürecinin tasarımın nasıl yapılacağına kadar geniş bir alanı araştırmıştır. Mikro mekanik kesme süreçleri hakkındaki tartışmada, yazarlar temel zorlukları; yüksek kesme kuvvetleri nedeniyle, takımlar ve iş parçalarında oluşan deformasyon, hassasiyet ve boyutları sınırlandırması; kesici köşelerdeki yarıçap değişimi nedeniyle takımındaki aşınmalarının kesme kuvvetlerinin etkilemesi şeklinde sıralamışlardır. Altig ve diğerleri, çalışmalarında mikro-fabrika gibi mikro imalat süreçlerini anlatılmıştır ve sonuçta ‘mikro mühendislikte sistematik şekilde yaklaşım uygulanmasından çok fayda görüleceği’ ve komple süreç entegrasyonunun temel bir sorun olduğu sonucuna varmışlardır, (Chae, 2006).

Hassas kesme ve makine takımları mikro mekanik kesme işlemlerinde kritik bir rol oynarlar. Çünkü Mikro yapıların parça ebatları ve yüzey kalitesi bunlara bağlıdır.

Mikro makine takımlarının çoğu, sıcaklığı kontrol altında tutulan ortamlarda çalışan, yüksek rijitlik ve ultra-hassasiyete sahip konvansiyonel makineleri temel almaktadır. Mikro ebatlı parçaların imalatında kullanılan, mikro makine takımlarına yoğun ilgi duyan çeşitli araştırma grupları vardır (Bang, 2004; Jun, 2005; E. Kussul, 2002). Maliyetleri azaltıp, esnekliği artırmak makine takımlarının minyatürize edilmesinde temel motivasyon kaynağıdır. Bununla birlikte mikro makine takımlarındaki doğruluk(hassasiyet) henüz konvansiyonel makineler ile aynı seviyede değildir, bunun nedeni ise imalattaki yeterli rijitliğin, yerden kaynaklanan vibrasyonun ve hassasiyetin yokluğudur (Okazaki,Mishima and Ashida, 2004). Mikro mekanik kesme işlemlerinde genel olarak tungsten karbür kesici takımlar kullanılmasının sebebi sertlik nedeniyle yüksek sıcaklıklara çıkabilmesidir (Chae, 2006).

İlk mikro freze takımları Masuzawa ve Fujino tarafında tel erozyon (tel erozyon) yöntemi ile imal edilmiştir (Masuzawa and Fujino, 1990). Yapılan bu ilk takımlar tungsten karbürden, 50µm çapında imal edilmiş ve akrilik işlemede kullanılmıştı. Süreç, 50µm çapında bir delik açma ve slotların uçlarını oluşturacak olan delikleri delmeden oluşmuştur. Aynı araç, oluşan bu ucu spiral-şeklinde bir uca dönüştürmek için sonra yeniden kullanılmıştır. Slotlar 50µm genişliğinde işlenmiştir (Craig and Friedrich, 1996).

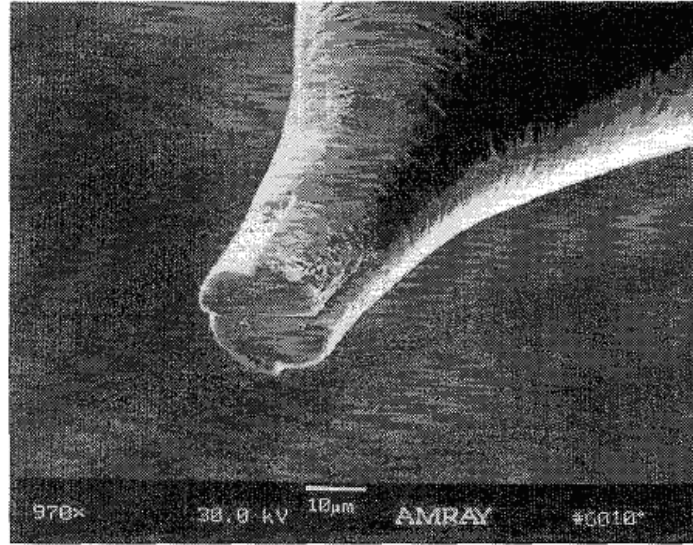
Mikro freze takımları Odaklı İyon Işını (Focused Ion Beam -FIB) işlemi kullanılarak imal edilir. FIB’de, üzerinde çok küçük (mikrometre altı) bir delik bulunan tungsten bir iğne kullanılır. Keskin nokta, oda sıcaklığına yakın derecelerde sıvı halde bulunan galyum metali ile ıslatılır. 6 kV’lık bir ayırma voltaj sayesinde iğnenin uç kısmında yoğun bir elektrik alan oluşturulur. Bu sayede galyumun alan iyonlaşması gerçekleşir. Fırlatılan galyum iyonları 20 kV’lık bir enerjiyle hızlandırılarak, çok küçük çapta (mikrometre altı) bir noktaya odaklanır ve 8-kutuplu bir elektrostatik bir alan aracılığıyla, çalışılan parça üzerine yönlendirilir. Galyum iyonlarının kinetik enerjisi, iş parçasının üzerine püskürtülerek, iş parçası atomlarının kopup-fırlamalarına neden olur. Bu püskürtmenin (iş parçasından atom koparma) verimliliği pek çok faktöre bağlı olsa da, çarpan her galyum iyonu, iş parçasından 3–5 atom koparır. Bu sürecin avantajlarından birisi parça koparma işlemi çok yüksek hassasiyette yapılabilmesidir. Bir dezavantajı ise oluşturulan iyon ışınlarının, Gauss (sağ el kuralı) dağılımı göstermesi gerçeğidir. Bu yüzden ışın eksenini boyunca,

yakınındaki yerlere nazaran daha çok parça eksilmesidir (Craig and Friedrich, 1996; C. R. F. a. M. J. Vasile, MARCH 1996).

Freze takım malzemesi, fenermili ekseni etrafında dönebilen bir mengeneyle tutturularak FIB makinesinin içerisine yerleştirilir. İstenilen takım şeklini elde edebilecek şekilde FIB makinesi programlanır. Boş bir program sayfasına girilir. Takım, fenermili ekseninde istenilen çeşitli geometriyi elde edebilecek şekilde döndürülür (Orloff, 1993; M. Vasile and Friedrich, 1995). İlk imal edilen mikro freze takımı Resim 1.3’de gösterilmiştir. Takım 22µm çapında ve 4 adet yive sahiptir. Yapılan ilk takım tasarımları, makro frezelemenin mikro ebatlara olduğu gibi aynen uygulanabileceği varsayımına dayanıyordu. Takım yapısı ise şeklen küçültülmüştü. Görülebileceği gibi, takımın boyutlarına oranla, kesici kenarlarda istenilen keskinlik yakalanamamıştır. Bunun sebebi, iyon ışınının Gauss dağılımı şeklinde dağılmasıdır. Takım malzemesinin neredeyse düz olan yüzeyine dik açıyla vururken, ışın demetinin oluşan “kuyrukları” keskin uçların oluşmasını engeller. FIB aracıyla yüzeyi işlenerek imal edilmiş ilk takım Resim 1.4’te görülmektedir. İlk mikro freze, National Jet Company firmasının 7M manüel mikro delme makinesinden dönüştürülmüş bir makinedir. Ancak frezeleme amacı için üretilmemiştir (Kikkeri, 1995). Duvarların çok dik olmadıkları, alt taraflar pürüzlü, alt tarafların ve duvarların kesiştiği çizgide keskin değil dolgundur (yuvarlatılmıştır). Bununla birlikte ilk denemeler fizibilite (yapılabilirlik) ve basitliğini ispat etmiş ve ilerideki süreç geliştirme aşamaları için motivasyon kaynağı olmuştur. Şu an itibariyle iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Her ikiside büyük, pürüzlü yüzeyler iç köşelerin bulunmaması ile karakterize edilir. Tasarımların birisi, iki paralel yüzeye sahiptir ve Resim 1.5 teki gibi imal edilmektedir. Yüzey, FIB süreci ile kesilirken, yüzey ile tormalanmış takım malzemesinin kesişimi, tamamıyla ışın kesitine maruz bırakılarak, iyi-yuvarlatılmış bir köşe elde edilir. Bununla birlikte, bu kenar ve yüzey, bir bıçak-ağzı gibi davranarak, Gauss iyon ışınının bir yarısını kırpar. Geriye kalan ışın ise yüzey çıkış kenarlarına doğru devam eder ve yüzey ile yuvarlatılmış takım malzemesi arasında çok keskin kenarlar oluşturur. Bu keskin ara noktalar, iki kesici kenardan birisini oluşturur. İlk işlemten sonra takım 180 derece döndürülerek işlem tekrarlanır bu sayede iki kesici kenar çap boyunca karşılıklı olacak şekilde imal edilmiş olur (Şekil 1.3). Bu tasarım kesme kenarlarının gerisinde herhangi bir

temizleme sağlamaz ve yuvarlatılmış takım malzemesinin frezelenmiş duvarlarının parlamasına izin verir.

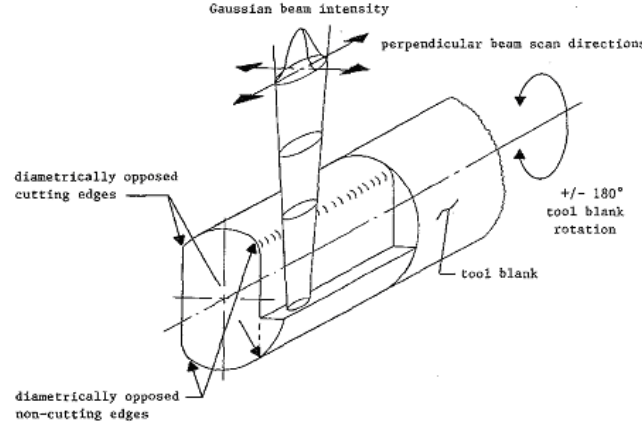
Kullanımdaki diğer takım tasarımı Resim 1.6’da gösterilmiştir. Bu tasarım da, iki kesici kenara sahiptir, fakat kesici kenarların arkasında bir temizleme yüzeyi vardır. Bu temizleme yüzeyinin varlığı, daha pürüzsüz duvarların oluşmasında yardımcı olabilir. Fakat bu takım işleme kuvvetlerinden doğan burulma kuvvetlerine karşı daha az dayanıklıdır. Şuan itibariyle takım geometrisiyle ilgi elde edilen sonuç yoktur. Bu takımların kesme kenarları, 70.000 kez büyütülen bir elektron mikroskobu ile ölçülmüş ve 50–100nm arasında değişen yarıçaplara sahip oldukları görülmüştür. Takım çapından dolayı, takımda yorulma hatalarına sebep olabilen kesme kuvvetlerini azaltmaya yardım etmek için, takımın kesmesinin radyal derinliği tipik olarak 50–100nm arasındadır. Ama takım çaplarındaki işlenen radyal derinlik yaklaşık (kesme işlemi esnasında ilerleme hızına bağlı olarak kesiciye düşen miktar- ilerleme miktarı) 50–100nm olması kesme kuvvetlerinin azalmasına ve dolayısı ile takım yorulmasını iyileştirmiş olacaktır (Craig and Friedrich, 1996).



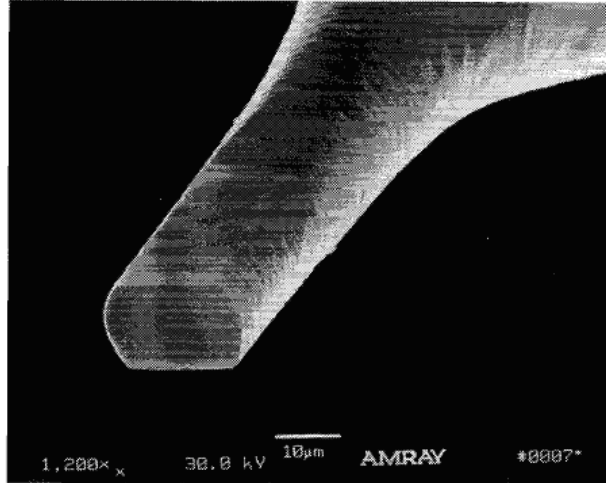
Resim 1.3 FIB İşleme ile Yapılmış 4-Kanallı Mikrofrez Takımı (Craig and Friedrich, 1996)

Mikro parçaların üretim hassasiyeti; makine takımlarının üretimde kullanılan takımların özelliklerine, takımların hassasiyetleri ve dinamik performans başarısına doğrudan bağlıdır. Üretilen parça için makine takımlarının yetenek ve kalitesi, ebat,

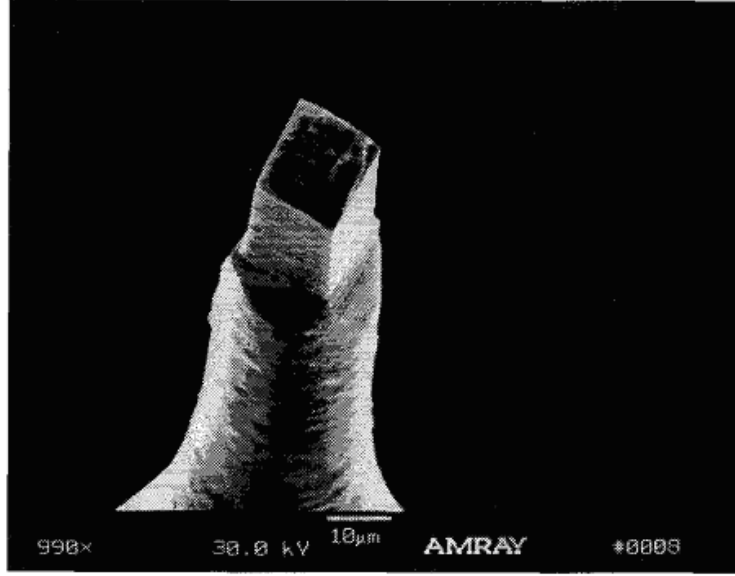
doğruluk, yüzey pürüzlülüğü ve ölçüsel tekrarlanabilirlik gibi ürün gereksinimleri bakımından hayati öneme sahiptir. Hassas mikro tezgahları fenermili, aktarma organlarının hassasiyet oranı ve kontrol ünitesi olmak üzere üç ana sisteme sahiptir.



Şekil 1.3 FIB İşlemeyle Mikrofreze Takımı Üretme Yöntemi (Craig and Friedrich, 1996)



Resim 1.4 FIB İşlemeyle Yapılmış, İki-Kanallı Mikrofrezeleme Takımı (Craig and Friedrich, 1996)



Resim 1.5 FIB İşleme İle Yapılmış İki-Kanallı Kare Mikrofreze Takımı (Craig and Friedrich, 1996)

Mikro üretim uygulamalarında spindle devrinin tutarlılığı, kabul edilebilir verimlilik düzeyini yakalayabilmek için, çok yüksek olmalıdır. Çünkü küçük takım kullanımı, malzeme üzerinden talaş kaldırma oranını düşürecektir. Yüksek tork gerektiren uygulamalarda, hibrit-açılı rulmanlar ile yataklanmış elektrikli motorlar kullanmak gerekir.

Kullanılan rulmanlardaki sürtünme nedeniyle fenermilinde ısıl genleşme oluşacağı için devir hızı yaklaşık 60.000 dev/dak ile sınırlıdır. Daha yüksek spindle devri gerektiğinde tipik hava tribünlü rulman kullanılır. Fakat bunların da torku düşüktür. 200.000 dev/dak üzerine çıkabilen havalı rulmanlı fener milleri ticari olarak günümüzde kullanılmaktadır. Yüksek devirlere çıkabilmek için, konvansiyonel takım tutucu arayüzlerine sahip yüksek hassasiyetli eski makineler, bu yüksek hızlı fener mili ile yenilenir. Yüksek hassasiyetli tezgâhlarda mikro yapılar imal edilebilmesi için X-Y eksenlerinde yüksek ölçüsel doğruluk gerekir. Lineer sürücü motorları ve kontrol sistemleri yaygın olarak yüksek hassasiyetli tezgâhlarda kullanılır. Konvansiyonel (ball screws gibi) sürücü mekanizmaları ile kıyaslandığında, lineer motorlarda sürtünmeden veya motor kavramalarından kaynaklanan (birikimsel) hata olmaz, aşınmadan dolayı veya boşluktan dolayı kayıplar olmaz. Bu sistemler yüksek ivmelenme sağlayabilirler (Rooks, 2004). Lineer sürücü sistemleri kullanan yüksek hassasiyetli tezgâhlarda, tipik hassasiyet seviyesi $\pm 1\mu\text{m}$ boşluk miktarına sahiptir.

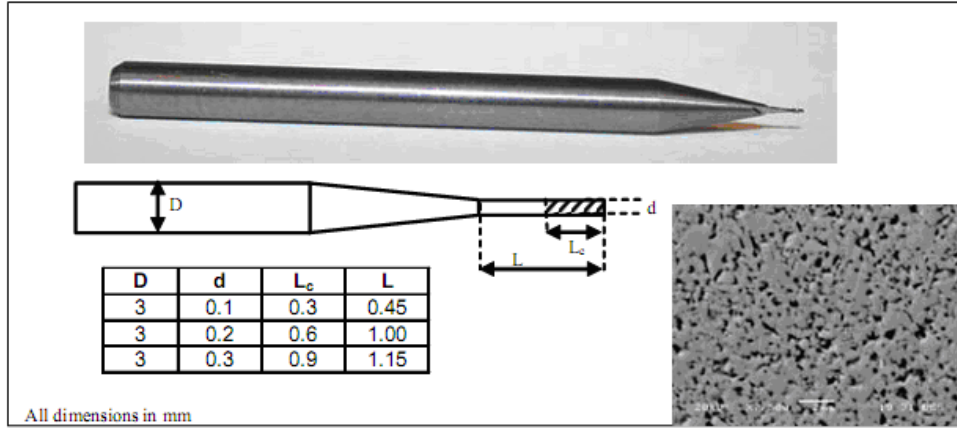
Yüksek hassasiyetli tezgâhlarda yüksek rijitlik, damping, sensör ve tetikleyicilere bağlı olarak hassas hareket edebilme yetenekleri gibi avantajları vardır (Takeuchi, Sakaida, SawadaSata, 2000). Bununla birlikte, büyük ölçekli ve hassas kontrollü tezgâhlarda, mikro parçaların imalat maliyetleri çok yüksek olmaktadır. Aşağıdaki Resim 1.7’de piyasada mikro parça imal eden tezgahlardan örnekler verilmiştir (Chae, 2006).



Resim 1.6 Çeşitli mikro imalat tezgâhları (Chae, 2006)

Bir kısım kesme takımı üreticileri yarıçapı 0,1mm’ye kadar ve özel durumlarda 0,01mm’ye kadar küçüklükte kesme takımları sunmaktadır. Çok küçük kesici takım kullanılan tezgâhların imalatının artması önemi, mikro kesici takımlarda uzmanlaşan firmaların sayılarının artmasına neden olmuştur. Bu küçük kesici takımların neredeyse gözle görülemeyecek kadar küçük olduğundan, etkin olarak kullanılabilmesi için doğru prosedürlerin uygulandığından emin olmak gerekir. Mikro frezeleme için takım imalat firmaları çok aktiftir. Genelde iki farklı takım malzemesi kullanılır: elmas ve tungsten karbür. Elmas takımlarda kesme kenarı yarıçap etkisinden kaçınmak için yaklaşık olarak atomik kesme kenarı keskinliği vardır. Fakat demir dışı malzemelerde sınırlıdır ve neticede çelik takımlar mikro kalıplar için uygun değildir. Sinterlenmiş tungsten karbür takımlar küresel ve düz iki kanallı çakıların (Şekil 1.4) kaplanmasıyla yapılır: TiAl, TiAlN, DLC, vb. Her durumda görünmesi sınırlı ve farklı malzemelerde farklı geometride (yüzey açısı seçimi, helis açısı, eğim açısı veya diğer geometrik parametreler) opsiyonları yoktur.

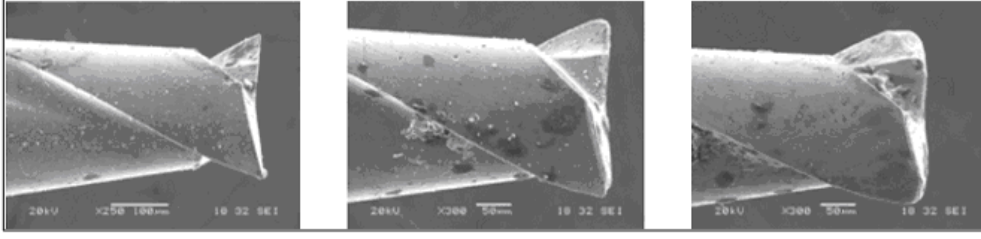
Ayrıca takım geometrisi yüksek dispersiyon sunar, bu konu uzun süren imalat süreçlerinde takım değişikliği için önemlidir (Lacalle and Lamikiz, 2009).



Şekil 1.4 Bir mikro freze çakısının standart ebatları ve mikro yapısı (Lacalle and Lamikiz, 2009)

Takım performansında tane yapısı ve homojenliği önemine işaret eder, ve köşe yarıçapları minimum limitlerde yapılabilir, yeni takımlar için 2–4µm arasındadır. Yukarıdaki Şekil 1.4 de gösterilen takımın karışım oranları kobalt %7.9 ve tungsten %92.1'dir. Tane büyüklüğü 0.25µm ile 2µm arasında değişir.

Takım değişimi kritik bir operasyondur takımın boşa çalışmaması için, takım yüksekliği ve takım yuvası değişimi, böylece gerçekleştirilen işlem dikkatlice çakının sap kısmı, konisi, takım ağzı temizlenmeli vidaya uygulanan tork kontrol edilmelidir. Takım aşınması kesici köşe profilinin değişmesidir ve neticede mikro parça hassasiyet ve pürüzlülüğü zarar görür, kesme kuvvetleri ve vibrasyon artar ve çapak etkisi tetiklenir; en son zararlı etkisi çapaktır. Çünkü son işlemdir, her zaman mikro imalatla çapağın alınması mümkün olmaz. Resim 1.8'de gösterilen takımın değişimi AISI H13 çeliğinin 54 HRC sertlikteki malzemenin işlenmesinde oluşan takım aşınmasıdır. Slot açma sürecinde Ø0.2mm çapında iki ağızlı tungsten karbür takım kullanılmış, TiAlN ile kaplanmış (Lacalle and Lamikiz, 2009). Resim 1-8'de takımın bozulması görülmektedir; a'da takımın orijinal hali b'de 0.2mm³, c'de ise sonradan 1mm³'lük hacim kaldırılmıştır. Takım ile 60HRC sertliğine sahip çelik malzeme işlenmiştir.



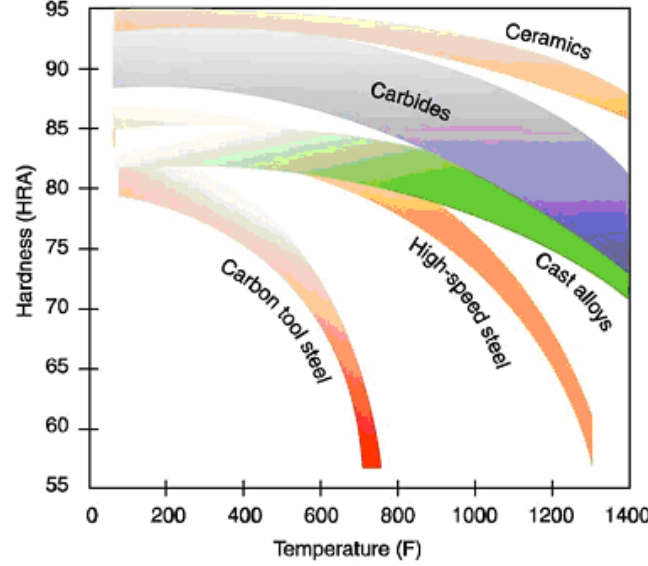
Resim 1.7 Takım Aşınması (Scale çubuğu 50μm) (Lacalle and Lamikiz, 2009)

Kesme koşulları olarak spindle 60000dev/dak, derinlik 10 μm ve diş başına ilerleme 0,4μm'dur. Bazı mikro frezeleme durumlarında aşınma kesme köşe alanında görülmez, fakat işlene alanda görülmesinin nedeni yüksek takım sapmasıdır (Lacalle and Lamikiz, 2009).

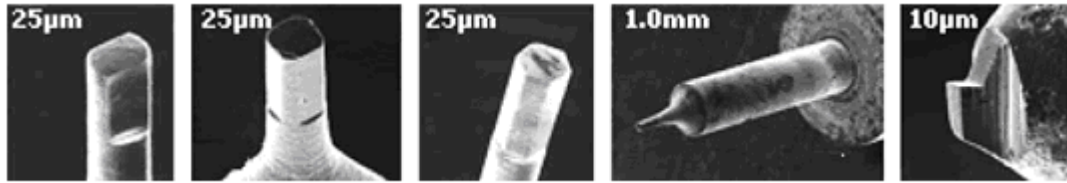
Hassas Mikrokesme takımlarının ebatları, mikro parçaların boyutlarını ve hassasiyetlerinin sınırlarını belirler. Daha küçük takımlar, boyutlarına göre daha az ısıl genleşmeye, kısa oldukları için daha yüksek statik rijitliğe, doğal frekanslardan dolayı daha yüksek dinamik stabiliteye ve daha az miktarda materyal ile üretildikleri için daha düşük maliyete sahiptirler (Cox, Newby, ParkLiang, 2004). Yüksek hassasiyetli makinelerde genellikle elmas kesiciler kullanılır, fakat demir içeren materyalleri işlemede bunların yetenekleri sınırlıdır. Demir ve elmas arasındaki yüksek kimyasal afinite (ilgi) yüksek aşınma sebebidir (Kalpakjian and Schmid, 2002; Shabouk and Nakamoto, 2003), bu sebeple kullanımı demir olmayan elementleri işlemede sınırlıdır. Bundan dolayı mikro kesici uçar ve mikro deliciler gibi genel olarak tungsten karbürden (WC) imal edilir ki bu takımlar sert ve sağlam oldukları için yüksek sıcaklıklarda (Şekil 1.5) çalışabilme özelliğine sahiptir (Kalpakjian and Schmid, 2002).

50μm'dan daha küçük çapa sahip olan takımlar, rijitliklerini korumaları ve üretim tekniklerinin sınırlarını düşürmek için, sıfır helis açılara sahip olmalıdır. (G. L. Benavides, 2001; Schaller, 1999). Onikura ve diğerleri(2000) aşındırma gücünü azaltmak için ultrasonik vibrasyonlu öğütme tekniğini kullanarak 11μm çapında bir mikro-karbür takım imal etmeyi başarmışlardır (Onikura, 2000). Sandia laboratuarlarında 25μm çapında ve beş adet kesici köşesi bulunan karbür freze ucu bir takımı iyon demeti yöntemi ile imal edebilmeyi başardılar (Resim 1.9). Bu

takımlar 25µm eninde ve genişliğinde mikro kanalların açılmasında kullanılmıştır (Adams, Vasileb, BenavidesCampbell, 2001).



Şekil 1.5 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kesme takımı materyalinin sertliği (Chae, 2006)



Resim 1.8 Mikro kesme takımının elektron SEM görüntüsü (Chae, 2006)

Schaller ve arkadaşları, elmas taşlama diski kullanarak mikro-tungsten karbür takım imal ettiler. Bu takımlar üzerinde tek köşe bulunan çakılardı ve ölçüleri ise 35–120µm arasında değişmekteydi (Schaller, 1999). Fang ve arkadaşları, sonlu elemanlar metodu ve doğrulanmış deneysel tahminleri kullanarak, çeşitli şekillerde (üçgen ve yarım daire) mikro karbür takımları üzerine araştırma yapmışlardır (Fang, 2005). Elde edilen bulgular yarım daire şekilli takımlar üçgen veya konvansiyonel iki kanallı takımlardan daha iyi olduğu gösterilmiştir. Onların sonuçlarında, takımların üzerinde sıfır helis açısı bulunduğu ve takım üzerinde talaş boşlatma kanalı olmadığından elde edilen yüzey kalitesi ise düşük olmuştur (Chae, 2006).

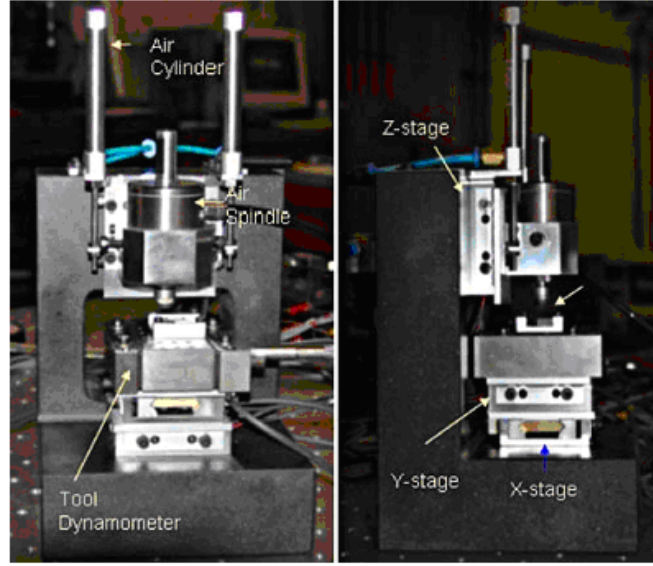
Mikro takımların malzeme ve şekiller mikro mekanik işlemler için büyük önem arz etmektedir. Üretilebilecek parça boyutu, mikro takımların ebatlarıyla sınırlıdır ve çeşitli mühendislik alanlarında genelde tungsten karbür takımlar kullanılmaktadır. 50µm'den küçük çaplara sahip ve kesme köşelerinde helis açısı olmaksızın kesim yapılan birkaç araştırma yapılmıştır (Chae, 2006).

1.4. Mikro freze sistemleri

Mikro freze tezgâhları ilk olarak silikon katkılı elektronik kartların imalat süreçlerinde kullanmak amacıyla tasarlandı ve imal edildi. Makineye ait sistem Resim 1.10'da gösterilmiştir. Gösterilen makine hava tribünlü 130000 dev/dak'lık bir (mil) spindle'a sahiptir ve dışarıdan gelecek olan vibrasyonları engellemek amacıyla hava yastığına (Pnömatik Tezgâha) yerleştirilmiştir. Spindle (Milin hızı) devri havanın basıncı değiştirilerek ayarlanmaktadır. Malzemenin tutulduğu tablanın x-eksenindeki (adım) ve y-eksenindeki (normal) hareketi için piezoelektrik actuators(ivmelendirici), z-eksenindeki hareket için ise mil kullanılmıştır. Kontrol sistemi için, mikrolineer enkoderler kullanılmıştır. Spindle'daki devir hızını okuma işlemi için dijital bir takometre kullanılmıştır (dev/dak olarak). Kesme kuvvetleri, actuators platformuna monte edilmiş, Kistler 9256C1 triaxial yük hücresi kullanılarak ölçülmüştür (Rusnaldy,Ko and Kim, 2008).

Mikro-freze makinesinin kontrol sistemi aşağıdaki Şekil1.6'da gösterilmiştir. Sistemin ana fikri, bir piezoelektrik elemanın kaymasını kullanarak, tablayı x ve y yönlerinde ve bir spindle'ı ise z yönünde hareket ettirmektir (Resim 1.10). Elde edilen kayma, yaklaşık olarak uygulanan voltajın doğrusal bir fonksiyonudur. Platformu hareket ettiren kumanda, görsel geribildirim yazılım programı (Visual C++ v.6) ve bir PC'de yazılmıştır. Bir PC ile yönetilen sistemin ürettiği dijital sinyalleri analoga çevirmek için, her analog çıkış kanalı için 14-bit sağlayan bir dijital-analog (D/A) kart (Advantech, PCI-1724U) kullanılmıştır. D/A kartı 0–10 Volt aralığında çıkışlar üretmektedir. D/A çevirici (konverter) her üç platform için, 14-bit DAC'lar

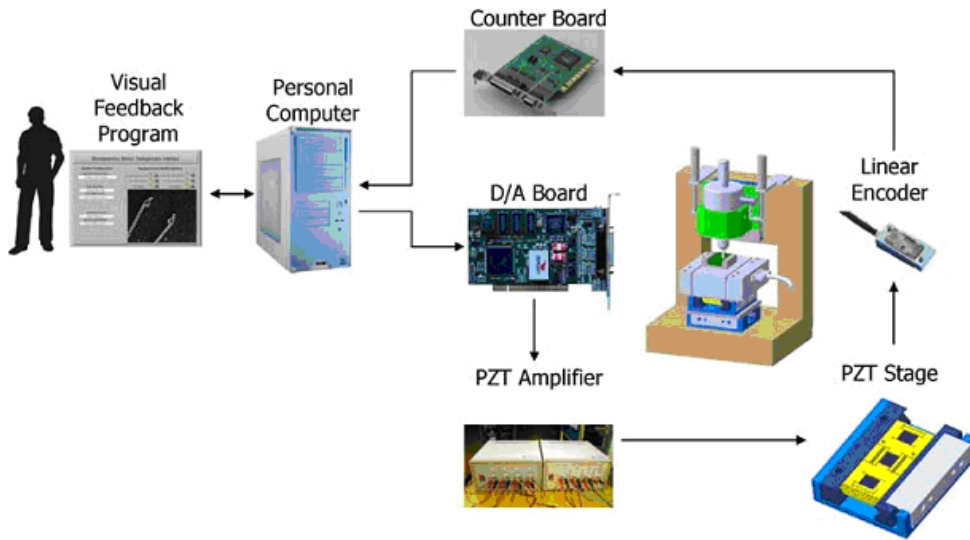
ile çalışmaktadır. Her DAC 4 kanal için 0–100 Volt aralıklarında çıktı üreten voltaj yükselticiler içermektedir.



Resim 1.9 Mikrofreze makinesinin resmi (Rusnaldy, 2008)

Piezoelektrik materyali kontrol etmek için yüksek voltaj kuvvetlendiricileri kullanılmıştır. Piezoelektrik elemanın küçük hareketleri, $0,05\mu\text{m}$ çözünürlük sunabilen bir Lineer Kodlayıcı (encoder) Sensörü (LIK 21, RSF) kullanılarak ölçülmüştür.

Sensör aralarında sabit bir boşluk bulunan iki paralel iletken plakadan oluşmaktadır. Lineer Kodlayıcının ‘çıkış’ sinyali PC içerisine yerleştirilmiş özel bir kart ile (IFC 430R, RSF) algılanmaktadır (Rusnaldy, 2008).



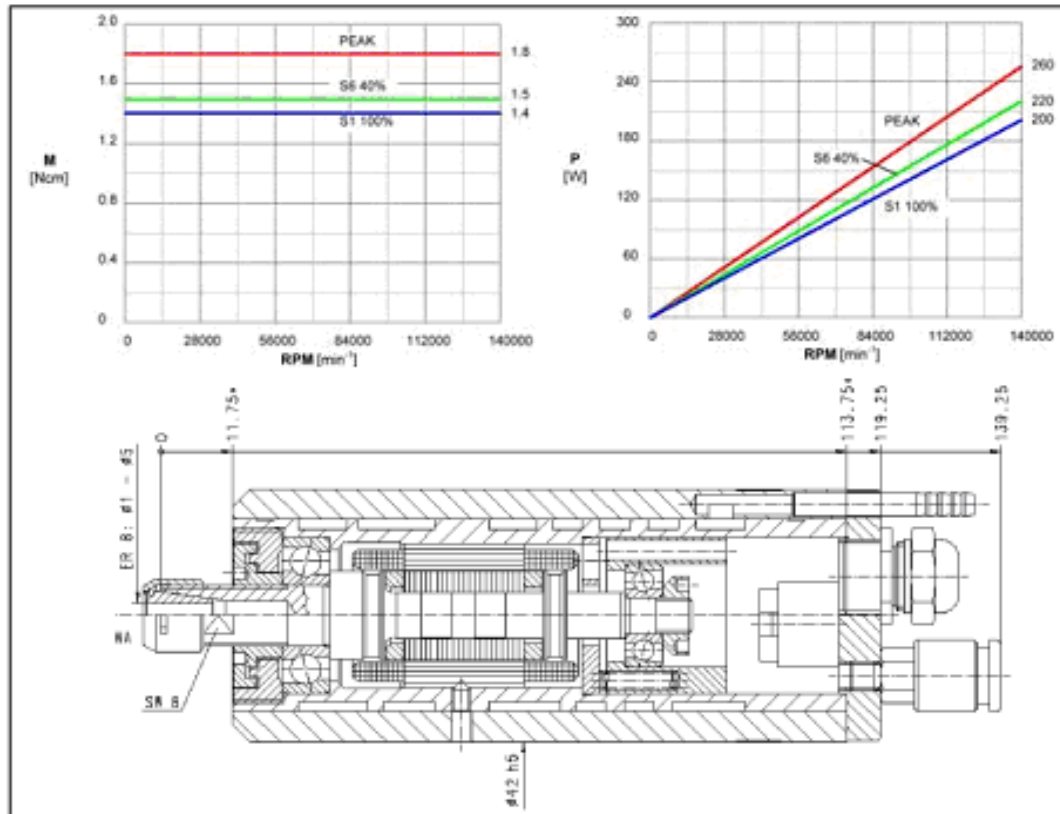
Şekil 1.6 Mikro-Freze Sisteminin Kontrol Sistemi (Rusnaldy, 2008)

1.4.1. Spindle Devri Ve Spindle Konisi

Standart çözümler bilyalı rulmanlar tarafından başarılmıştır. Birkaç spindle tasarımcı ve imalatçı yüksek devirleri destekleyen ve yüksek rijitliği olan çok düşük açısallık kayma yaşayan spindle'lar geliştirmişlerdir. Küçük takımlar kullanılan kesmelerde, çoğu materyali kesebilmek için gerekli kesme hızlarını elde edebilmek amacıyla, yüksek kesme hızlarına (120,000~160,000 dev/dak) çıkabilmelidir. Hız bir yana, yüksek hassasiyetli bir kesimi garantilemek için spindle bükülmez (25 N/μm'den daha az bükülmeli) olmalı ve 1μm'den daha az kayma hatası vermelidir. Yüksek hızlara ulaşmak için, spindle seramik bilyalı rulman olmak zorundadır ve sürekli olarak soğutulularak yağlanmalıdır. Bu tarz spindle'lar aerostatik yada düşük elektrik tüketimine (200 ~500 W) elektro-spindle'lara sahiptir. Takımlar genelde açısallık kaymaları azaltmak için özel halkalar ile manüel olarak sabitlenir.

Hassasiyet için yaygın kullanılan halkalar "ER tipi" halkalar ve süper hassas ER tipi halkalar kullanılır. Hassasiyet halkaları çenelerin çapına bağlı olarak büyük açısallık hatalar olabilir ve süper hassas halkalar 2μm'den daha düşük hatalar sunar. Mikro işlemede takımların aşınması oldukça yüksektir, bu sebeple her operasyon için 2 yada daha fazla çakı kullanılır (birisi kaba işleme için diğer bitirme için). Takımların değişmesi ise, takımın kayması, yüksekliği ve halka kaymaları değişeceği için kritik bir işlemdir. Bu sebeple, takım değiştirmesi sırasında tüm sapların, halkaların,

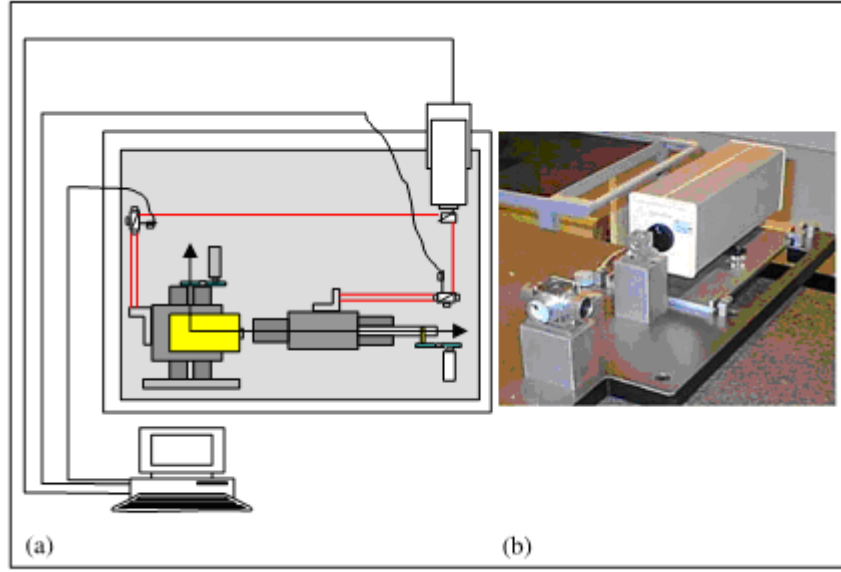
takımların ve somunların dikkatle silinmesi ve tork uygulanması yapılmalıdır. Şekil 1.7’de, spindle devri 14000 dev/dak ile 140000 dev/dak arasında devir yapabilen ve maksimum 200W enerji tüketen seramik açılal bilyalı rulmanlı spidle gösterilmektedir. Nominal tork sadece 1,4N’dur, fakat yüksek mikro frezelemeler için yeterlidir. Rulmanlar havalı devamlı yağlamaya sahip ve stator bölümü ise su ile soğutulmaktadır.



Şekil 1.7 Spindle Güç-Devir Grafikleri (Lacalle and Lamikiz, 2009)

1.4.2. Ölçüm Sistemleri

Mikro-freze makinelerinin ilk uygulamaları, bir lazer deplasman ölçer pozisyon kontrolünde kullanılmıştır. Örneğin Şekil 1.8’de 3-eksenli hareket sütunlu mikro freze makinesi ile He-He Michelson tipi (wavelength 632 nm, red colour) bir lazer deplasman ölçer, düzlemsel optikli heterodin ve bir 9 mm kiriş kullanılan bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.8 Mikrofrezeleme için lazer deplasman ölçer, a) Konfigürasyon, b) Makineye uygulanması (Lacalle and Lamikiz, 2009)

Yukarıdaki sistem, $0,5\mu\text{m}/\text{m}$ nihai pozisyon belirsizliği ile 2.5nm çözünürlüğü başarabilmektedir. Bununla birlikte, bu sistem ticari NC ile uyumsuz, özel bir yakalama kartına ihtiyaç duymaktadır.

Bu gibi sistemler için, atmosferik hatanın telafi kaynağı belirsizdir. Hata değeri telafi metoduna bağlıdır, lazer operasyonları atmosfer içinde yapılır ve lazer operasyon sürecinde atmosfer şartları değişir (Lacalle and Lamikiz, 2009). Bununla birlikte enson lineer optik ölçüm gelişmeleri birçok endüstriyel uygulama için çok uygundur. Sistemlerin sağlamlığını daha sonra temin ederler, lazerdeki gibi kiriş kayıpları yoktur; ticari NC'ler ile de uygun çalışırlar, üç ve beş eksenli lineer ve dairesel interpolasyonlardada ölçüm yapabilirler. Ayrıca makinenin aynı seviyede kullanılan lazer ölçümü son doğruluğudur. Ticari ölçeklerde yapılan çözünürlükler sırayla $0.01\mu\text{m}$ ve $0.1\mu\text{m}$ 'dir. Sistemlerin ana gereksinimleri makinenin içine dikkatli bir şekilde monte edilmesi ve temizliğinin iyi bir şekilde yapılmış olmasıdır (Lacalle and Lamikiz, 2009).

1.5. Mikro Kesme

Mikro kesme işlemi konvansiyonel kesme işlemi ile büyük benzerlik gösterirler. İş parçasının yüzeyinden mikro takımlar ile mekanik olarak talaş kaldırılır. Mikro makineler, ebatlarındaki önemli küçülmeden dolayı Konvansiyonel makinelere benzemez. Talaş üzerindeki yapılan araştırmaların çoğu konvansiyonel yüksek hassasiyetli makinelerde sertleştirilmiş çelikler üzerinden elde edilmiştir. Yuvarlatılmış çakılar ve minimum talaş derinliği kullanılan çok az sayıda yayın mevcuttur (Lucca, Rhoter and Komanduri, 1991; Tonshoff, 1988; Vogler, Liu, Kapoor, Devor, Ehmman, 2002). Genelde, Takımın kesici köşelerinin derinliği kaldırabileceği talaş kalınlığından daha derindir, bunun nedeni ise takımın plastik deformasyonu veya kırılmasıdır. Konvansiyonel makine takımlarının kesici köşe modellerine karşın, mikro üretimdeki talaş kayması, yuvarlatılmış takım köşesi boyunca gerçekleşir (J. D. Kim and Kim, 1995). Sonuçta kesmede, kazıma ve kayma kuvvetlerinin şiddetini büyük ölçüde etkileyen, büyük negatif bir eğim açısı vardır. Bu yüzden çok sayıda malzeme türleri arasından, çıkartılan malzeme miktarı az olduğu için, tamamıyla plastikler içinde kullanılmaya başlanmış ve plastik işleme üzerine belirgin bir artış olmuştur (Shaw, 1995). Ek olarak talaş kalınlığı kritik talaş kalınlığının altına indiğinde, kesme anında talaş olmayabilir, bunun yerine iş parçası elastik olarak deformasyona uğrar. Isıl işlem çeliklerinde, yüksek frekans kuvvet değişimindeki (10 kHz üzeri) dalgalanmalar nedeniyle testere-dişi şeklinde talaş formasyonu olur (J. D. Kim and Kim, 1995). Kesme kuvvetlerinin artması takım aşınmasının hızlanmasına, geniş takımın sapmasına (deflasyon) neden olur (Vogler, Devor and Kapoor, 2003; Weule, Huntrup and Tritschler, 2001). Mikro işlemlerde, homojen olmayan malzemelerin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde çok büyük etkiye sahip olduğu iyi bilinmektedir (M. P. Vogler, 2003).

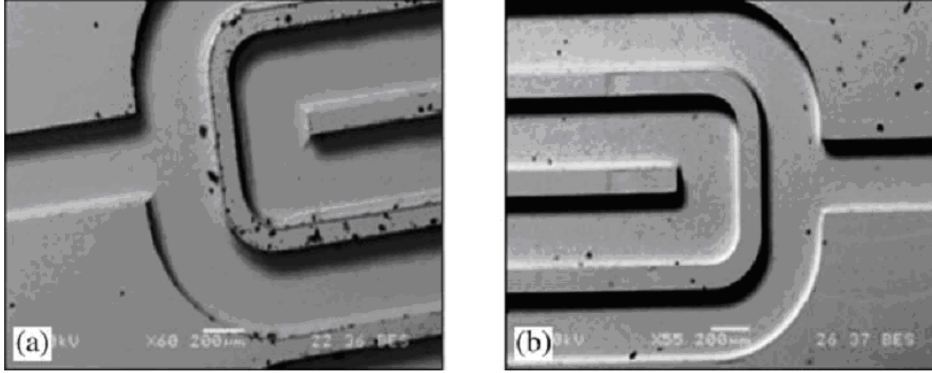
Parçaların miniatürize edilmek istenmesi, Mikro-frezelemeyi de kapsayan mikro teknolojinin gelişmesinde neden olmaktadır. Bu teknik, konvansiyonel frezeye benzemesine rağmen, ebatlardaki önemli küçülme (yaklaşık olarak 1/40) kesmenin kendisi ve mekanizmalarında konvansiyonel ölçekte hiç karşılaşılmamış durumların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu ölçeğin küçülmesi mikro frezenin bazı parametrelerinde görülebilir: diş başına 1µm'den daha az ilerleme, 2-15µm arası kesme derinliği, 50.000dev/dak'dan fazla spindle devri ve 0.3mm'den daha küçük

takım çapı. Frezelerin kendisi bu uygulamalar için yüksek hassasiyet gereksinimleri (0.1µm civarında) göz önüne alınarak özel tasarlanmalıdır (Lacalle and Lamikiz, 2009).

Mikro frezelemede başlıca problemler kesici takımlardan kaynaklanır. Bunlar boyut, aşınma, sapma (Uriarte, 2007), hassasiyet ve kesme süreçlerinin doğasından kaynaklanan ilk ve en önemli sorun olan yok edilmesi zor yüzey pürüzlülüğü gibi sınırlamalardır (Resim 1.11). Çok küçük kesici takımların bir diğer düşmanı da vibrasyon olduğu anlaşılmıştır. Makine dışından kaynaklanan titreşimlerin makineye ulaşmasını engellemek stratejilerden biridir. Makinenin içinden kaynaklanan titreşimleri yok etmek diğer bir yöntemdir. Çok sayıda çalışmada mikro frezelenmesinin geçerliliği ve sorunları ele alınmıştır (Friedrich, 1998; Schaller, 1999; Weck, 1997; Weule, 2001). Konvansiyonel frezelemenin sonuçlarının doğrudan mikro frezeeye uygulanmasını engelleyen bazı özel durumlar mevcuttur. Diğer bütün makine operasyonlarında olduğu gibi devir, ilerleme hızı, kesme derinliği, soğutma uygulamaları ve talaş tahliyesi dikkat gereken konulardır. Bununla birlikte, mikro freze uygulamaları yeni bir saha olduğu için, bu kadar küçük takımlar için makine parametreleri oluşturmaya yetecek kadar bilgi birikimi mevcut değildir. Kullanıcılar deneme yanılma yoluyla neyin işe yaradığını keşfetmek zorunda kalmakta, elde edilen bu deneyimler sonradan sıkı korunan sırlara dönüşmektedirler. Çözüm, boyutlardaki olağan üstü küçülmeden kaynaklanan üç farkı bulunduran özel kesme modelleri geliştirilmesine bağlıdır:

- Takımların boyutları küçülüp, etkileri daha önemli olmaya başladıkça, mikro parça materyallerinin mikro yapıları homojen olduğu varsayılammamaktadır (Chuzhoy, 2003; M. Vogler, 2003; M. P. Vogler, 2003).
- Kesme ucunun yarı çapı ihmal edilemez; çünkü bu talaş oluşum mekanizmasını etkiler (Basuray, 1977; Lucca, 1993; Yuan, 1996). Minimum talaş kalınlığı bu parametrenin bir fonksiyonudur ve iki kesme durumu arasındaki geçişi belirler: talaş üretildiği ve kazımanın yapıldığı yerler (J. D. Kim, 2004).
- Yüksek takım uyumluluğunun ve kesme ucu yarıçapının nispi büyüklüğünün bir sonucu olarak, buna bağlı dinamik etkiler (Dow, Miller and Garrard,

2004), örneğin zorlanmış titreşim ve düzeltici titreşimler, konvansiyonel frezeden farklıdır (J. D. Kim, 2004).



Resim 1.10Çapak alma işlemi a) önce, b) final paso (Lacalle and Lamikiz, 2009)

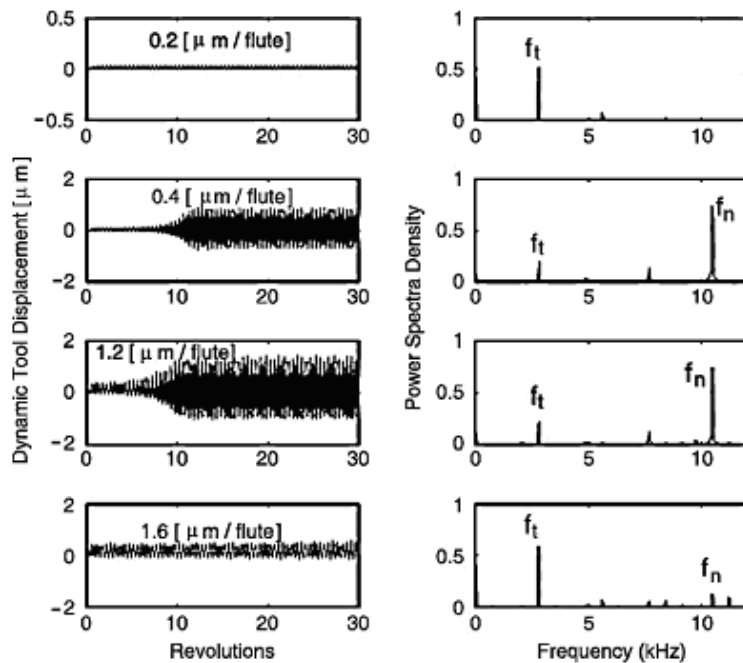
1.5.1. Mikro İşlemlerde Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri talaş formasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Kesme kuvvetleri, takım deformasyonunu ve ilerleme hızını sınırlayan eğilme gerilmesini belirler (Budak, 2000; Dow, 2004; B. Kim, Schmittiel, DegertekinKurfess, 2004). İyi Geliştirilmiş analitik kesme kuvvet modelleri, operatörün kendi sistemi için uygun koşulları seçmesine yardım eder. Kesme kuvvetinin iki farklı bileşeni vardır: kayma ve kazıma kuvvetleri. Mikro işlem uygulanmalarındaki talaş kalınlığı kesicinin kenar yarıçapları ile kıyaslanabileceği için, konvansiyonel kesiciler için geliştirilen köşe teoremler mikro işlemlere uygulanamaz. Ek olarak, iş parçasının elastik-plastik deformasyon özellikleri mikro işlemde kesme kuvvetlerini değiştirir.

Kim ve arkadaşları yaptıkları çalışmada analitik olarak makro ve mikro işlem süreçleri arasındaki kesme kuvvetleri farklılığı ortaya koydular (J. D. Kim and Kim, 1995). Makro modelde kayma gerilmesi kayma düzlemi boyunca yer alır, oysa mikro modelde kayma gerilmesi kesme bölgesindeki köşe boyunca artarak devam eder. Kim ve arkadaşları analitik dikey mikro kesme modelinde iş parçasının elastik iyileşme müddetinde takımın açık olan yüzeyinde ve kazıma etkisi olmaktadır. Elastik etkileri, kesme kuvvetini dört farklı bölgeye ayırıp simule ederek tahmin etmişlerdir. Moriwaki ve Lucca'nın (Lucca, 1991; Moriwaki and Shamoto, 1991)

deneysel çalışmalarına yakın sonuçlar bulmuşlardı ve kesme kuvvetlerinin kesici ağız modelinden farklı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Liu ve arkadaşları, düşük ilerleme hızlarında, takımda meydana gelen titreşimler ve iş parçasındaki elastik temperleme kesme kuvvetlerinin büyüklüğünü eklendiğini ortaya koymuşlardır (Liu, DeVor, 2004; Liu, Jun, 2004). Çalışmada mikro frezeleme süreçleri için üç farklı mekanizma önermişlerdir: sadece elastik deformasyon (kritik talaş kalınlığından daha az derinlikte meydana gelen), elastik ve kayma deformasyonu, ve sadece kayma deformasyonu (kritik talaş kalınlığından daha fazla derinlikte meydana gelen). Liu ve arkadaşları, Jardet (Jardret, Zahouani, LoubetMathia, 1998) ve arkadaşlarının çalışmalarını temel alarak, farklı deformasyon tiplerinin miktarını belirlemek için elastik oranını kullandılar. Ek olarak, Liu ve arkadaşları düşük ilerleme hızının etkilerini incelediler. Gerçekleştirdikleri çeşitli ilerleme hızlarında ve çok düşük ilerleme hızlarındaki deformasyonun sebebi olarak iş parçasının elastik deformasyon oranı olduğunu buldular (Liu, DeVor, 2004; Liu, Jun, 2004). Aşağıdaki grafiklerde farklı ilerleme hızlarındaki dayanıksızlık (kararsızlık-instability) Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9 Pearlit işleme için takım vibrasyon frekans spektrası (Chae, 2006)

Ni ve diğerleri, takımın konsol giriş olduğunu varsayarak, statik takım sapma etkisini araştırmışlardır (Bao and Tansel, 2000). Onların modeli istenen kesme derinliğinden, kesici takımının sapmasını çıkararak, aktüel(gerçek) kesme derinliğini bulmuşlardır. Dow ve diğerleri, mikro takımlardaki sapma hatalarını, kesme ve itme güçlerini tahmin ederek gidermişlerdir. Mikro-ebatlarda, kesme kuvveti takım sapmasını ve takım sapması da kesme kuvvetini etkilediği için, kesme kuvveti modellerinin bu kuplajı (karşılıklı bağımlılık) içermesi gereklidir (Dow, 2004).

Boa ve diğerleri, takım-ucu yolunu dikkate alarak ancak negatif eğim açısını, elastik-plastik iş parçasını ya da takımın sapmasını (nispeten daha büyük çaplarda takımlar kullandılar) dikkate almadan, talaş kalınlığını hesaplamak için bir analitik mikro-işleme kesme kuvvet modeli geliştirmişlerdir (Bao and Tansel, 2000). Chae ve diğerleri(2006)'ne göre, diş başına ilerleme ile takım ucu yarı çapı oranı 0,1 den büyük olduğu durumlarda, konvansiyonel makro-modellerinin (E. M. Kussul, 1996; Lacalle and Lamikiz, 2009), mikro-işleme süreçlerine uygulanmayacağını ifade etmiştir. Mikro-mekanik işlemede, takım kırılmalarını önlemek ve istenen tolerans seviyesini koruyabilmek için, kesme derinliği genellikle kritik minimum talaş kalınlığından daha küçüktür. Bu, takım ile iş parçası arasında geniş bir eğim açısının oluşmasına sebep olur. Geleneksel keskin-uçlu makro-kesme modelleri, mikro-işleme uygulamalarındaki kesme kuvvetlerini tahmin etmede kullanılamaz. Ek olarak, iş parçası materyalinin elastik-plastik etkileri ve takımın statik sapması, mikro-kesme kuvvet analizinden çıkarılamaz.

1.5.2. Teorik Kesme Kuvvetlerinde Dikkat Edilecekler

Kesme kuvvetlerinin sınır koşulları, takımın aşınmasına, takım malzemesine, işleme metodunda, kesme hızına ve takımın helis eğim açısıdır. Bu yüzden kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için hazırlanır, teorik kesme kuvvetlerinin hesabı uygulanmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçümüne paralel olarak, Victor ve Kienzle bu ölçümü uygulamışlardır (H.K.Tönshoff, 1990).

$$F_i = k_i \cdot a_p \cdot h^{1-m_i} \cdot K_{wv} \cdot K_{ver} \cdot K_v \cdot K_\gamma \cdot K_{ws}$$

K_i sınıflandırılmış özel kesme kuvveti, deforme olmamış talaş kalınlığına göre, 0.001mm ile 1mm arasında üçe ayrılmıştır, kesme kuvvetleri k_i ve meyil m_i 'nin her biri için farklı özel katsayıları vardır.

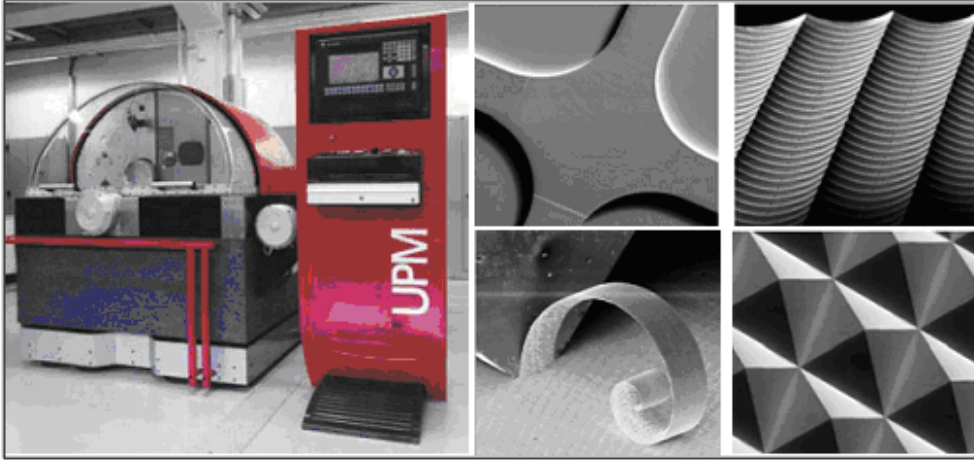
- K_{vv} (Influence of tool material) takım materyalinin etkisi
- K_{ver} (Influence of method) yöntem etkisi
- K_v (Influence of cutting velocity) kesme hızının etkisi
- K_c (Influence of rake angle) talaş açısı etkisi
- K_{ws} (Influence of tool wear) takım aşınma etkisi

1.6.Mikro Uygulamalar

Mikro freze uygulamaları çok çeşitlidir ve endüstriyel pazara yavaş yavaş girmektedir, bütün çalışma alanlarında çabalar katlanarak artıyor; kurumsal, deneysel, marketler, donanımlar vb (Schubert, 2007). Mikro frezeleme çok farklı malzemelerde kompleks 3 boyutlu parçalar işleyebilme konusunda göz alıcı yeteneğe sahiptir. Mikro frezelemenin bu yeteneğini minyatür plastik parçaların, plastik enjeksiyonu için kullanılan iyi detaylandırılmış bir kalıp üzerinde göstermek en iyi yol olabilir.

Çelik kalıplar için günümüzde mikro freze teknolojilerinin minimum ölçüleri 100µm seviyelerindedir. Bundan daha küçük ebatlarda makineler için tekrarlanabilirlik önemli bir sorun oluşturmaktadır. Maksimum ebatları bu seviyelerde olan kalıpların üretimi elbette sıradan değildir. Gerçekte küçük ebatlardaki kalıpların çoğu endüstriyel uygulamasında, mikro ölçekle ilgili az sayıda detaya yer verilir. Endüstriyel uygulamalar daha çok “mesoscale” üzerine odaklandıklarını söyleyebiliriz (Lacalle and Lamikiz, 2009).

Monokristalli (Resim 1.11) elmaslar kullanılan yüksek hassasiyetli kesimler, çok zor olduğu ve kesici köşeler atomik seviyede keskin olabileceği için, özel mikro kesme işlemleri için keskin köşelerin imalatı çok önemli bir görevdir. Ultrahassas işleme bileşenleri arasında demir-olmayan materyallerden yapılmış kalıplar vardır. Yüksek hassasiyetli freze yüksek hassasiyetli tornaya oranla daha çok esnektir.



Resim 1.11 Üç Eksenli, Elmas Takımlı Yüksek-Hassasiyetli Makine Ve Bazı Örnek Uygulamaları (Lacalle and Lamikiz, 2009)

Örneğin tek noktalı elmas fly-cutter olukları, kolon veya piramit şeklindeki yapıları meydana getirmek için, olukların içine açılı çizgiler açılmasına izin verir. Elmas kesiciler için alüminyum, bakır, pirinç, nikel gümüşü ve gümüş başlıca malzemelerdir (Uriarte, 2006).

1.7. Mikrofrezeleme Süreci Ve Sonuçları

Fenermiline monte edilmiş mikrofreze takımları, özel tasarlanmış, yüksek hassasiyetli mikrofreze/mikrodelme/mikroelektrik deşarj erozyon makineleri (Resim 1.13) ile kullanılmaktadır. Makine zemininde termal ve titreşim stabilizesini sağlamak amacıyla 1500 kg'lık granit yerleştirilmiştir. Hareketin pürüzsüzlüğü ve stabilizesini artırmak için bütün eksenlerde havalı rulmanlar kullanılmıştır. İş tablasını, X ve Y eksenlerindeki hareketi, 1.25nm hassasiyet sağlayan Lazer deplasman-ölçerli pozisyon kontrolüne sahiptir. İş tablası 150 mm toplam hareket alanına sahiptir. Frezenin x-eksenine bağlı spindle'ı, 0-20.000dev/dak aralığında kontrol edilebilmektedir. Ana Spindle'a bağlı olan mikrofreze kafası bu hızı, titreşimleri almak ve devri artırmak amacıyla silicon-kauçuk bazlı kayış mekanizması kullanılarak 38000dev/dak'e kadar artırır (Craig and Friedrich, 1996).

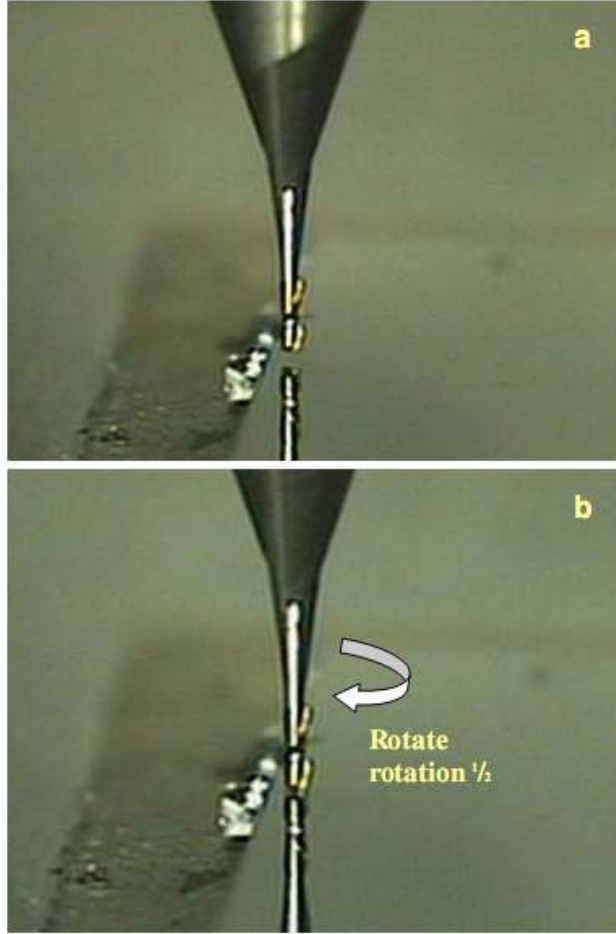


Resim 1.12 Yüksek Hassasiyetli Mikro Freze, EDM Makinesi (Craig and Friedrich, 1996)

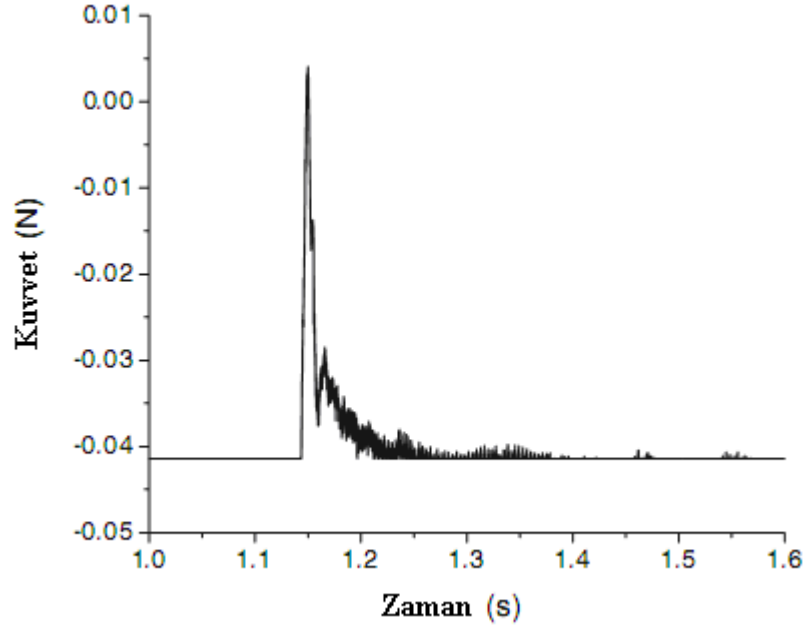
2. İŞLEM SÜRECİ

2.1.Mikro Frezelemede Sıfır Noktasının Belirlemesi

Mikrofrezeleme işleminde en önemli konulardan biriside sıfır noktası konumlamadır. Takım, işlenecek malzemeye temas halindeyken sıfırlama işlemi gerçekleştirilir. Derinlik belirlemede önem arz eden bir konu ve çok dikkat isteyen bir unsurdur. Takım, yüzey üzerinde, temas sağlanıncaya kadar, hareket yönünde çok küçük miktarda ($0,05 \mu\text{m}$) hareket ettirilir. Takım-iş parçası etkileşiminin genişletilmiş bir görüntüsünü elde etmek için bir Görüntüleme Sistemi kullanılır (Şekil 2.1). Takım iş parçasında yaklaştığında, takım elle yarım tur döndürülür ve teması onaylamak için dinamometre (Resim 2.1) kullanılır. Takım ile iş parçası arasındaki küçük sürtünme bir sinyal üretir ve bu sinyal kuvvetölçer ile ölçülür. Takım iş parçasına temas halindeyken z eksenı sıfırlanır. Küçük sürtünmenin meydana getirdiği sinyal Şekil 2.1 de görülmektedir (Rusnaldy, 2008).



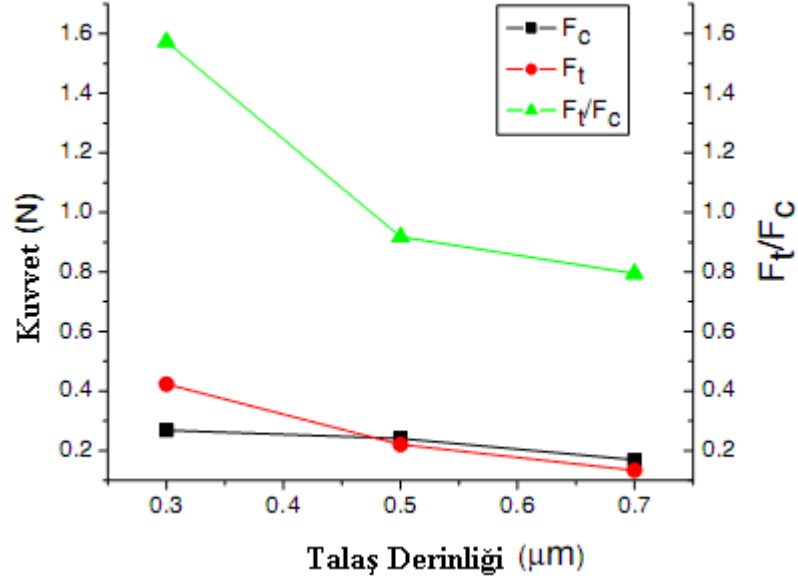
Resim 2.1 Takım a) İşparçasına Temastan Önce, b) İşparçasına Temastan Sonra (Rusnaldy, 2008)



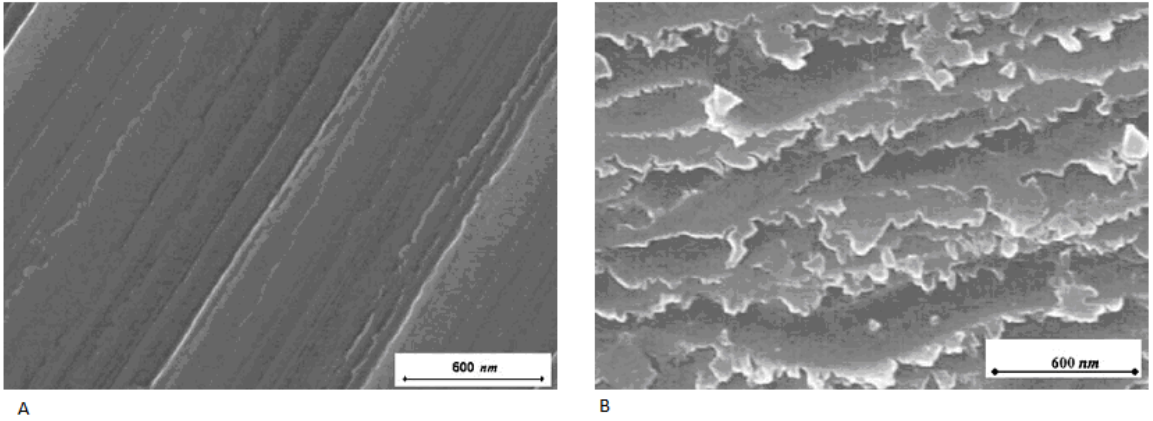
Şekil 2.1 Sıfır Noktasında Kuvvet (Z-Eksen Boyunca) X Zaman (Rusnaldy, 2008)

2.2. Kesme Derinliğinin Etkisi

Yapılan araştırmalarda, adım oranı $4 \mu\text{m/s}$ ve mil(spindle) hızı 100.000dev/dak olarak alınan kesme deneyleri yapılmıştır. Kesmenin eksen derinliği $0,3\text{--}0,7\mu\text{m}$ arasında değişiklik göstermiştir. Aşağıdaki Şekil 2.2’de eksen kesme derinliği ile kesme kuvvetlerindeki değişme gösterilmiştir. Eksen kesme derinliğinin $0,5\text{--}0,7\mu\text{m}$ olduğu aralıkta kesme gücünün itme gücüne baskın olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, kesme derinliğinin $0,3$ olduğu nokta, pasif kuvvetinin, asıl kesme kuvvetinden daha büyüktür, bu nedenle, kesme derinliği arttıkça, F_t/F_c oranı azalmaktadır (Rusnaldy, 2008). Yapılan çalışmada eksenel derinliği $0,3\mu\text{m}$ olarak kesim yapıldığında, $R_a=5,7 \text{ nm}$ ve $R_{\text{max}}=51,1 \text{ nm}$ olan pürüzsüz yüzey (Resim 2.2-a) elde edilmiştir. Kanal açma işlemi bu şartlar altında başarılı olmuştur (Rusnaldy, 2008).



Şekil 2.2 Kesme Gücünün, Kesme Derinliğine Göre Değişimi (Rusnaldy, 2008)



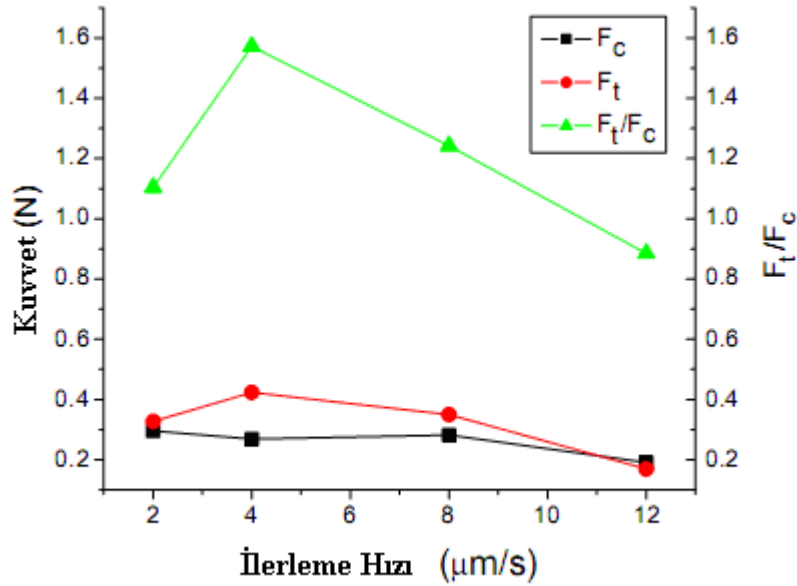
Resim 2.2 a) Haddelenebilir, b) Gevrek İşlenmiş Yüzey (Rusnaldy, 2008)

2.3. İlerleme Hızının Tahmini Ve İlerleme Hızının Etkisi

İlerleme hızı direkt olarak kesme kuvvetlerini etkiler, artan kuvvetler takımlarda büyük deplasman değerleri, hızlanan takım aşınmaları ve takımın kırılması ile sonuçlanmaktadır. Böylece uygun ilerleme hızının seçimi iş parçasının istenilen sınırlar içinde kalması için çok önemlidir. Mikro takımlar, özellikle karbür parmak fr, plastik frezeler plastik olarak şekil değiştirmezler genelde kırılırlar.

Fang'ın yaptığı çalışmada ilerleme hızındaki değişimin, silikon üzerine kanal açma işlemine etkileri, mil hızı 100.000dev/dak ve kesme derinliği ise 0,3 μm alınarak

incelenmiştir. Şekil 2.3 deki grafikte ilerleme hızına bağlı olarak kesme kuvvetleri değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.3’de görüleceği gibi, ilerleme hızının 12 $\mu\text{m/s}$ olduğu durum dışında, itme kuvveti kesme kuvvetinden fazladır. F_t/F_c oranı bakımından, başlangıçtaki yükselişin ardından, bu değer ilerleme hızı artarken azalmıştır. $F_t/F_c > 1.0$ olduğu noktada, kanal açma işlemi ağırlığını artırmaktadır. İlerleme hızı 2 $\mu\text{m/s}$ olduğu noktada, pasif kesme kuvveti asıl kesme kuvvetine baskın olsa da, işlenen yüzeyde pürüzsüz yüzey gözlenmemiştir. Kesilmemiş çok küçük bir çip(talaş) kalınlığında kesme yapılırken, kesme işlemi, geniş ters takım eğim açılarında gerçekleştirilmektedir (Fang, 2005). Bu durum rendelemeye sebep olacağından, yüksek sürtünmeden dolayı pürüzlü yüzey meydana gelecektir.

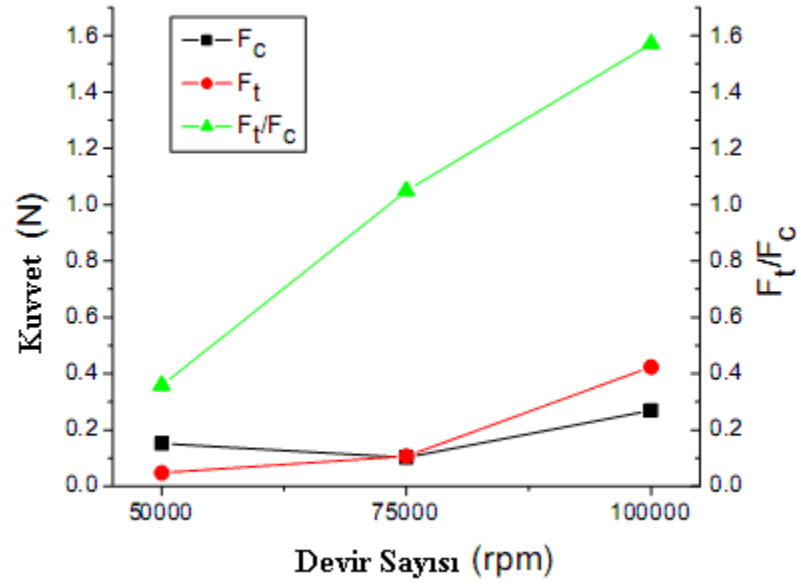


Şekil 2.3 İlerleme Hızına Bağlı Olarak Kesme Gücündeki Değişim (Rusnaldy, 2008)

2.4. Devir Sayısının Etkisi

Şekil 2.4’te verilmiş olan grafikte farklı devirlerde oluşan kesme kuvvetleri görülmektedir. Yapılan deneyde ilerleme hızı 4 $\mu\text{m/s}$ ve derinlik miktarı ise 0,3 μm olarak alınmıştır. Spindle devirleri ise 50000–100000 dev/dak arasında değişmektedir. Spindle devri arttıkça, F_t/F_c değeri artmakta ve pasif kuvvet (F_t) ise

daha az oranda artmaktadır. Yüksek devirlerde, itme kuvveti kesme kuvvetini geçmektedir. Bu durum ise, kesme modunun kanal modu olduğu gösterir (Rusnaldy, 2008).



Şekil 2.4 Spindle Hızına Bağlı Olarak, Kesme Kuvvetindeki Değişim (Rusnaldy, 2008)

2.5. Tane Boyutunun etkisi

Mikro işlemede mikro parçaların doğruluğu için iş parçasının doğal yapısını dikkate almak gerekir, kesme derinliği bazen iş parçasının tane büyüklüğünden daha küçük olması gerekir. İş parçasının homojenlik yapısının tahmin etmek yerine gerçek özellikleri dikkate alınmalıdır. Çünkü mikro tane yapısı sıklıkla aynıdır tane yapısı tüm kesme özelliklerini etkileyeceğinden kesicinin eğrilik yarıçapına da dikkat edilmelidir (Grum and Kisin, 2003). Mikro ve makro işlemler arasındaki fark budur. Makro işlemlerde daima malzeme izotropik ve homojen olarak varsayılır. Kesme işlemleri esnasında kristal yapının değişmesi mikro kesmedeki çeşitli kuvvetler ve vibrasyon üretilmesine neden olur. Takım tasarımının veya proses şartlarını değiştirerek vibrasyonu ortadan kaldırmak neredeyse imkansızdır, çünkü iş parçasından meydana gelmektedir.

Lee ve diğerkleri homojen olmayan malzemelerin vibrasyona etkisini incelerken alüminyum (tek kristalli (110) ve (111) düzlemi) malzemesini hassas işlemede kullanmışlardır. Kristal yapısının değışimi ve tane yöneliminin, kayma açısı ve gerilimini etkilediğini buldular (Lee,Cheung and To, 1999, 2002).

Grum ve diğerkleri tornadaki kesme kuvvetlerini iş parçasının sertliğine bağılı olarak araştırmışlardır. Farklı alüminyum ve silikon alaşımlı malzemeleri kullanarak, farklı mikro yapılarda kesme kuvvetlerinin elde etmeye çalışmışlardır. Bir takımını denerken bir fazdan diğerkine, kesme şartları değışti, işlemede hataya neden olan, vibrasyon ya da hızlanan takım aşınmasıydı (Grum and Kisin, 2003).

Vogler ve diğerkleri üç aşamalı görüntüleme sistemini farklı metalürjik yapıdaki (bilhassa çelik) malzemelerdeki kesme kuvvetleri belirlemek için kullanmışlardır (M. P. Vogler, 2003). Çelikteki ferrit ve perlit yapıların toklukları farklılık gösterir. Ve işlenen yüzeyin pürüzlülüğünde önemli bir yere sahiptir. Kesme katsayısı malzeme ile takımın temas ettiği kesici köşenin temas noktasındaki fazına göre değışti. Kesme katsayısının belirlenmesinde, anlık talaş kalınlığında kesme kuvvetleri tahmin edilebilir. İş parçasındaki homojensizliğin çaresini bulmak için, Weule ve diğerkleri mikro işlemlerde üniform metalleri önerdiler (Weule, 2001). Bunun içinde AISI 1045 çeliğini 180 ila 600⁰C arasında farklı sıcaklıklarda tutarak homojen hale getirilmiş iş parçası elde ettiler.

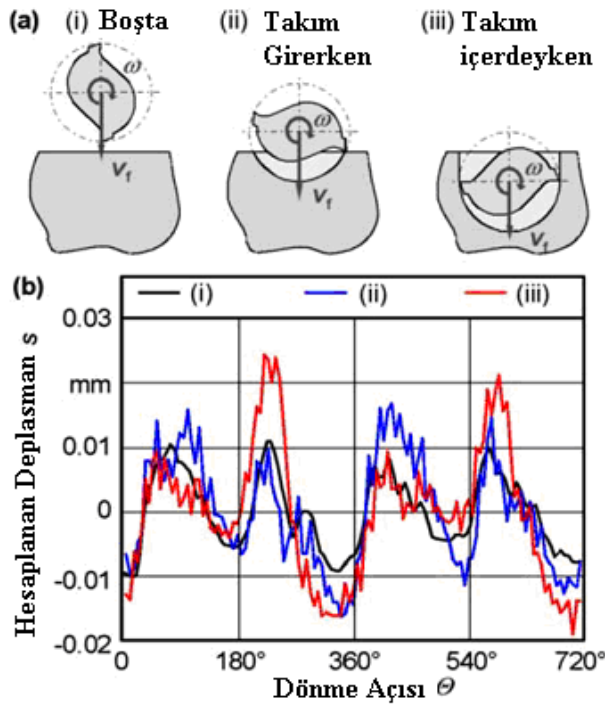
Mikro işlemlerdeki iş parçasında homojen olmayan malzemeleri dikkate almak gerekir tane ebatlarıyla talaş ebatları kıyaslanabilir. Eğer mümkünse, iş parçasının davranışını dikkate almak gerekir, üniform yapıdaki mikro yapıların özelliklerini izin verilen daha iyi kesme kuvvetleri tahmin için elde edilmeli (Chae, 2006).

2.6. Dinamik Yükleme Ve Gerilme Analizi

Gerçek takım yüklemesini belirlemek için, teknolojik araştırmaları yapılmıştır. Bütün test takımları, Byrne ve diğerklerine uygun olarak (Byrne,Dornfeld and Denkena,

2003) TiAlN ile kaplanmıştır. Tam kesit kesme ve takım çapı (D) derinliği kadar kesme gibi, kaba (Pürüzlü) frezeleme şartları seçilmiştir.

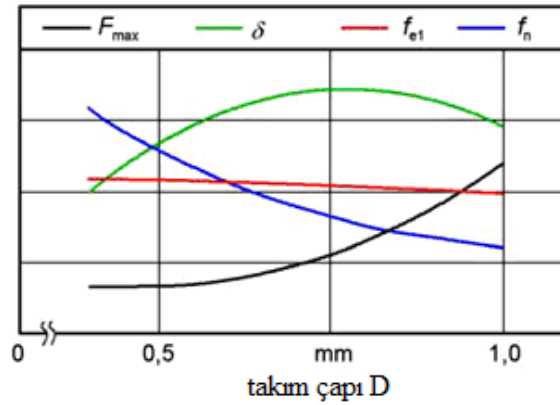
Süreç analiz metodu aşağıdaki Şekil 2.5 de örneklenmiştir. Bağlanma aşamasında mikro freze uçlarının deplasmanları (s), lazer titreşim ölçer ile ölçülen titreşim hızının (v) integrali ile hesaplanabilir. Şekil 2.5 b’de, iki devirde takım girişi için, hesaplanan deplasmanların (s) bölümleri karşılaştırılmaktadır. Idle sinyale (i) göre genlikteki artış aşikardır. Takım penetrasyonunun fazları arasındaki genlik farkları, takım sapmasının (deflection) derecesini göstermektedir. Idle operasyon (i) süresi içerisindeki ölçüm sinyallerinin hızlı Fourier dönüşümü aracılığıyla, mikro freze ucunun, ilk titreşim frekansı (first eigenfrequency - fe) de belirlenebilir. Ek olarak, takımın bir devrinin iki genliği arasında bir fark oluşturulabilir Bunun sebepleri, takımın kesici kenarlarındaki düzensiz aşınmalar, ya da takım kesitinin dönme eksenine kütlesi arasında, takımın imalatı esnasındaki var olan hatalardır. Şekil 2.5 b’de görüldüğü gibi, sürekli işleme alanı (iii), azami süreç gücünü belirlemede kullanılmıştır. Bir devir için iki genliğin farklı olduğu burada da görülmektedir (E Uhlmann and Schauer, 2002).



Şekil 2.5 Malzeme Takım Konumuna Göre Deplasman Değerleri (E Uhlmann and Schauer)

Çizelge 2.1 Takım Çapına Ve Kuvvete Bağlı Frekans Tablosu (E Uhlmann and Schauer)

takım çapı D (mm)	uygulanan en fazla yük F _{max} (N)	takım deform asyonu (μm)	birinci eigen frekansı (Hz)	uyarım frekansı (Hz)
0.4	3.0 - 3.5	9 - 12	5,460	1,060
0.5	3.8 - 4.5	11 - 15	5,330	850
0.8	5.8 - 6.3	16 - 22	5,240	530
1.0	11.5 - 12.5	11 - 15	4,930	424



Şekil 2.6 Takım Çapına Ve Kuvvete Bağlı Frekans Grafiği (E Uhlmann and Schauer)

Şekil 2.6 aynı şartlar altına takım çapına bağlı kıyaslanabilir sonuçlar verilmiştir (E Uhlmann and Schauer, 2002). Tüm deneyler için işleme şartları aynıdır. Kesmenin genişliği (a); takım çapı (D) ile aynıdır. Spindle hızı (n) sabit kesme hızı (v) elde etmek için, ölçeklenmiştir. Spindle hızındaki (n) bir artış, ölçülmüş ilk vibrasyon frekansına (eigenfrequencies – f_e) çok yakın olan, mikro freze uçlarının frekanslarında (f_n) tahrike sebep olur. Tahrik frekansı (f_n), spindle hızı (n) ile kesme kenarları sayısının (z) çarpımıdır. Özellikle yüksek kesme hızları (v) ve minimum takım çapları (D) için, spindle hızı (n) arttıkça, kritik tahrik oluşabileceği söylenebilir. Kesme kenarının yuvarlaklığının (r_p) artan etkisi, yüksek takım yüklemesine sebep olur. Hatta en küçük takım çapları (D) kullanılsa bile (Weinert, Kahnis and Kohler, 2003). Eğer FEM gerilme simülasyonunda sınır koşulları için teknolojik araştırmaların sonuçları kullanılacak olursa, yiv uzunluğu boyunca değişen, sık takım başarısızlığının sebepleri görülebilir (Şekil 2.5 b). Helezonik yivlerin en geniş olduğu yerde yük de en yüksek değerini aldığı için, mikro freze uçlarının stabilitesi oldukça düşüktür. Daha ileri bir etki ise, kompleks takım yüzeyine yerleşmiş mikrotopografyadaki çizgilerin, bir çatlak şekline neden

olmasıdır. Bunun en önemli sebebi güçlendirilmiş karbürün çok kırılğan ve lineer elastiki açıdan hataya meyilli olmasıdır (Sailer, 2001). Böylece, bu mikro freze uçları, spontane gelişen, örneğin malzemenin makine içerisinde ilerleme hızındaki değişimler sırasında oluşabilecek, aşırı yüklemeleri telafi edemez (E. Uhlmann and Schauer, ; E Uhlmann and Schauer, 2002).

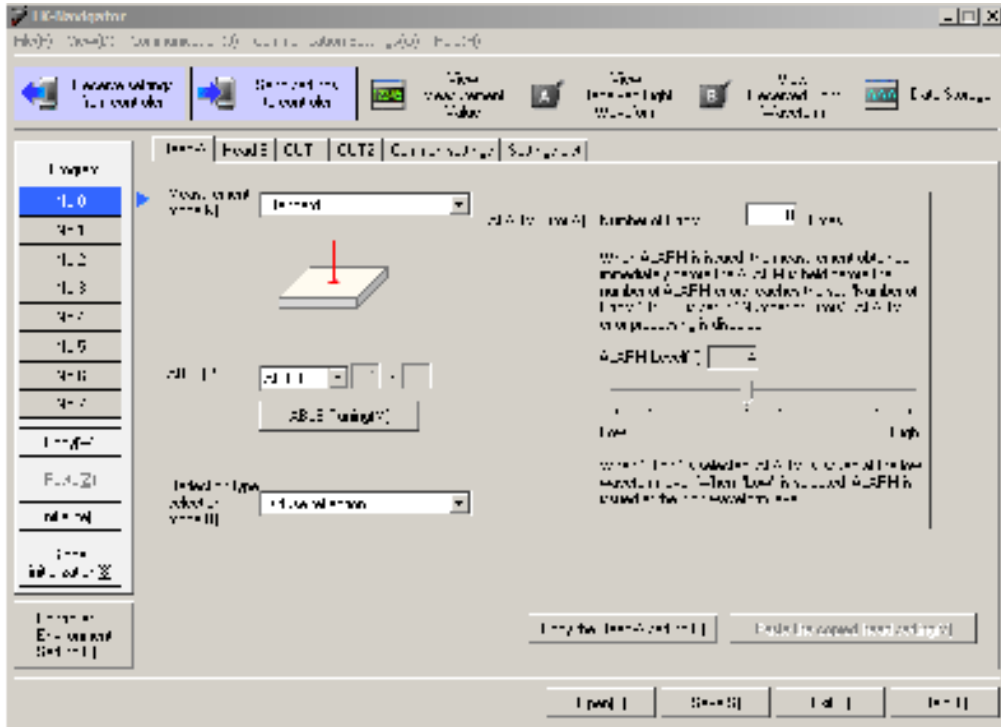
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Deneysel Çalışmalar.

Bu çalışmada iş parçası olarak AISI 1045 normunda bir çelik kullanılmıştır. Deney numunesi üzerinde farklı devir, ilerleme ve talaş miktarı uygulanarak TiAlN kaplamalı takım üzerine yük gelmesi sağlanmıştır. Kesme esnasında takımda meydana gelen deformasyon miktarı KEYENCE marka lazer (Resim 3.1) ile LK-NAVİGATOR arayüz (Resim 3.2) programı vasıtasıyla alınmıştır. Alınan data değerlerinin arayüz programda “mm” birimi üzerinden alınmış ve programda “avarage” özelliği vasıtası ile dalga genlikleri tek bir ortalamaoya dönüştürülmüştür. Lazerin ışığı takımın zeminin 1mm üzerine düşürülmüş ve takım-iş parçası etkileşim noktasından 1mm uzaktaki değerler alınabilmektedir.



Resim 3.1 Resim Lazer Mesafe Ölçüm Cihazı

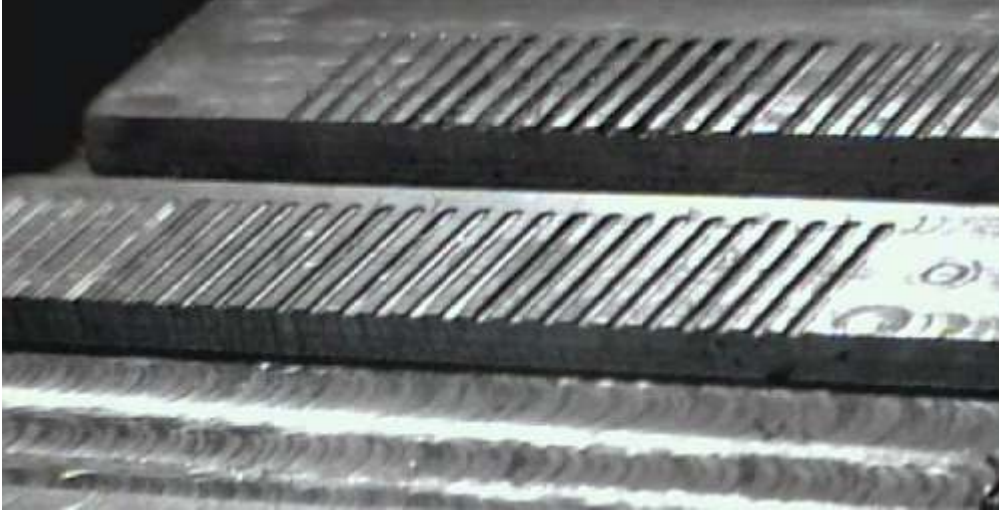


Resim 3.2 LK-NAVIGATOR Programı

3.2. Numunenin Genel Özellikleri ve Kullanım Yerleri

AISI 1045 malzemesi literatürde sıkça rastlanan, günümüz piyasa şartlarında kolayca temin edilebilen bir malzemedir. Malzemenin yaygın kullanım alanı ve iç yapıdaki homojenliği sayesinde elde edilen değerler diğer malzemelere kıyasla daha güvenilirdir. İçyapı üstünde yapılabilecek homojenlik değişimlerine daha elverişli olan ve kontrol edilebilmesiyle de deneysel çalışmalara daha uygundur. AISI 1045 çeliğin diğer konu başlıkları altında yapılan çalışmaların çokluğu da AISI 1045 çeliğin davranışları hakkında daha fazla bilgiye sahip olmamızı sağlamaktadır. Bu malzeme üzerine yapılan çalışmalar sayesinde diğer malzemelerde deneysel veya kullanım amaçlı çalışmalarda fikir kaynağı olabilmektedir.

Deneyde yapılan uygulamalar sonrası ve deney şekli aşağıdaki deneye ait resimlerde mikroskopik görüntüleri verilmiştir. Resim 3.3 de üzerinde açılmış olan kanallar 0,8mm genişliğinde ve deney parametrelerine göre farklı derinliklerde dir.



Resim 3.3 Deney Numunesi ve Açılan Kanallar (Büyütme 50x)

3.3. Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

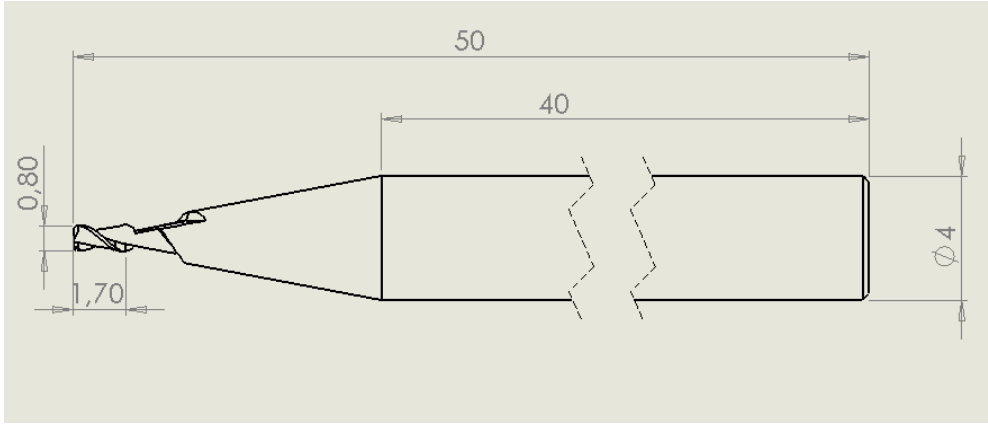
Yapılan çalışmada kullanılan takım üzerine değişik yük miktarları oluşturabilecek kesme parametreleri denenmiştir. Deneyde kullanılan bu parametreler takım imalatçı firmanın tavsiyeleri ışığında sonuçların kıyaslanabilmesi amacıyla orantılı miktarlarda artış tercih edilerek uygulanmıştır. Deneyde aynı kesici uç çapına sahip üç farklı kesici takım kullanılmıştır. Takımlardan kaplamasız olanlar deney parametrelerinin en alt seviyesine dahi dayanamadığı için deney sonuçları bölümüne eklenmemiştir. Deneyde shaft çapı ø3-4 (Resim 3.4) olan TiN (Çizelge 3.2) kaplamalı ve shaft çapı ø4 olan TiAlN (Çizelge 3.1) kaplamalı takım kullanılmıştır. TiAlN kaplamalı takım ile 96 farklı kesme parametresi kullanılmış, TiN kaplamalı takım ile TiAlN’de en yüksek deformasyon değerine veren 40 adet deney yapılmıştır.

Çizelge 3.1 TiAlN Deney Tablosu

DEVİR (dev/dak)	İLERLEME (mm/dak)	TALAŞ DERİNLİĞİ (mm)
8350	125	0,03
10800	150	0,06
13600	175	0,1
17875	200	0,125
		0,150
		0,175

Çizelge 3.2 TiN Deney Tablosu

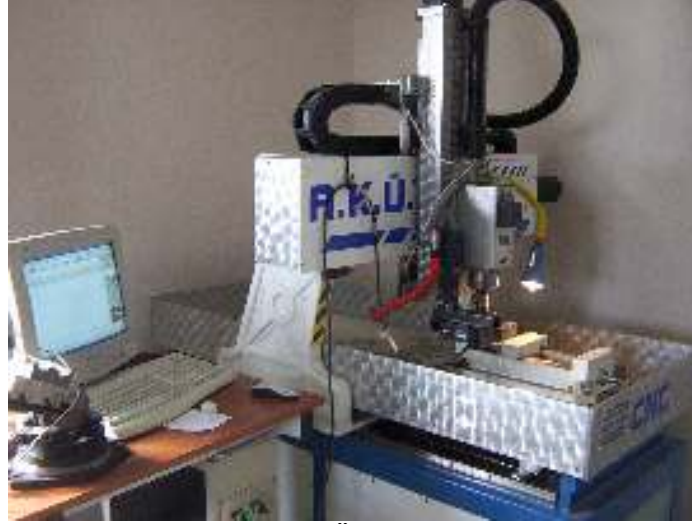
DEVİR (dev/dak)	İLERLEME (mm/dak)	TALAŞ DERİNLİĞİ (mm)
8350	125	0,03
10800	150	0,06
		0,1
		0,125
		0,150



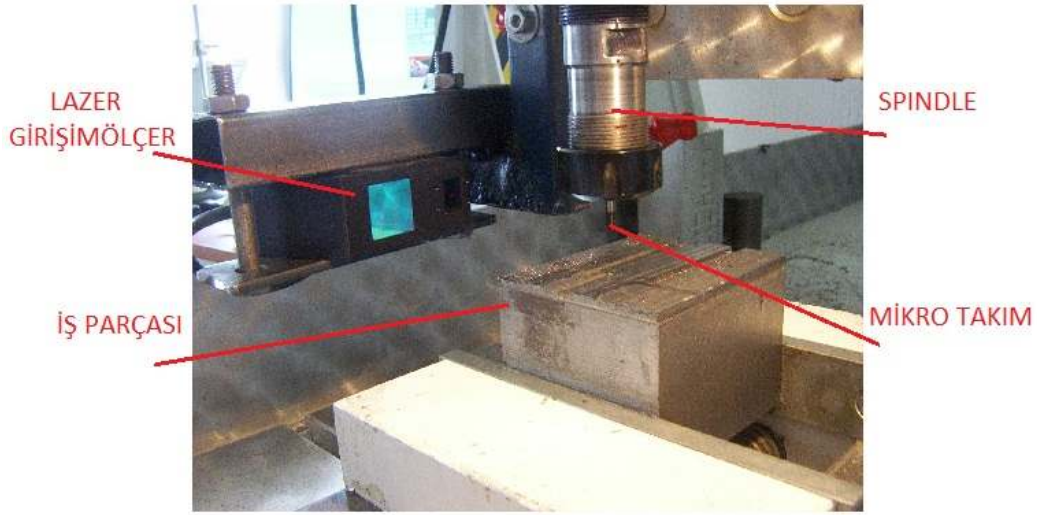
Resim 3.4 TiAlN-TiN Takım Parametreleri

3.4. Deney Düzeneği

Yapılan çalışma ve deney düzeneği Resim 3.5 da gösterilen 3 eksenli masa tip CNC’de gerçekleştirilmiştir. Mikro frezelemeye uygun “ER” tipi pens yapısına sahip olan CNC yaklaşık olarak 5500-18000dev/dak devir sunabilmektedir. CNC üzerindeki spindle 2.2kw motor gücü ile mikro işlemler için istenilen torku rahatlıkla sağlayabilmektedir. CNC’nin Spindle kısmına yakın bir noktaya monte edilen aparat sayesinde lazer girişimölçerin ışın demeti tam olarak çakının istenilen bölümüne yoğunlaştırılabilir (Resim 3.6). Deney öncesi yapılan denemelerde lazer cihazının ışın demetinin yatay olarak konumlandırılmasından dolayı, lazer mikrofrezinin uç kısmına odaklanamamış ve data değerleri alınamamıştır. Daha sonra lazerin ışık demetinin yapısı dikkate alınarak dikey konumlandırılmış ve data değerleri alınmıştır.



Resim 3.5 Üç Eksenli CNC



Resim 3.6 Deney Seti

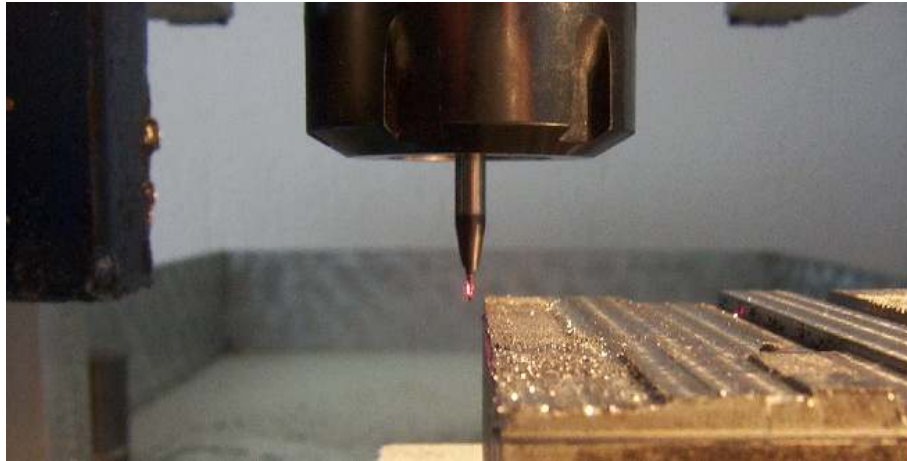
Deneylerde parça mengeneye bağlanma esnasında “komperatör” vasıtası ile yerleştirilmiş, manüel olarak parçanın taşlanmış olan yüzeyine göre terazi dengesi sağlanmıştır. Veri alma işlemlerinde talaş derinliği değişme ihtimalini (terazilemeden kaynaklanan) yok kabul edebilmek için öncelikle, çakı ile düzeltme pasosu (0,03–0,05mm) alınmış ve deneylere bu şekilde başlanmıştır. Alınan düzeltme pasosu parçanın tamamında değil sadece data alınacak hat üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Data alma işlemi süreçlerinde spindle ideal çalışma sıcaklığına ulaşınca ve CNC’de oluşabilecek titreşimlerin stabilize bir hal alacağı tahmin edilen zaman kadar boşta çalıştırılmış ve deneyler daha sonra gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan “G” kodları aşağıdaki gibidir.


```
(Tool 1 = 0.8mm End Mill)
G90
T1 M03 S7500
G04 P5
G01 X0.000 Y0.000 Z-0.150 F250.00
G01 X10.000 Y0.000 Z-0.150 F125
G4 X10.000 Y0.000 Z-0.150 F125
G01 X0.000 Y0.000 Z-0.150 F125
g00 Z-0.150
G00 X0 Y0
```

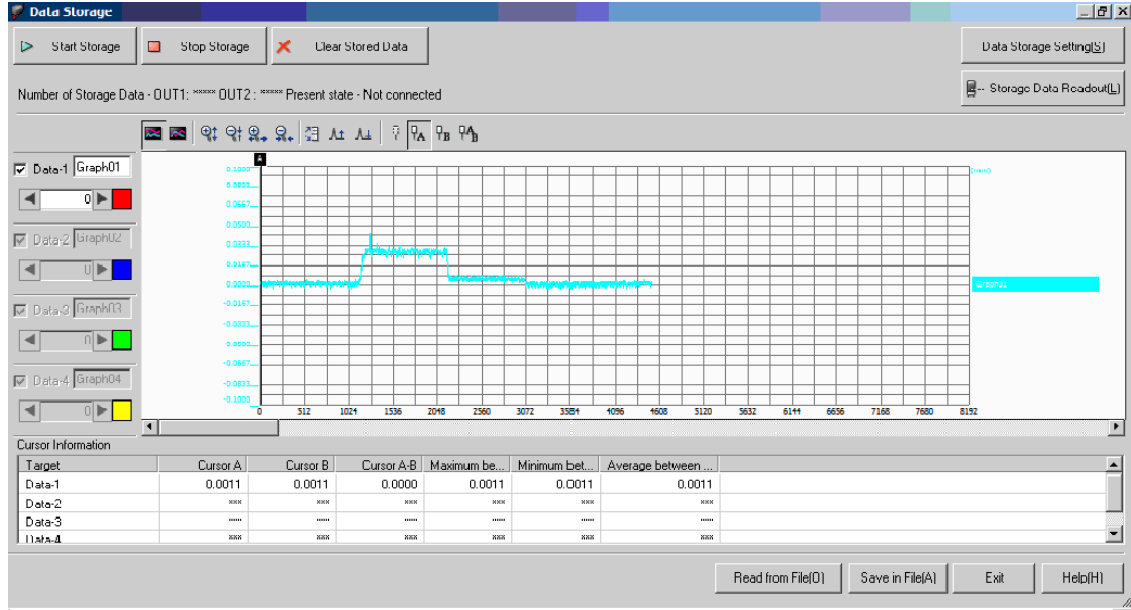
Burada “S”(dev/dak) devir, “Z”(mm) talaş derinliği, “F” (mm/dak) ise ilerleme hızıdır. Parametreleri burada değiştirilerek her bir deney için işlem tekrarlanmıştır. Yapılan deney düzeneği ve deney yapılma biçimi aşağıdaki Resim 2.8 de görülmektedir.

Burada çakı “x” yönünde 10 mm ilerleme, 4 saniye durma ve başladığı noktaya geri dönme işlemini gerçekleştirir. Alınan deneydeki dataların güvenilirliğini artırmak amacıyla cnc’nin x eksenindeki hızlanma sürecini parçanın dışında gerçekleştirilmiştir (Resim 3.7). Böylelikle takım iş parçasından 2 mm uzakta deneylere başlamış ve geri kalan ilerleme miktarı işparçası içerisinde gerçekleştirilmiştir. Hızlanma sürecinde takım iş parçasında girmeden önceki data değerleri sıfır kabul edilerek takımın deforme olma miktarı okunmuştur. Böylelikle makine titreşiminden kaynaklanan hatalar minimize edilmiştir.



Resim 3.7 Deney Yapılma Şekli

Alınan data değerleri LK-NAVIGATOR programında aşağıdaki Resim 3.8'deki biçimde görülmektedir. Kademeli olan bu sık noktalarda: ilk çizgi işparçasına girmeden önceki, ikinci çizgi parça içinde ilerlerken, üçüncü çizgi takımın parça içinde ilerlemeksizin çalıştığı andaki, ve son çizgi ise takımın işparçasından çıkarken maruz kaldığı deplasman değerleri okunmaktadır.



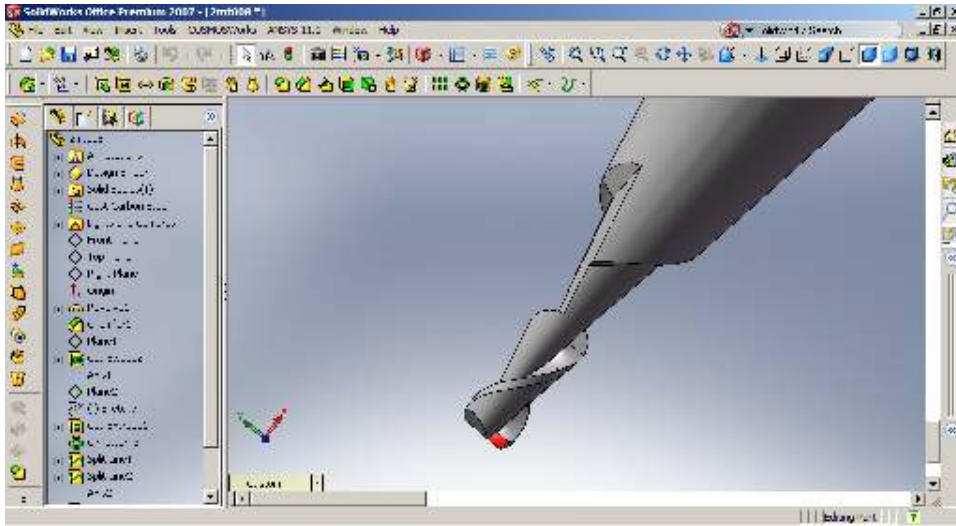
Resim 3.8 Data Değerleri

3.5. Katı Modelinin Oluşturulması Ve Sonlu Elemanlar Analizi

Takımın geometrisi oluşturulmadan önce takım imalat mantığı ve süreci incelenmiştir. Takımın imalatında kullanılan geometrik veriler ışığında işlem basamakları takip edilmiş ilk başta hassas tornalanan shaft kısmı yapılmıştır (Resim 3.9). İstenilen çapa düşürülen çakının ağız kısmı bu işlemten sonra istenilen helis açısına göre FIB (Focused Ion Beam) makinesine yerleştirilerek gerekli oyma işlemleri gerçekleştirilir (Resim 3.10).



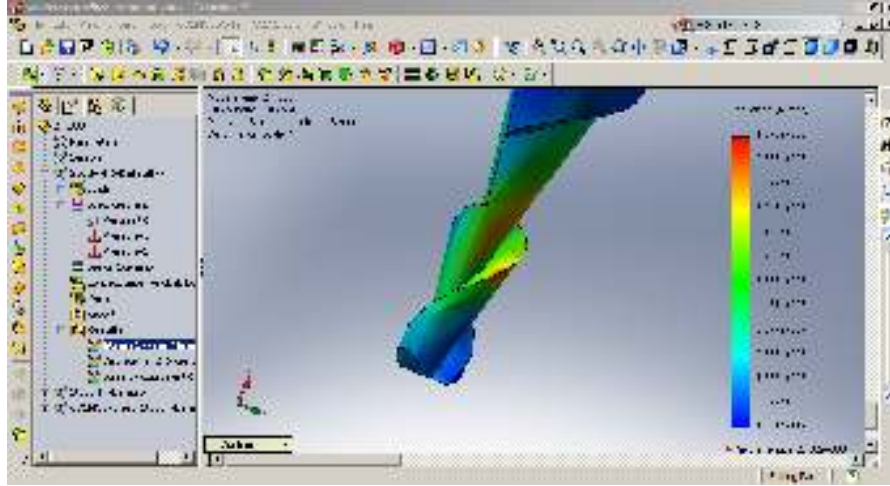
Resim 3.9 Yönlendirilmiş iyon demeti öncesi



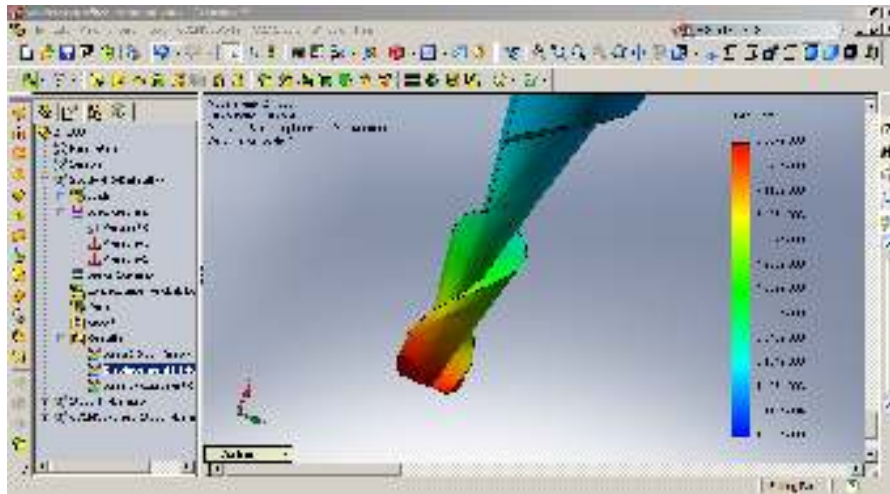
Resim 3.10 Yönlendirilmiş iyon demeti Sonrası

Katı modeli oluşturulan mikro freze çakısına uygulanan yükler ve sınır şartları belirlenerek hesaplanma gerçekleştirilir. Sınır şartlarda tutucu pens kısmında deplasman oluşmadığı kabul edilmiştir. Çakıya deney esnasında uygulanan devir'den dolayı maruz kaldığı tork değeri hesaplanarak dönme yönü ve ekseninde uygulandı Resim 3.10 deki (FIB sonrası) kırmızı bölgeye talaş derinliği ve hesaplanan ilerleme miktarına göre oluşan alana tepki kuvveti uygulanarak deplasman değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu deplasman değerlerine elde edilen kuvvet verileri ışığında mikro çakı içerisinde meydana gelen gerilmeler görülebilir (Resim 3.11). Takımın maruz kaldığı bu gerilmeler neticesinde uygulanan kesme parametrelerinden kaynaklanan deplasman değerlerini görmek mümkündür. Maruz kaldığı yükler neticesinde deplasmana uğrayan takımın, lazer ile ölçülemeyen çakı-işparçası

noktasındaki takımın elastik deforme olma miktarı FEM analizleri aracılığı ile saptanmış oldu (Resim 3.12). Bütün bu katı modelleme süreçlerinde SOLIDWORKS-2007 programı kullanılmıştır. Başlık altında verilmiş olan resimlerin tamamı bu programdan alınmıştır. FEM analizi için SOLIDWORKS-2007'in COSMOS yaması kullanılarak bu hesaplar yapılmıştır.



Resim 3.11 Gerilme Analizi



Resim 3.12 Deplasman Değerleri

3.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Ürün imalat sürecinde yüzey pürüzlülüğü etkin rol oynamaktadır. Makro plandaki imalat sürecinde imalatı yapılan ürünlerde özel cihazlarla veya el yordamıyla tespit edilebilmektedir. Mikro imalatla özellikle mikro frezelemede prizmatik kabartılar

veya üç boyutlu yüzey imalatında yüzey pürüzlülüğünün ölçmek neredeyse imkânsızlaşmaktadır. Makro imalatı yapılan kalıplarda istenilen yüzey pürüzlülüğüne ulaşmak istendiğinde makineler haricinde el yordamıyla dahi yüzey parlatma işlemi gerçekleştirilebilmektedir. İmal edilen parçanın boyutlarına oranla yüzeydeki pürüzlülük (R_a) değeri çok düşüktür. Mikro frezeleme alanında bu şekilde yapılacak herhangi bir uygulama takımdaki deformasyon kadar sapmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle prizmatik mikro frezeleme alanında önceden yapılan işlemlerden elde edilen yüzey değerleri büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde “MAHR-PERTHOMOTER M2” marka yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. Cihaz işleme yapılmış yüzeyde bir küçük bir çekiç-kafa içerisine yerleştirilmiş çözünürlüğü $0,001\mu\text{m}$ olan, sabit baskı düzeneğine sahip iğne ile ölçmektedir. Çekiç-kafa yaklaşık 7mm’lik bir hareket çizgisi üzerinden ölçümleri alarak hesaplamaktadır. Cihaz yüzey kalitesi ile alakalı $R_a, R_z, R_{\text{max}}, R_0$ değerlerini verebilmektedir. Bununla birlikte cihaz ölçüm yaptığı yüzey çizgisine ait ölçüm scale grafiğini de şerit kağıt üzerine çıkarabilmektedir. Bu yolla yüzey üzerindeki kalem hatlarına ait yükseltiler veya yoğunlaşma durumu göz önüne alınabilmektedir.

Deneyde kullanılan takımlar ve aşınma durumları göz önünde bulundurularak her takım türünden (TiAlN-TiN) bir adet kullanılmıştır. Alınan data değerlerinde talaş derinliği sabit alınmış genel kanaat üzerine ilerlemenin etkisi araştırılmıştır. Uygulanan devir, ilerleme ve talaş derinliği değerleri aşağıdaki Çizelge 3.3 de verilmiştir.

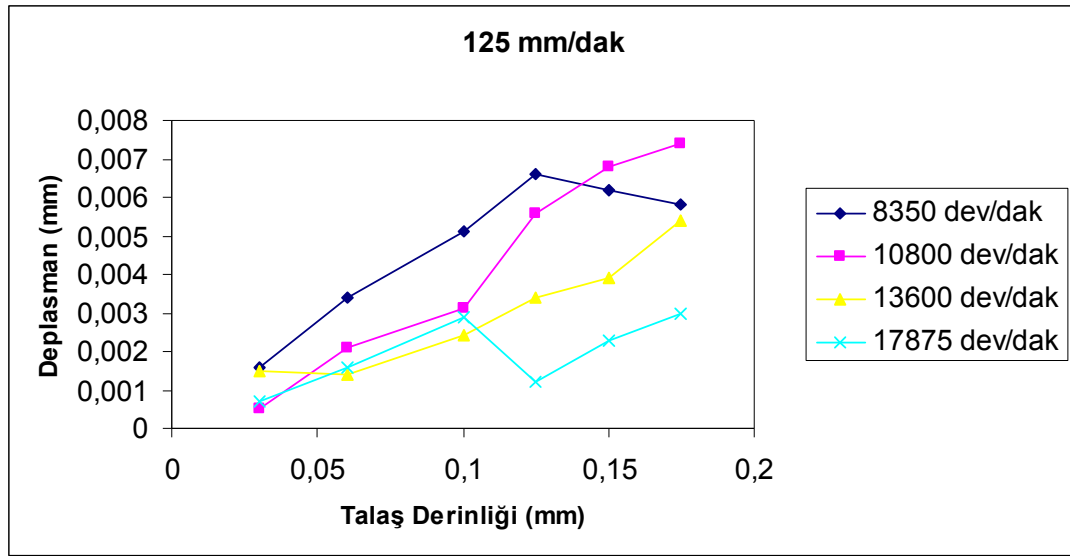
Çizelge 3.3 Yüzey için Uygulanan Parametreler

Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dak)	Talaş Derinliği (mm)
8350	125	0,06
10800	150	
13600	175	
	200	

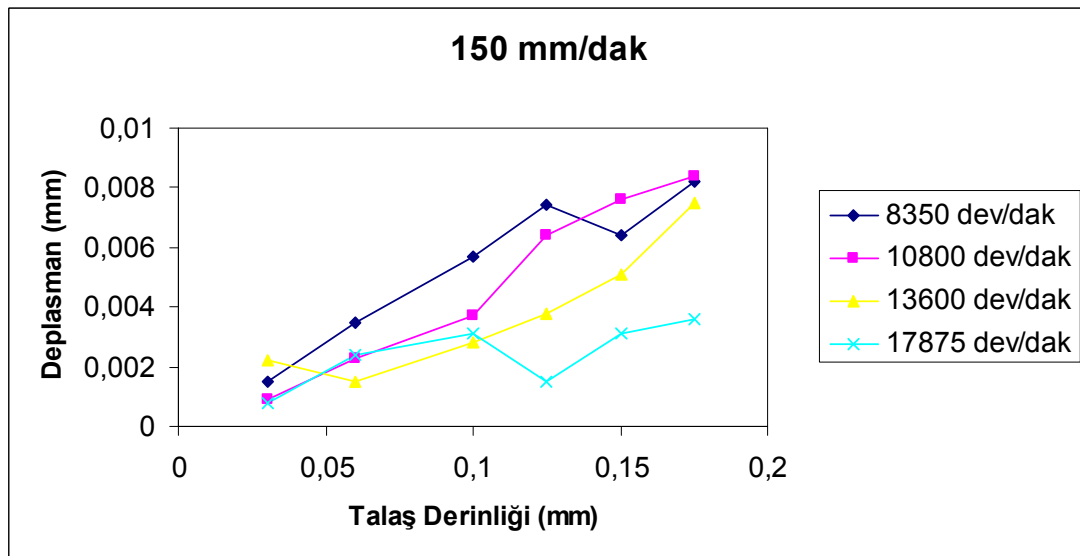
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.2. İlerlemenin Etkisi (TiAlN)

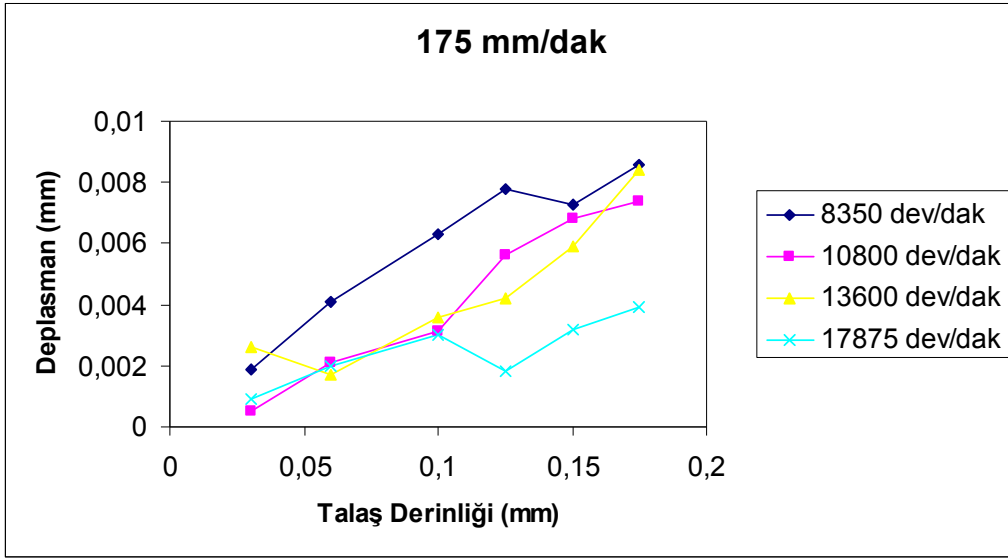
Takımlar üzerinde meydana gelecek olan deplasman değerlerini diğer şartlar sabit tutularak ilerlemenin etkisi anlaşılabilmesi bakımından farklı devir ve talaş derinliğinde kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda sistemdeki devir ve talaş derinliği kademeli olarak artırılmış ve etkileri “mm” birimi üzerinden Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 de verilmiştir. Aşağıda verilen değerleri TiAlN kaplı takımla yapılan deneylerden alınan verilerdir.



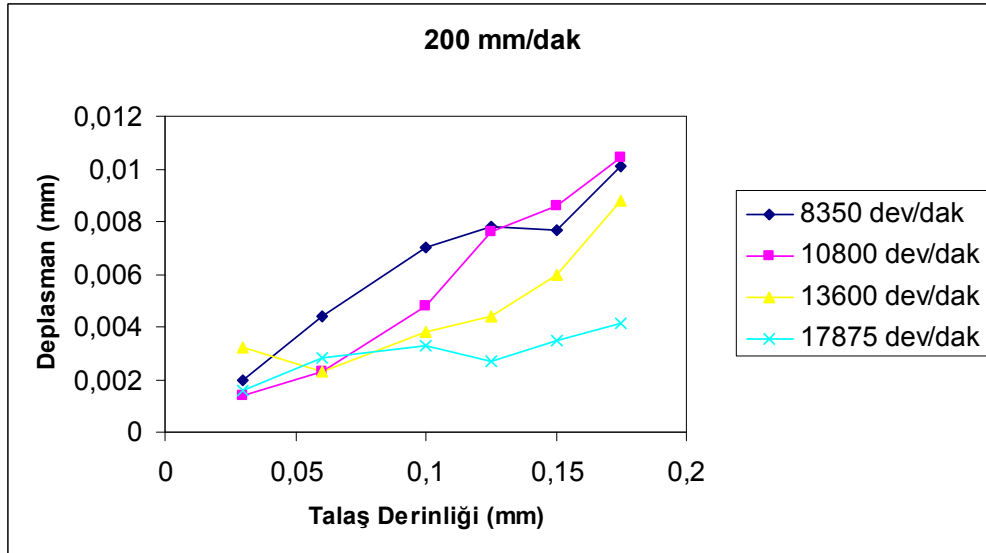
Şekil 4.1 Grafik 125mm/dak ilerleme (TiAlN)



Şekil 4.2 150mm/dak İlerleme (TiAlN)



Şekil 4.3 Grafik 175mm/dak ilerleme (TiAlN)



Şekil 4.4 Grafik 200mm/dak ilerleme (TiAlN)

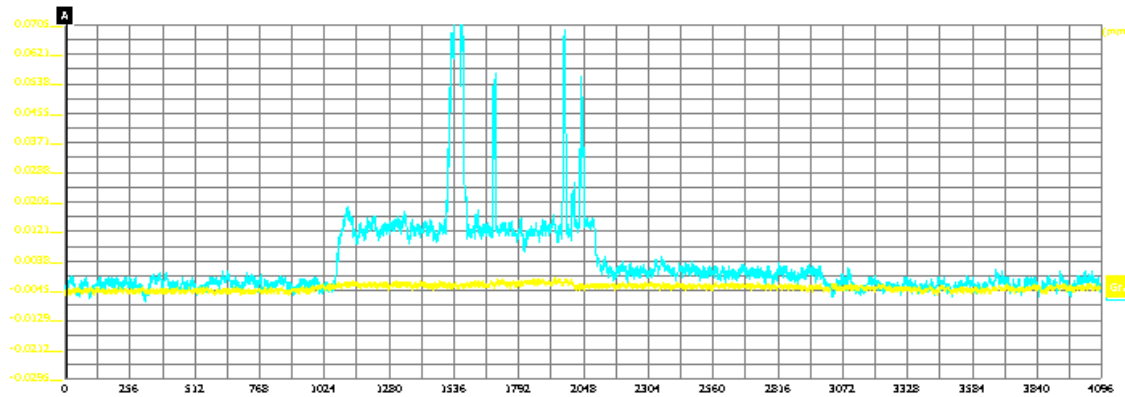
Şekil 4.1 de görüldüğü üzere artan talaş derinliği ile birlikte takımda meydana gelen deformasyonda artmaktadır. Artan devir sayısı ile birlikte kesme hızı artacak ve bunun sonucunda talaş kaldırmak için gerekli enerji azalacağından takım daha kolay kesme işlemi yapacaktır. Bunun sonucunda da takımdaki elastik deformasyon azalacaktır. Fakat bazı talaş derinliklerinde (0,15 ve 0,175 mm) elde edilen deformasyon değeri; 0,125 mm elde edilen talaş derinliğinden daha küçüktür. Benzer bir durum 17875 dev/dak içinde söylemek mümkün. Örneğin Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 'den de görüldüğü üzere 0,125 mm talaş derinliğiyle elde edilen deformasyon değeri 0,1 mm için elde edilenden daha düşüktür. İlginç olan bir diğer sonuç ise artan

ilerleme değeriyle birlikte 17875 dev/dak da yapılan kesme işleminde 0,1 ve 0,125 mm arasındaki fark azalmaktadır (Bkz Şekil 4.1, 4.4)

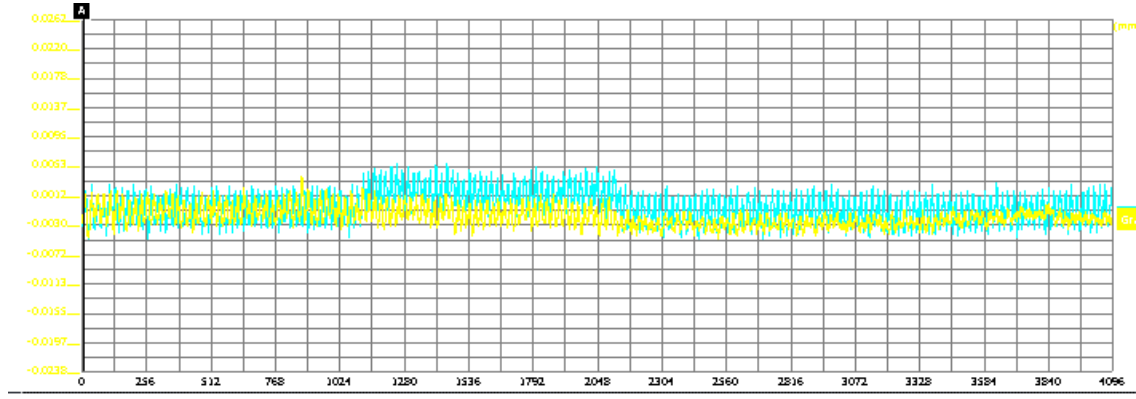
TiAlN kaplı takım için elde edilen deformasyon değerleri (Şekil 3.4) beraber incelendiğinde bütün ilerleme değerlerinde, 0,1 mm talaş derinliğinde kadar takımda meydana gelen elastik deformasyon lineer denebilecek bir artış göstermektedir. 0,1 mm'den sonra bir kırılma noktasından bahsetmek mümkün. Şöyle ki 8350 ve 10800 dev/dak için takımda meydana gelen deplasman değerleri hızlı bir artış sergilerken, 13600 dev/dak'da bu artış daha yavaş gerçekleşmektedir. 17875 te ise deformasyondaki artışın tersine bir azalma gözlenmektedir.

Frezeleme işleminde takımın dinamik davranışları hem yüzey pürüzlülüğü hem de kesme kuvvetlerini etkilemektedir. Dolayısıyla kaldırılmak istenen talaş kesiti ve devir sayısı takımın dinamik davranışını direkt etkilemektedir.

Bu çalışmada takımın kesme parametreleriyle kesme zaman boyunca anlık yer değiştirme değerlerinin de kesme parametreleriyle nasıl değiştiği araştırılacaktır. Şekil 3.5 ve 3.6 da devir sayısına, talaş derinliğine ve ilerleme değerine bağlı takımın yer değiştirme değerleri verilmiştir.



Şekil 4.5 8350 dev/dak anlık deformasyon farklılıkları

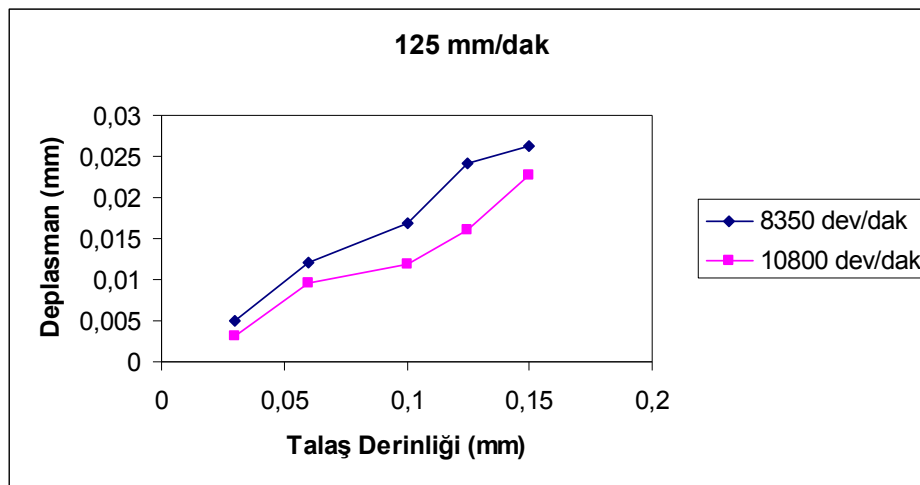


Şekil 4.6 13600 dev/dak anlık deformasyon farklılığı

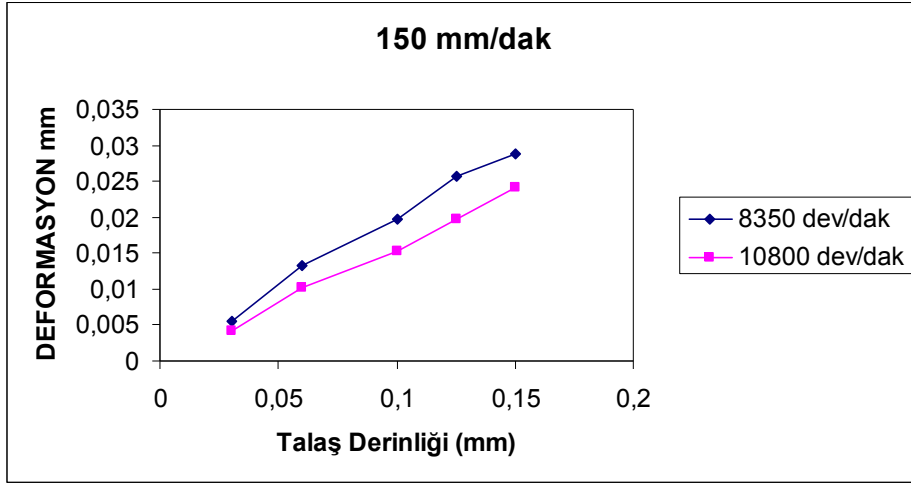
4.4. İlerlemenin Etkisi(TiN)

Yapılan deney parametrelerinin bir kısmını TiN kaplamalı aynı yarıçap ve kanal sayısına sahip takım için deneyler yapılmıştır. Bu sayede kaplama farkı deneylerde gözlemlenmiş olacaktır. Daha önce verilmiş olan deney parametrelerine göre deneyler yapılmıştır.

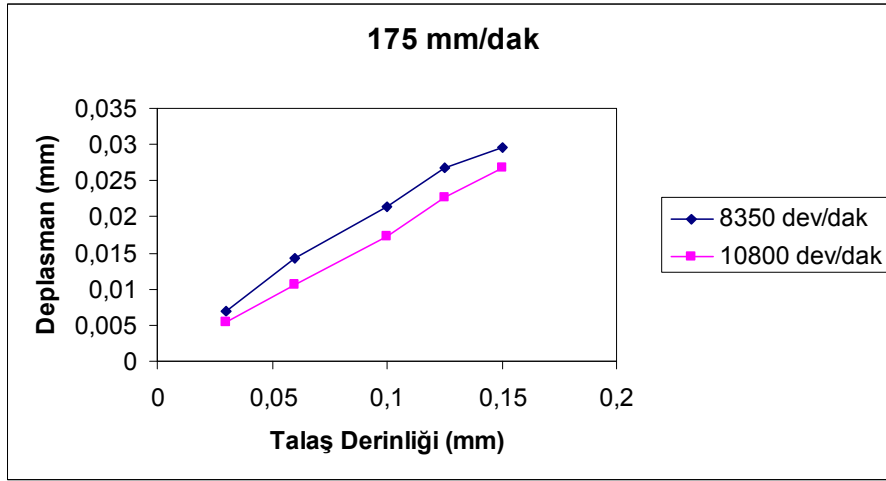
Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 da TiN kaplanmış kesici takım için talaş derinliğine ve devir sayısına bağlı olarak elde edilen deplasman değerleri verilmektedir. Her dört şekilde de görüldüğü üzere her iki devir sayısının da takımında meydana gelen deformasyon lineer olarak artmaktadır. Artan ilerleme ve talaş derinliğiyle birlikte kaldırılmak istenen talaş kesiti de artmaktadır. Bunun sonucunda Şekil 4.9 da da görüldüğü üzere takımında meydana gelen deformasyon artmaktadır.



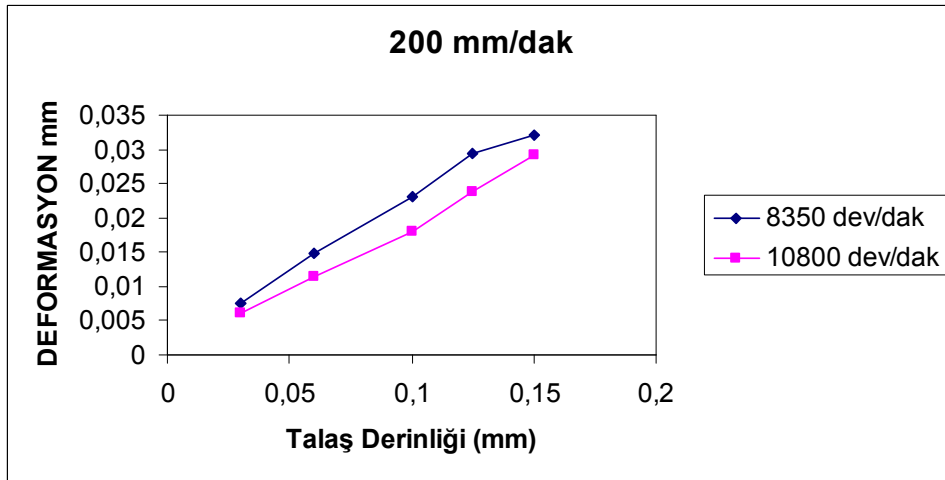
Şekil 4.7 125mm/dak ilerleme (TiN)



Şekil 4.8 150mm/dak ilerleme (TiN)



Şekil 4.9 175mm/dak ilerleme (TiN)

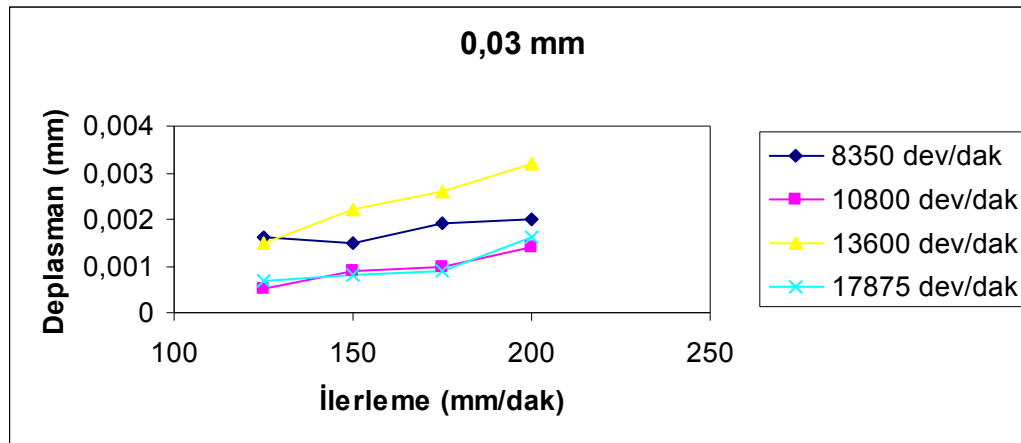


Şekil 4.10 200mm/dak ilerleme (TiN)

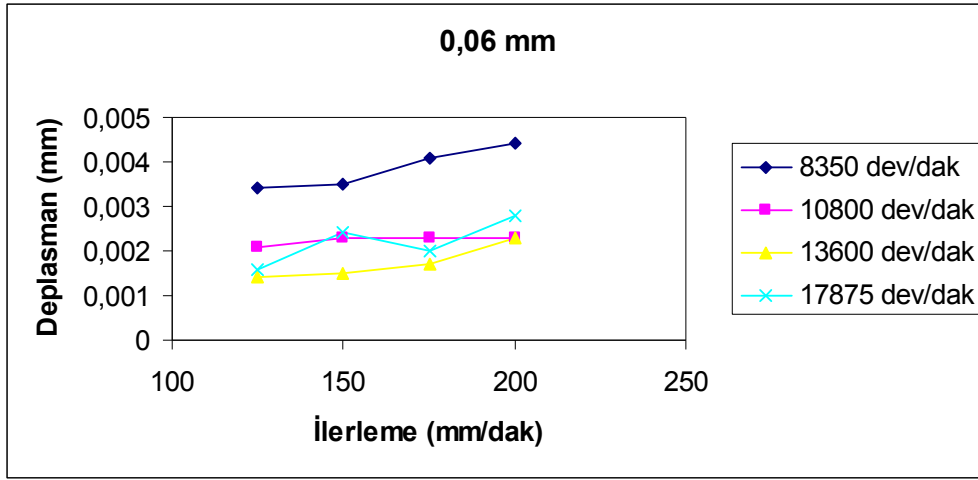
TiN kaplamalı takımlardan alınan deneysel değerleri grafiklerden görülebileceği üzere TiAlN kaplı takımdan alınan değerler ile arasında büyük farklar vardır. Grafiklerdeki deformasyon miktarlarındaki karakteristik tepki yapısı TiAlN takıma göre daha düzgün bir şekilde artmış ve beklenen şekilde devirlere uygun tepki vermiştir. Çizelgelerdeki deformasyon değerleri kıyaslandığında yaklaşık olarak TiN kaplamalı takımlar 3 kat fazla deformasyon sunmuştur. Ve alınan bu değerlerde TiAlN takımlara göre daha stabil artış değerleri sunmuştur. Takım kaplamaları arasındaki Al(alüminyum) farkı deformasyon miktarına etki etmiş ve yaklaşık olarak %65 civarında deformasyon miktarında düşüşü sağlamıştır. Bu düşüşe etken olarak alüminyumun ısı iletim katsayı veya TiN kaplamalı çakının takı-ış parçası etkileşiminden kaynaklanan kararsızlık etkisinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

4.4. Talaş Derinliğinin Etkisi (TiAlN)

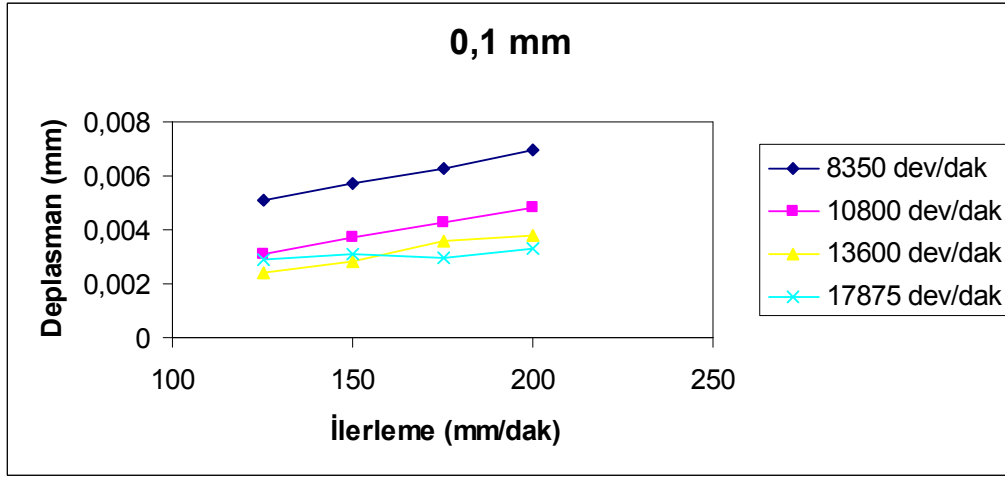
Frezeleme işlemlerinde takıma gelen yük miktarında etkisi olan unsurlardan biride talaş derinliğidir. Talaş derinliği takımın maruz kaldığı yük miktarını direkt etkiler ve gelen bu yük talaş kaldıran frezenin kesici ağız kısımlarının süpürdüğü alan ile artar. Bu artış miktarı freze çakısının konumuna (işparçası içi, kenar tarama), ilerleme hızına bağlı olarak çizdiği elipsin uzunluğuna bağlı olarak artar. Yapılan bu çalışmada deney kriteri olan ilerleme ve devir miktarları dikkate alınarak oluşturulan Şekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 da aşağıda verilmiştir.



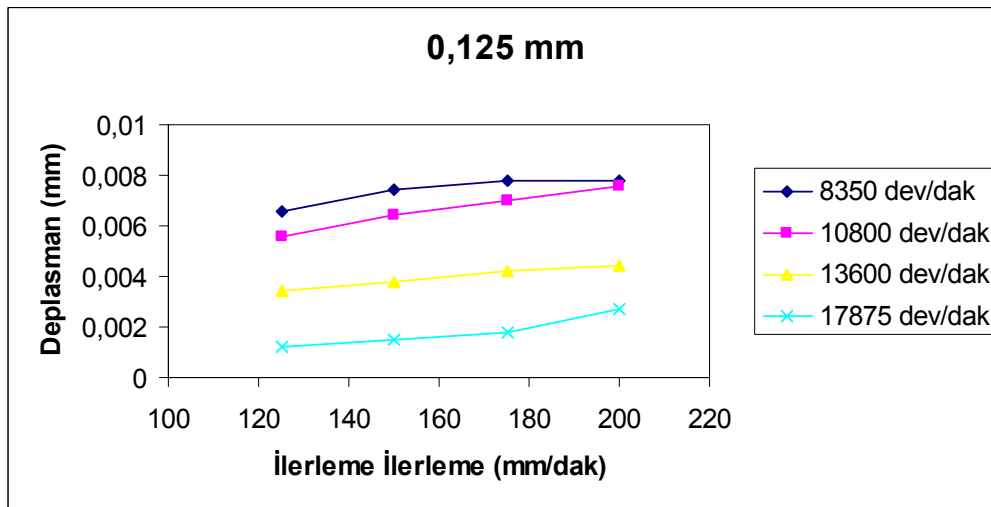
Şekil 4.11 0,03mm talaş derinliği (TiAlN)



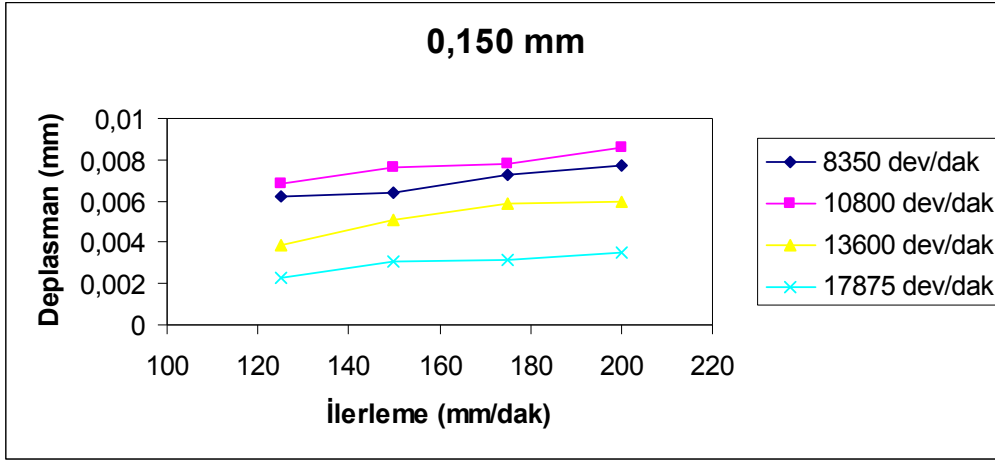
Şekil 4.12 0,06mm talaş derinliği (TiAlN)



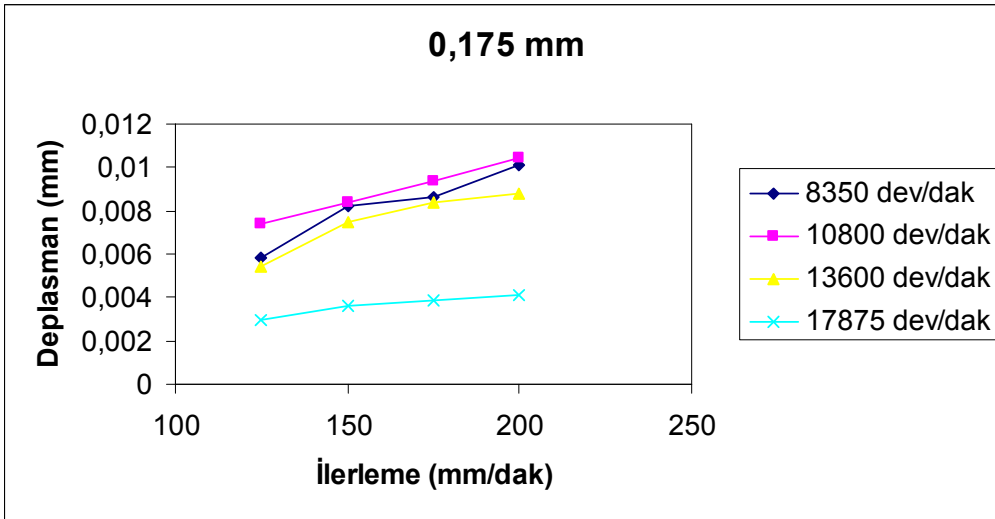
Şekil 4.13 0,100mm talaş derinliği (TiAlN)



Şekil 4.14 0,125mm talaş derinliği (TiAlN)

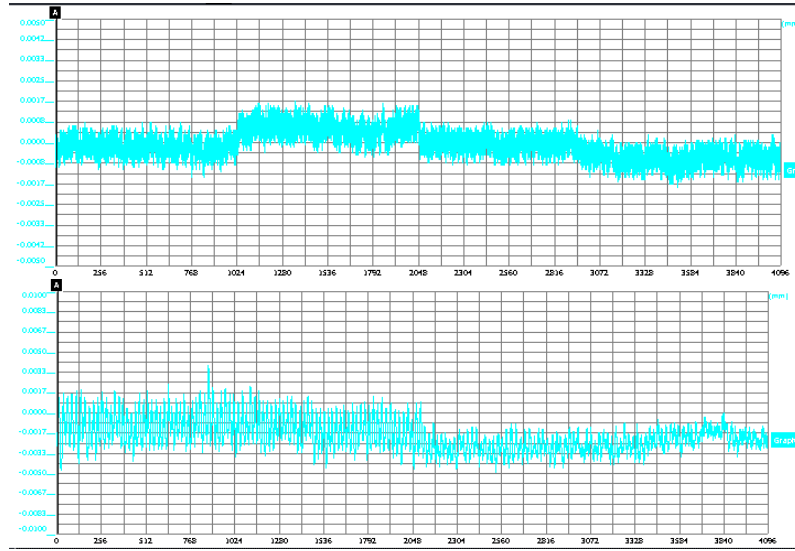


Şekil 4.15 0,150mm talaş derinliği (TiAlN)



Şekil 4.16 0,175mm talaş derinliği (TiAlN)

Şekil 4.13 de görüldüğü üzere artan talaş miktarıyla birlikte kesici takımında meydana gelen elastik deformasyon artmaktadır. 13600 dev/dak uygulamalı, 0,03mm ve 0,06mm talaş derinliği deneylerine bakıldığında bu kararsız yapı açıkça görülmektedir. Talaş derinliğinin azalmasıyla birlikte kesici takımın dinamik davranışı da değişmektedir. 0,03 mm talaş derinliği için iki farklı devir sayısının da zamana bağlı elde edilen sonuçlar Şekil 4.17 de verilmektedir.



Şekil 4.17 10800-13600 dev/dak anlık genlik değerleri

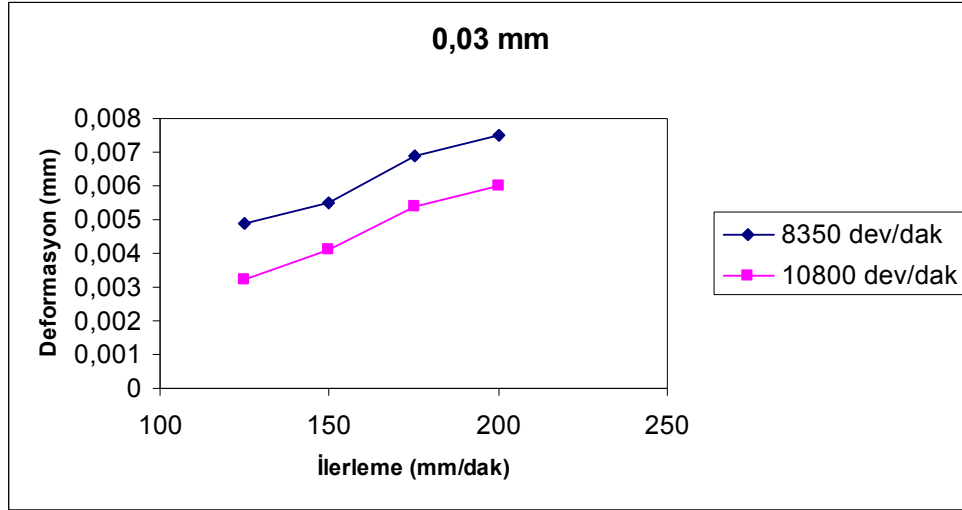
Talaş miktarının artmasıyla takıma gelen tepki miktarı artmış ve takım davranışları (deplasman) karakterize olmaya başlamıştır. Diş başına düşen talaş miktarının en üst değer olduğu durumda (8350 dev/dak-0,175 mm-0,125 mm/dak) parametrelerinde 0,0058 mm deplasman gerçekleşmiştir. Buna karşın 8350 dev/dak - 0,100 mm - 0,125 mm/dak deneyinden alınan değer 0,0051 mm dir. 0,03 mm talaş derinliğinde beklenenin aksine en üst seviyede deplasman değeri sunmuştur, 0,06 mm’lik talaş derinli deneyinde ise bir öncekine kıyasla en alt seviyede takımda deplasman değeri gerçekleşmiştir. 10800 dev/dak deney kriteri sonuçlarında alınan deplasman değerleri diğer takımlara nazaran giderek azalmıştır. 17875 dev/dak’lık deney verilerinde ilerleme kriterindeki gibi karakteristik bir artış düzeni grafiklerde görülebilmektedir.

4.5. Talaş Derinliğinin Etkisi (TiN)

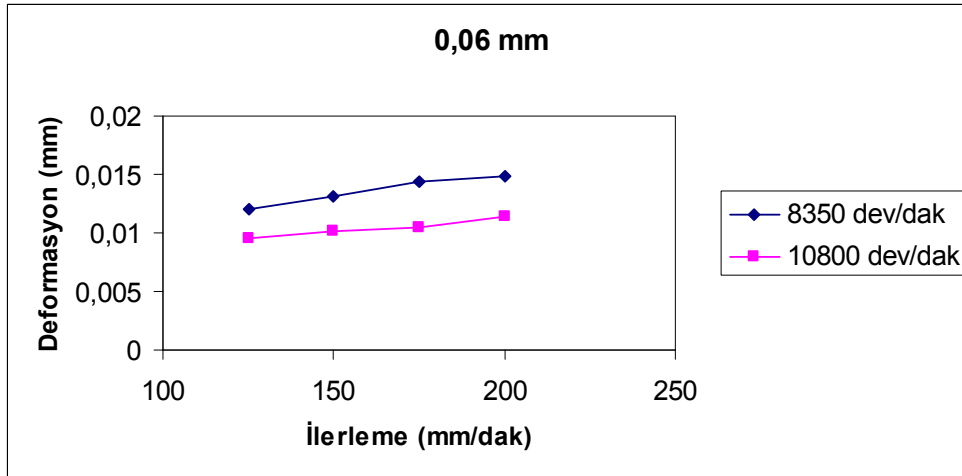
TiN kaplamalı takımların deneylerinde talaş derinliğinin etkisi araştırmak amacıyla TiAlN kaplı takımlara uygulanan deney parametrelerinin bazıları seçilerek uygulanmıştır.

Grafiklerde görüldüğü üzere deformasyon miktarlarındaki orantılı artış takımdan beklenen şekilde gerçekleşmiştir. Deney parametrelerindeki değer noktalarında ani iniş ve çıkışlar görülmemiştir. Bununla birlikte deney parametrelerindeki sayısal

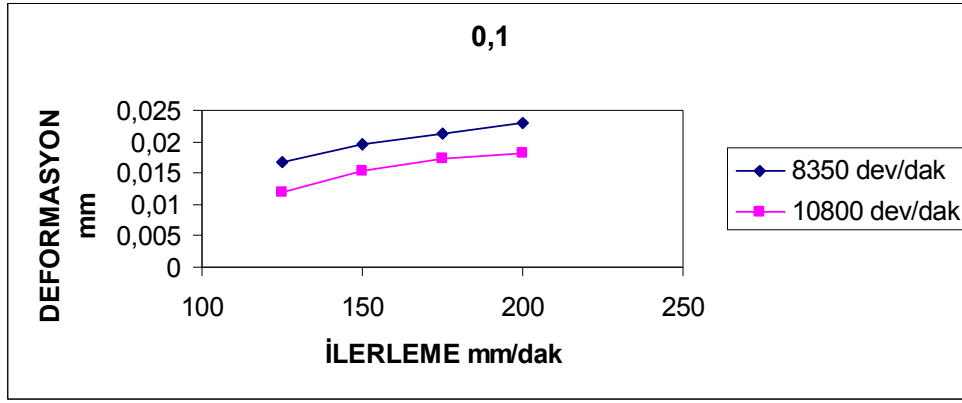
artıŖa oranla okunan deformasyon miktarları orantılı gerekleŖmiŖtir. Bu oran 0,03-0,06 mm talaŖ derinliği deneylerinde alınan değerin neredeyse iki katı olmasıyla görülmektedir. TalaŖ miktarındaki artıŖ oranına göre görülen deformasyon miktarı da bu oran çevresinde gerekleŖmiŖtir.



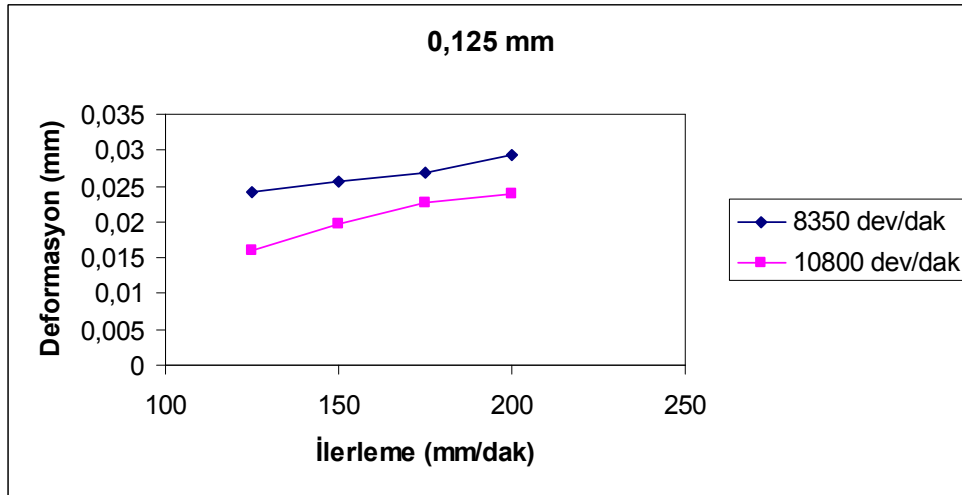
Ŗekil 4.18 0,03mm talaŖ derinliği (TiN)



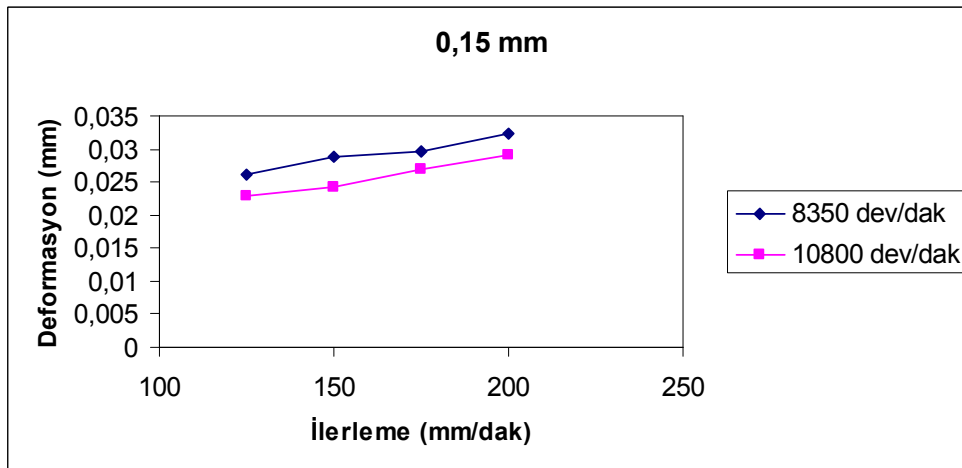
Ŗekil 4.19 0,06mm talaŖ derinliği (TiN)



Şekil 4.20 0,1mm Talaş Derinliği (TiN)



Şekil 4.21 0,125mm Talaş Derinliği (TiN)



Şekil 4.22 0,15mm Talaş Derinliği (TiN)

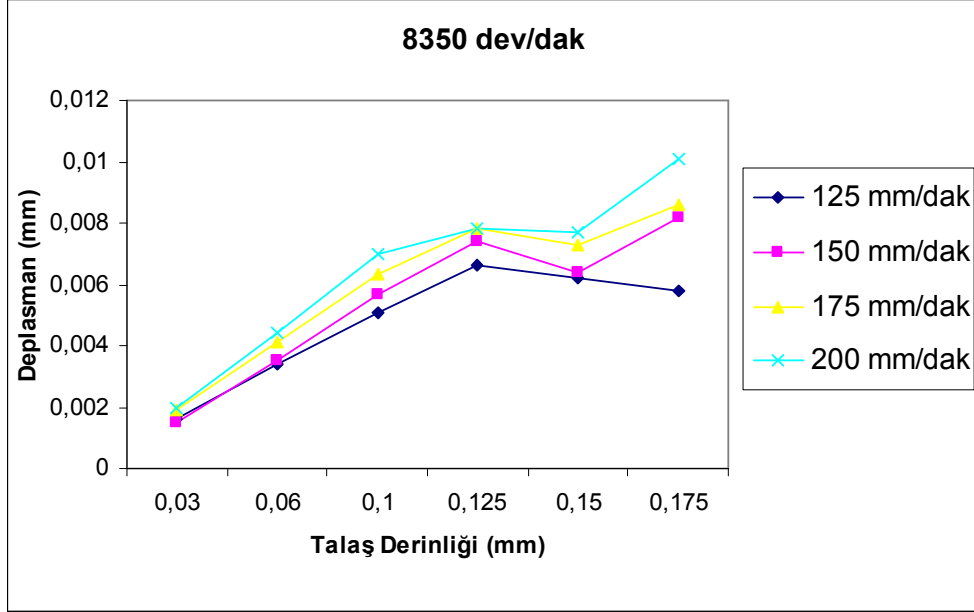
4.5. Kesim Hızı (Devir)'nın Etkisi (TiAlN)

Takımın elastik deformasyonuna neden olan temel parametrelerden biride kesme hızıdır. İlerleme hızının sabit olduğu durumlarda devirin artmasıyla dış başına düşen kesme miktarı azalacak, tam tersi durumda ise artacaktır. Kesme hızı takım ömrü ve aşınması açısından önem arz etmektedir. Belirli bir yük değerinin üzerine çıkıldığında takımda oluşacak bası-çeki gerilmelerinden dolayı takım aniden kırılabilecektir. Kabul edilebilir yüke maruz kaldığı durumlarda artan devir sayısı kesici kenarlarında aşınmayı hızlandırmaktadır.

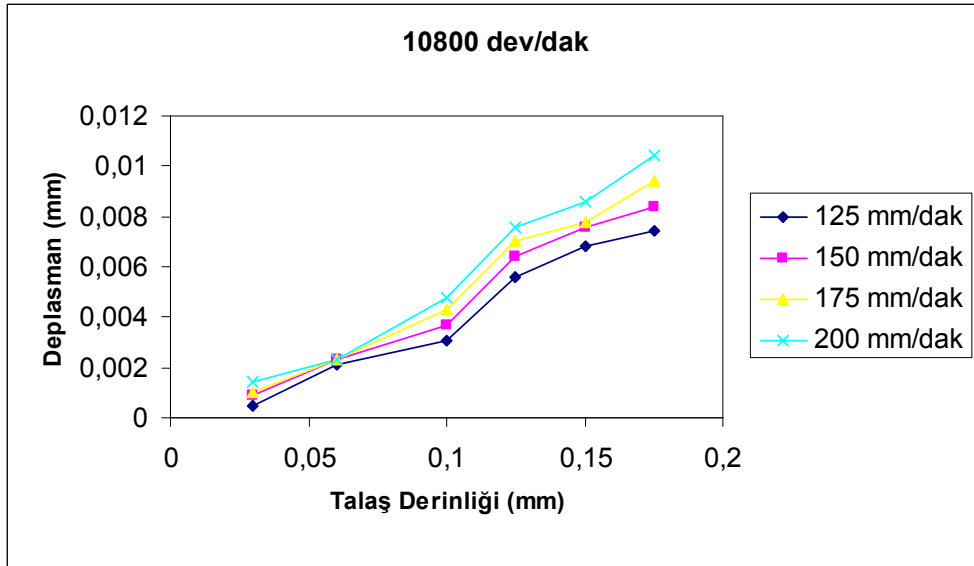
Grafik ve çizelgelerden anlaşılacağı üzere devir sayısının artmasıyla kesme işlemi daha rahat gerçekleşmekte ve deformasyon değeri azalmaktadır. Kesici takım-iş parçası etkileşiminin bir sonucu olan kararsızlığının varlığının önemi burada daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü Şekil 4.24 den de görüldüğü üzere 0,1 mm ye kadar olan talaş derinliklerinde artış gerçekleşmektedir. Fakat 0,125 mm talaş derinliğinde bütün ilerleme değerlerinde ani bir azalma söz konusudur. Bu da 0,125 mm talaş derinliğinde 1785 dev/dak da işlenmesi sonucunda takımın daha kararlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

8350 dev/dak (Şekil 4.23) sonuçlarının yer aldığı grafikte 0,15 mm talaş derinliği farklı ilerleme hızlarına göre daha stabil deformasyon değerlerin sunmuştur. 10800 dev/dak (Şekil 4.24) deney uygulamalarından alınan değerler 0,06 mm deki değerler ile oldukça yakın seyir izlemiştir. Grafik üzerindeki deney parametrelerindeki artış dikkate alındığında talaşderinliği-ilerleme hız oranının en uygun sayılabilecek 0,1-0,15 mm talaş derinliği olduğu anlaşılmaktadır. 13600 dev/dak'lık (Şekil 4.25) deneyde ise 0,03 mm talaş derinliğinden başlayan deformasyon miktarı 0,06 mm'de düşmüş ve daha sonraki artan talaş derinliklerinde nispeten orantılı artmıştır. Bu grafikteki uygulanabilecek en düşük deformasyon değeri 0,06 mm talaş derinliği uygulamasında olduğu görülmektedir. 17875 dev/dak'lık (Şekil 4.26) son deneyde ise chatter etkisinin sonuçları daha belirgin şekilde kendisini göstermektedir. 0,1 mm talaş derinliği de dahil olmak üzere bu sonuçlar beklenen şekilde artmıştır. 17875 dev/dak da kendisini daha çok fark ettiren chatter etkisi, 0,06 mm'lik talaş derinliği deneyinde elde edilen deformasyon miktarları, 0,125 mm'lik talaş derinliğinde elde edilen deformasyondan daha küçüktür. Parça İşleme esnasında 0,03 mm'den daha

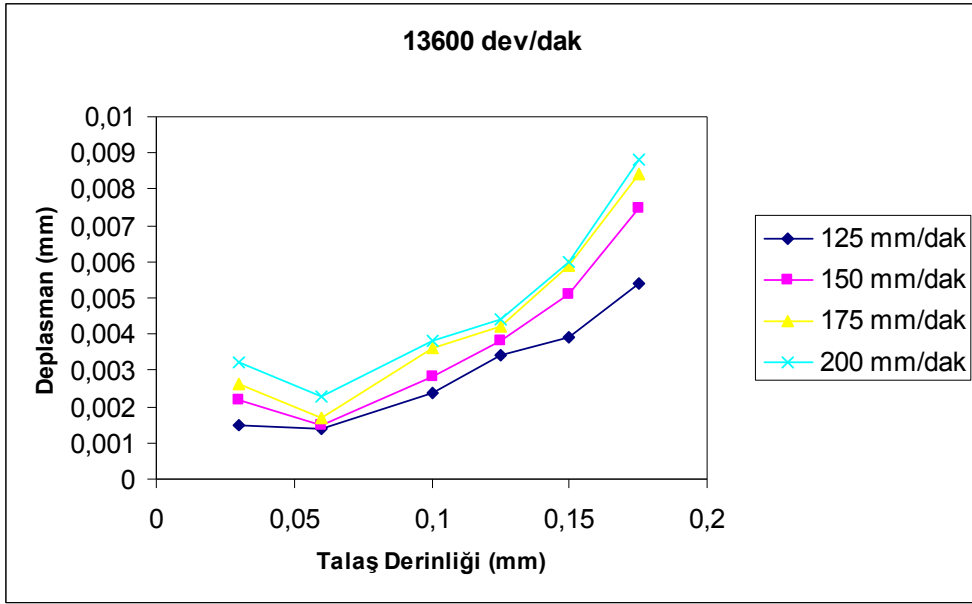
derin bir talaş kaldırma işlemi uygulanacaksa diğerlerine kıyaslar 0,0125 mm'talaş derinliği daha az deformasyon miktarı sunmuştur.



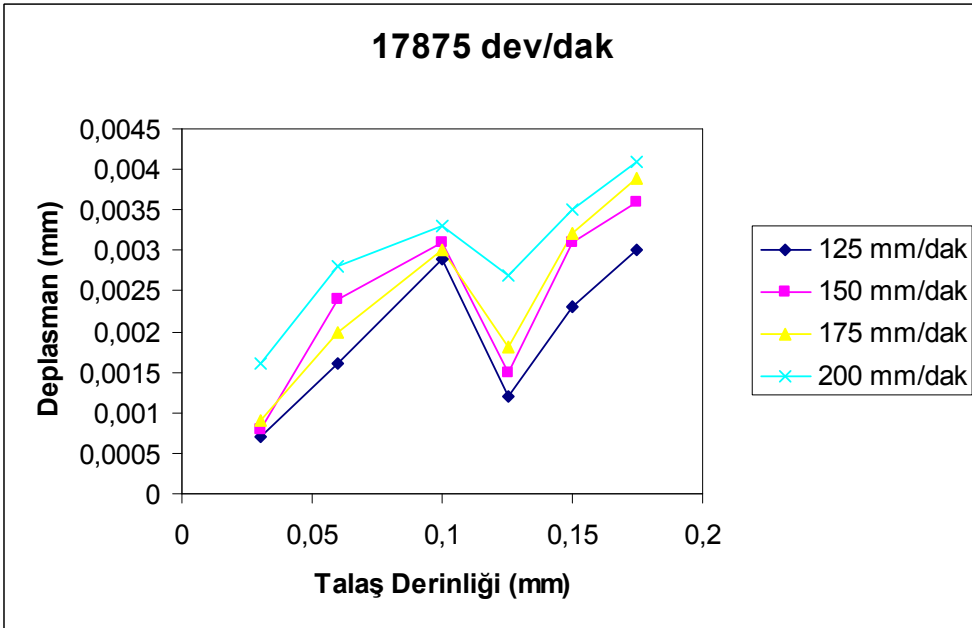
Şekil 4.23 8350 dev/dak (TiAlN)



Şekil 4.24 10800 dev/dak (TiAlN)



Şekil 4.25 13600 dev/dak (TiAlN)



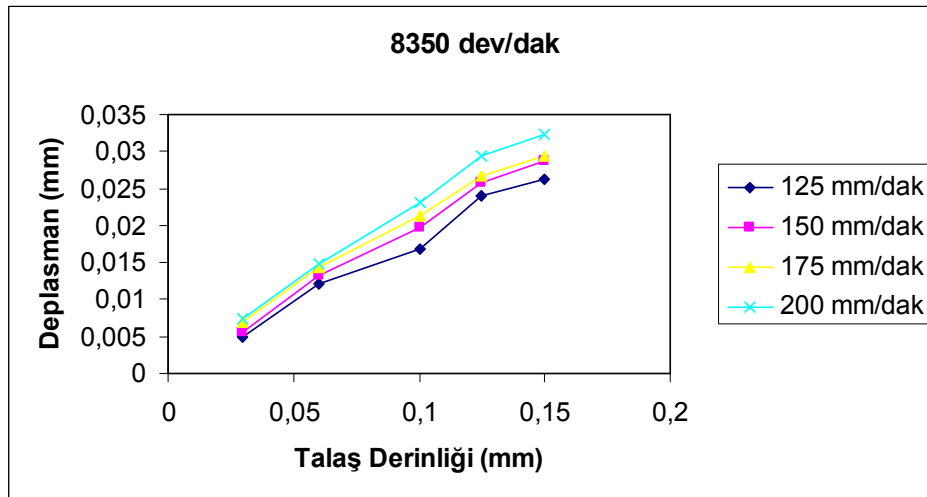
Şekil 4.26 17875 dev/dak (TiAlN)

4.6.Kesme Hızı (Devir)'nın Etkisi (TiN)

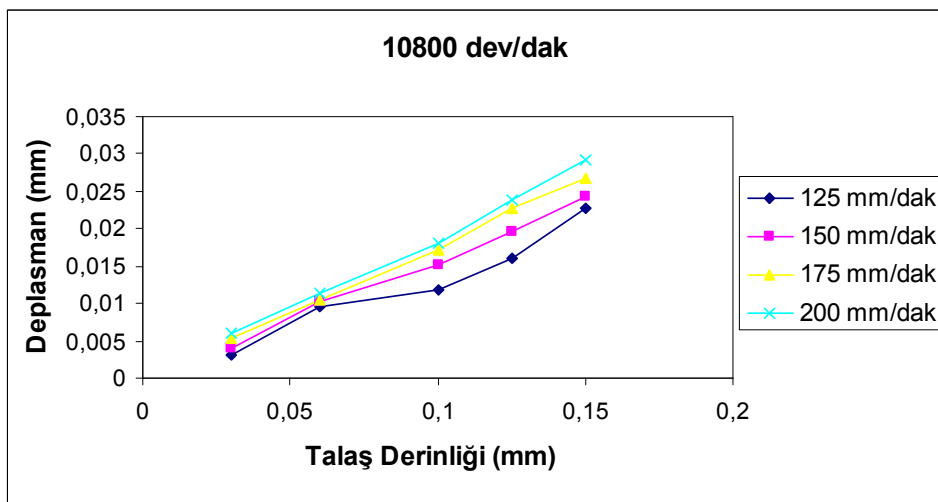
Bütün yapılan deneylerde takım-iş parçası etkileşim sonuçlarında görülebilir en iyi sonuçlar kesim hızından alınmıştır. Kesim hızının değişik miktarlarda uygulanabilmesi bu değer aralığının uygulanabilmedeki kabiliyeti ve vereceği tepkileri daha belirgin hale getirmiştir. Bu sayede takım hakkında daha fazla

öngörülebilir bilgiye sahip olunmaktadır. İş parçasının ve deney parametreleri değiştirmeyerek takım-iş parçası etkileşiminden meydana gelen deformasyon miktarları ölçülmüştür. Alınan değerlerden alüminyumun takım üzerindeki etkisi aşağıdaki Şekil 4.27 ve 4.28 de görülmektedir.

TiAlN kaplamalı takıma kıyasla TiN kaplamalı takımda yaklaşık üç katı deformasyon meydana gelmiştir. TiAlN takım yapılan aynı devirlerdeki deneylerde alınan data değerleri bir noktada çakışmasına rağmen burada çakışma gerçekleşmemiş, bunun yerine arada çok az bir fark meydana gelmiştir. Takımlar arasındaki alüminyum kaplama farkı yapılan deneysel çalışmaların tamamında en az iki en çok da üç kat civarında deformasyona neden olmuştur.



Şekil 4.27 8350 dev/dak (TiN)



Şekil 4.28 10800 dev/dak (TiN)

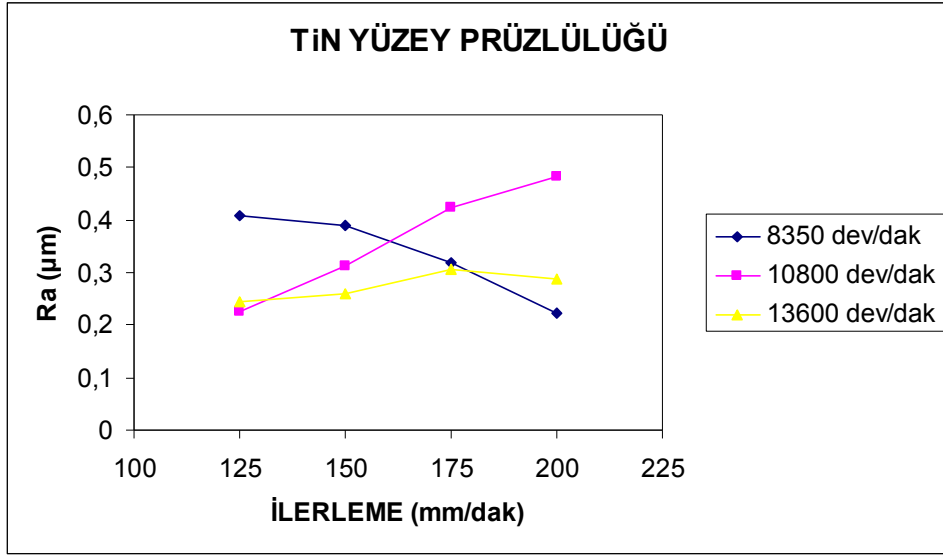
4.7. Kesim Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Mikro kalıplar veya prizmatik işlem süreçlerinde elde edilecek olan yüzey kalitesi daha önceden yapılmış olan deneyler, denemeler ışığında tahmini olarak yapılmaktadır. Yüzey kalitesinin önem arz ettiği yerlerde (kalıplar vs.) yapışma sorununu çözebilme adına olması gereken yüzey kalitesi önem arz etmektedir. Mikro parçalara imalat veya montaj esnasında el ile müdahale edilememesi yüzey pürüzlülüğünün imalat esnasındaki önemini artırmaktadır. Bu nedenle işleme yapıldığı esnada kabul edilebilir yüzey kalitesine ulaşılması gerekmektedir.

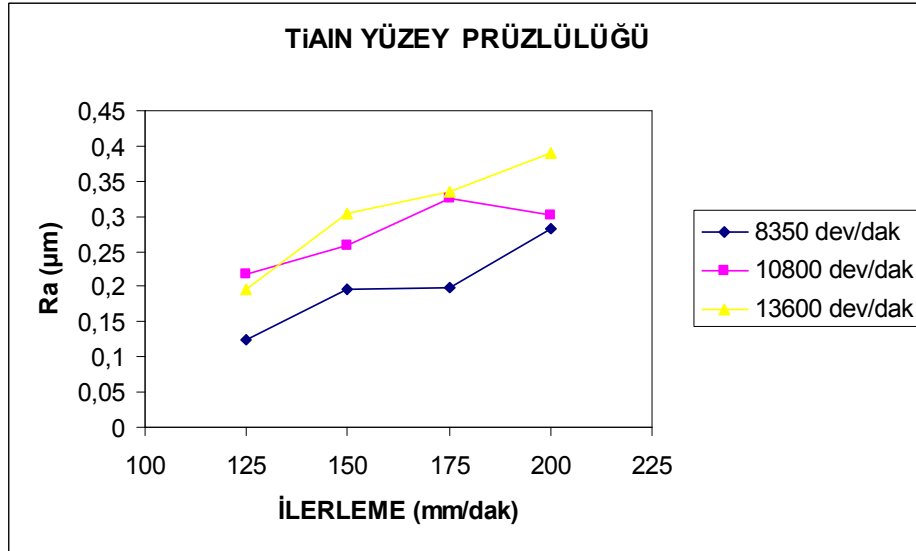
Yapılan deneysel yüzey çalışmalarında deney parametrelerinin büyük bir kısmı sabit tutulmuş ve pürüzlülüğü en çok etkileyebilecek olan ilerlemenin etkisi araştırılmıştır. Final paso adı ile bilinen yüzey kalitesini iyileştirme adına yapılan işlemdeki talaş derinliği olan 0,06 mm derinlik alınmıştır. Yüzey pürüzlülük değeri olan “Ra” yüzey kalitesini kıyaslamayı sağlar ve birimi “ μm ”dir. Aşağıdaki Şekil ve çizelgelerde deneyler sonunda okunmuş olan değerler yer almaktadır.

Takımlara ve uygulama parametrelerine bağlı olarak okunması gereken değerler kesme hızı düştükçe yani takıma gelen yük arttıkça yüzey kalitesinin azalması, pürüzlülük değerinin artması beklenmektedir. TiN kaplamalı takımda 8350 dev/dak’lık (Şekil 4.29) uygulamada yüzey kalitesi giderek artmış Ra değeri azalmıştır. Diğer iki devir uygulamasında ise beklendiği şekilde yüzey kalitesi giderek azalmıştır. 13600 dev/dak’lık (Şekil 4.30) TiN uygulamasındaki yüzey kalitesindeki düşüş ilerleme hızına bağlı olarak Ra değerindeki artış düşmüştür.

TiAlN takım için yapılan deneylerde genel olarak beklenen artış gerçekleşmiştir. TiAlN takımından alınan değerler deformasyon değerlerindeki gibi karakteristik benzerlik göstermiştir. Uygulanan parametrelerde sadece 10800 dev/dak - 200 mm/dak şartlarında azalma gerçekleşmiştir.



Şekil 4.29 TiN Ra Değerleri



Şekil 4.30 TiAlN Ra Değerleri

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmada AISI 1045 çelik işparçası kullanılarak TiAlN ve TiN kaplamalı çapı 0,8 mm olan mikro kesici takımlar kullanılmıştır. Takımın endüstrideki etkinliği ve yaygınlığı sebebiyle tercih edilmiş ve deneydeki uygulanan parametreler sektöre uygun değerler seçilmiştir. Yapılan çalışmalarda takımlar üzerindeki deformasyon değerleri ve yüzey pürüzlülük değerleri deneysel çalışmalar üzerinden alınmıştır.

TiAlN takımlardaki deformasyon değerlerinde en büyük değişiklik devir sayısında(kesim hızı) meydana gelmiştir. 8350 dev/dak olan deformasyon değeri 0,0016 mm iken, 10800 dev/dak işlemede deformasyon değeri 0,0005 mm, 13600 dev/dak'da 0,0015 mm ve 17875 dev/dak olan kesmeden kaynaklanan deformasyon değeri 0,0007 mm'dir. 10800 dev/dak işleme değerindeki deformasyondaki azalma takımın devir sayısı ve talaş miktarı ile ilişkili olan chatter etkisinden dolayı az olarak gerçekleşmiştir. Yukarıdaki verilen deformasyon değerleri için talaş derinli 0,03 mm ve ilerleme miktarı ise 125 mm/dak'dır. Aynı talaş derinliğindeki ilerleme miktarına bağlı olarak chatter etkisinden dolayı takımdaki deformasyon oranı neredeyse değişmemiştir. 0,03 mm talaş ve 150 mm/dak ilerleme hızında takımdan alınan deformasyon miktarı 0,0023 mm, 175 mm/dak ilerlemede 0,0005 mm, 200 mm/dak ilerlemede ise 0,0014 mm olarak okunmuştur. Bu talaş derinliğinde devir etkisi neredeyse yok denecek kadardır. Chatter etkisi bu talaş derinliği için minimum seviyede gerçekleşmiştir.

TiN takımlardaki deney parametreleri kullanım alanlarına uygun olarak 8350 – 10800 dev/dak'lık iki farklı devir uygulama deneyleri yapılmıştır. 0,03 mm'lik talaş derinliği deneylerindeki 125 mm/dak'lık ilerleme hızında alınan deformasyon değerleri 8350 dev/dak'da 0,0049 mm, 10800 dev/dak'da 0,0032 mm olarak meydana gelmiştir. Aynı talaş derinliğinde 150 mm/dak'lık ilerleme hızında 8350 dev/dak için 0,0055 mm, 10800 dev/dak için 0,0041 mm olarak meydana gelmiştir.

TiAlN kaplamalı takımdaki deformasyon değerlerindeki ilerleme miktarına bağlı olarak 17875 dev/dak kesim hızında 150 mm/dak ilerleme hızı ve 0,03 mm talaş derinliğinde gerçekleşmiştir. Yine aynı takım için en yüksek deformasyon değeri ise 10800 dev/dak'da, 0,175 mm talaş derinliğinde ve 200 mm/dak ilerleme hızında meydana gelmiştir.

TiN kaplamalı olan takımlarda ise en büyük deformasyon değeri olarak 0,0322 mm okunmuş ve 8350 dev/dak'da 200 mm/dak ilerleme hızında 0,150 mm talaş derinliğinde meydana gelmiştir.

TiN kaplamalı takımlarda meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri devir açısından kıyaslandığında 8350 dev/dak'da 200 mm/dak ilerleme hızında 0,224 mikrometre olarak en düşük seviyede meydana gelmiştir. Alınan yüzey pürüzlülüğü değeri son paso olarak 0,06mm olarak talaş derinliğinde gerçekleşmiştir. Aynı talaş derinliğindeki en düşük kalite 10800 dev/dak'da 200 mm/dak ilerleme değerinde ulaşılmıştır.

TiAlN kaplamalı takımlarda meydana gelen yüzey pürüzlülük değeri 8350 dev/dak kesim hızında 125 mm/dak ilerleme hızında 0,125 mikrometre olarak en düşük sevide ölçülmüştür. Yüzey kalitesinin en düşük olduğu parametrelerde 13600 dev/dak kesim hızında 200 mm/dak ilerleme hızında 0,391 mikrometre olarak meydana gelmiştir.

TiAlN takımından oluşan talaş toz halinde çıkmış ve takımın ve spindle'nin üretmiş olduğu hava akımından etkilendiğinden toplanamamış ve kıyaslanabilir büyüklüğü tespit edilememiştir. TiN takım deneylerinde ise düşük deformasyonlar açığa çıkaran deneylerde talaş yapısı neredeyse aynı, daha büyük deformasyonlara neden olan uygulamalarda ise talaş çapak şeklinde birikerek takımdan ayrılmıştır.

5.1 Öneriler

İmal edilecek olan parçanın kullanıldığı alandaki etkinliğine göre yüzey pürüzlülüğü veya standart parametreleri aralığında isteniyorsa, kriter değerine göre yukarıdakilerden biri seçilebilir. Yapılan çalışmalarda takım aşınması önemsenmemiş parça üzerindeki etkilerine göre kıyaslanmış ve parça esaslı olarak sistem düşünülmüştür.

Plastik-kalıp sektöründe kriter olarak yüzey pürüzlülüğü esas alınmalıdır. Kalıplarda sıkça karşılaşılan ters aç faktörü veya çıkmama gibi problemlerle karşılaşılmaması için yüzey pürüzlülüğü en düşük değerde olacak şekilde parametreler girilmelidir. Mekanizma veya makine imalat sektöründe kullanılacaksa imal edilen parça, parça

deplasman değerlerine kriter olarak alınmalı ve ihtiyaca göre sapma miktarı aralığında değer oluşturacak parametrelerde talaşlı imalat yapılmalı.

Kalıp imalat sektörü için final paso olarak yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla TiN kaplamalı takımlar için 8350 dev/dak 200 mm/dak ilerleme hızında gerçekleştirilmelidir. TiN takımların kullanılması durumunda en iyi yüzey kalitesi için 8350 dev/dak ve 125 mm/dak ilerleme hızında gerçekleşmiştir. Firma bünyesinde bulunan makine özelliklerine göre takım tercih edilmelidir. Makineye ait özellikler her iki takım içinde uygun ise parçaya göre takım tercih edilmelidir.

Mikro frezeleme alanındaki uygulamalar genel anlamda iki boyutlu parçalar üzerinde gerçekleşmiş ve bu konu başlığı altında deneyler yapmıştır. Üç boyutlu parçaların imalatı, montajı gibi konular üzerinde araştırmalar yapılabilir. Üç boyutlu parçaların imalatı başlığı altında mikro takımların tepkileri incelenebilir.

Kullanılan veya kullanılacak olan takımların üç boyutlu modellenmesi ve numerik olarak modellerenerek dayanımının hesaplanması araştırılması gereken yeni bir konu başlığıdır. Takımın kaplamadan kaynaklanan dayanım artışının hesaplanması (takım çap/kaplama kalınlığı oranı) gereken yeni bir araştırma yapılması öngörülebilir. Takımın iş parçası konumuna (açısal) göre dayanımının değişimi göz önüne alınmalıdır. Takımın açısal konumundan kaynaklanan kesit konumunun değişimi nedeniyle atalet momentinin değişim durumu göz önüne alınarak hesaplanabilir.

6.KAYNAKLAR

- Adams, D., Vasileb, M., Benavides, G. and Campbell, A. 2001. "Micromilling of metal alloys with focused ion beam–fabricated tools". Precision Engineering Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology, 25, 107–113.
- Alting, L., FKimura, Hansen, H. N. and Bissacco, G. 2003. "Micro Engineering ". Annals of the CIRP, 522, 635-657.
- Alting, L., Kimura, F., Hansen, H. and Bissacco, G. 2003. "Micro engineering". Annals of CIRP Keynote.
- Backer, W.,Marshall, E. and Shaw, M. 1952. "Trans ASME ". 74.
- Bang, Y.,Lee, K. and Oh, S. 2004. "5-Axis micro milling machine for machining micro parts,". Advanced Manufacturing Technology
- Bao, W. and Tansel, I. 2000. "Modeling micro-end-milling operations. Part I: analytica cutting force model". International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 2155–2173.
- Basuray, P. 1977. "Transition from Ploughing to Cutting during Machining with Blunt Tools". Wear, 433, 341–349.
- Benavides, G.,Adams, D. and Yang, P. (2001). "Meso-Machining Capabilities" Document Number)
- Benavides, G. L.,Adams, D. P. and Yang, P. (2001). "Meso-Machining Capabilities" Document Number)
- Budak, E. 2000. "Improving productivity and part quality in milling of titanium based impellers by chatter suppression and force control". Annals of CIRP 49 31–36.
- Byrne, G.,Dornfeld, D. and Denkena, B. 2003. "Advancing Cutting Technology". Annals of the CIRP, 522, 1-20.
- Chae, J.,Park, S. and Freiheit, T. 2006. "Investigation of micro-cutting operations". International Journal of Machine Tools & Manufacture 46, 313–332.
- Chuzhoy, L. 2003. "Machining Simulation of Ductile Iron and Its Constituents. " Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1252, 192–201.
- Corbett, J., McKeon, P., Peggs, G. and R Whatmore. 2000. "Nanotechnology: international developments and emerging products". Annals of CIRP 49, 523–546.

- Cox, D., Newby, G., Park, H. and Liang, S. 2004. "Performance evaluation of a miniaturized machining center for precision manufacturing". Paper presented at the Proceedings ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition., Anaheim California.
- Craig, R. and Friedrich, J. V. 1996. "Development of the Micromilling Process for High-Aspect-Ratio Microstructures ". *Journal of Microelectromechanical Systems*, 51.
- Dow, T. A., Miller, E. L. and Garrard, K. 2004. "Tool force and deflection compensation for small milling tools". *Precision Engineering*, 28, 31–45.
- Fang, N. 2005. " Tool-chip friction in machining with a large negative rake angle tool. " *Wear*, 258, 890–897.
- Friedrich, C. 1998. "Direct Fabrication of Deep X-Ray Lithography Masks by Micromechanical Milling". *Precision Engineering*, 22, 164–173.
- Grum, J. and Kisin, M. 2003. "Influence of microstructure on surface integrity in turning-part 2: the influence of a microstructure of the work piece material on cutting forces". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43, 1545–1551.
- H.K.Tönshoff. 1990. "Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden. In: Taschenbuch für den Maschinenbau / Dubbel, Hrsg. W. Beitz und K.-H. Küttner. Springer, Berlin".
- Hesselbach, J., Raatz, A. and Wieg, J. 2004. "International state of the art of micro production technology". *Production Engineering*, 111, 29-36.
- Howe, R. T. 2003. " Micro Systems Research in Japan". World Technology Evaluation Center (WTEC).
- J. Chae, S. S. P., T. Freiheit. 2006. "Investigation of micro-cutting operations". *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46, 313–332.
- Jackson, M. J. "Micro and Nanomachining ". 271-297.
- Jardret, V., Zahouani, H., Loubet, J. L. and Mathia, T. G. 1998. "Understanding and quantification of elastic and plastic deformation during a scratch test". *Wear* 218 8–14.
- Jun, M. B. 2005. "Modeling and Analysis of Micro-End Milling Dynamics". Unpublished PhD Dissertation, University of Illinois Urbana-Champaign.
- Kalpajian, S. and Schmid, S. R. (2002). "Manufacturing Processes for Engineering Materials". Paper presented at the Prentice-Hall.

- Kikkeri, B. 1995. "Characterization of micromilling in polymethyl methacrylate". Unpublished M.S. thesis, Louisiana Tech Univ.
- Kim, B., Schmittiel, M. C., Degertekin, F. L. and Kurfess, T. R. 2004. "Scanning grating micro interferometer for MEMS metrology". *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 126, 807–812.
- Kim, J. D. 2004. "Mechanisms of Chip Formation and Cutting Dynamics in the Micro-Scale Milling Process." University of Michigan
- Kim, J. D. and Kim, D. S. 1995. "Theoretical analysis of micro-cutting characteristics in ultra-precision machining". *Journal of materials Processing Technology*, 49, 387–398.
- Kussul, E., Baidyk, T., Ruiz-Huerta, L., Caballero-Ruiz, A., Velasco, G. and Kasatkina, L. 2002. "Development of micromachine tool prototypes for microfactories ". *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 12 795–812.
- Kussul, E. M. 1996. "Micromechanical Engineering, A Basis for the Low-Cost Manufacturing of Mechanical Microdevices Using Microequipment". *Journal of Micromechanics and Micro-engineering*, 64, 410–425.
- Lacalle, L. N. L. d. and Lamikiz, A. 2009. "Machine Tools for High Performance Machining ".
- Lang, W. 1999. " Reflexions on the future of microsystems". *Sensor and Actuators* 72, 1–15.
- Lee, W. B., Cheung, C. F. and To, S. 1999. "Materials induced vibration in ultra-precision machining". *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90, 318–325.
- Lee, W. B., Cheung, C. F. and To, S. 2002. "A micro plasticity analysis of micro-cutting force variation in ultra-precision diamond turning". *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 124, 170–177.
- Li, X., Lin, R. and Leow, K. W. 2000. "Performance-enhanced micro-machined resonant systems with two-degrees-of-freedom resonators". *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 10, 534–539.
- Liu, X., DeVor, R. E., Kapoor, S. G. and Ehman, K. F. 2004. "The mechanics of machining at the micro scale: assessment of the current state of the science". *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 126, 666–678.
- Liu, X., Jun, M. B., DeVor, R. E. and Kapoor, S. G. (2004). "Cutting Mechanisms and their Influence on Dynamic Forces, Vibrations and Stability in Micro-end

- Milling Proceedings ASME". Paper presented at the International Mechanical Engineering Congress and Exposition.
- Lucca, D. A. 1993. "Effect of tool edge geometry on energy dissipation in ultra-precision machining". *Annals of the CIRP*, 42, 83–86.
- Lucca, D. A., Rhorer, R. L. and Komanduri, R. 1991. "Energy dissipation in the ultra precision machining of copper". *Annals of CIRP* 40 1, 559–562.
- Madou, M. J. 1997. "Fundamentals of Microfabrication". CRC Press.
- Masuzawa, T. 2000. "State of the Art Micromachining". *Annals of the CIRP*, 492, 473–487.
- Masuzawa, T. and Fujino, M. 1990. "A process for manufacturing very fine pin tools". *SME Tech. Paper* . MS90, 307.
- Moriwaki, T. and Shamoto, E. 1991. "Ultra precision diamond turning of stainless steel by applying ultrasonic vibration". *Annals of CIRP* 401, 559–562.
- Okazaki, Y., Mishima, N. and Ashida, K. 2004. "Microfactory-concept, history, and developments". *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 126, 837–844.
- Onikura, H., Ohnishi, O. and Take, Y. 2000. "Fabrication of Micro Carbide Tools by Ultrasonic Vibration Grinding, , ." *Annals of the CIRP*, 491, 257–260.
- Orloff, J. 1993. "High-resolution focused ion beams". *Review of Scientific Instruments*, 645, 1105–1130.
- Rooks, B. 2004. "The shrinking sizes in micro manufacturing". *Assembly Automation*, 244, 352–356.
- Rusnaldy, Ko, T. J. and Kim, H. S. 2008. "An experimental study on microcutting of silicon using a micromilling machine". *Int J Adv Manuf Technol*, 39, 85–91.
- Sailer, T. 2001. "Microstructure and mechanical properties of ultrafine-grained hard metals, Int." *J. O. Refractory Metals & Hard Materials*, 19, 553–559.
- Schaller, T., Bohn, L., Mayer, J. and Schubert, K. 1999. "Microstructure grooves with a width of less than 50µm cut with ground hard metal micro end mills". *Precision Engineering*, 23, 229–235.
- Schubert, A. 2007. "Improvement of micro-cutting accuracy by in-process application of 3D-sensors. ., ". Paper presented at the EUSPEN Proceedings, Bremen.
- Shabouk, S. and Nakamoto, T. 2003. "Micro machining of single crystal diamond by utilization of tool wear during cutting process of ferrous material". *Journal of Micro mechatronics*, 21, 13–26.

- Shaw, M. C. 1995. "Precision finishing". *Annals of CIRP* 441, 343–348.
- Takeuchi, Y., Sakaida, Y., Sawada, K. and Sata, T. 2000. "Development of a 5-axis control ultra precision milling machine for micromachining based on non-friction servomechanisms". *Annals of CIRP*.
- Tanaka, M. 2001. "Development of desktop machining microfactory". Focused on *Advances on Micro-mechanical Fabrication Techniques*.
- Tansel, I. N., Nedbouyan, A., Trujillo, M. and Tansel, B. 1998. "Micro end milling extending tool life with a smart work piece holder". *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 38, 1437–1448.
- Tonshoff, H. K. 1988. "Developments and trends in monitoring and control of machining processes". *Annals of CIRP* 372, 611–622.
- Uhlmann, E. and Schauer, K. "Dynamic Load and Strain Analysis for the Optimization of Micro End Mills ". Berlin University of Technology, Berlin.
- Uhlmann, E. and Schauer, K. 2002. "Dynamic Load and Strain Analysis for the Optimization of Micro End Mills ". Berlin University of Technology, Berlin.
- Uriarte, L. 2006. "Comparison between microfabrication technologies for metal tooling". *Journal Mechanical Engineering Science*, 200C, 1665-1676.
- Uriarte, L. 2007. "Error budget and stiffness chain assesment in a micromilling machine equipped with tools less than 0.3 mm in diameter". *Precision Engineering*, 311, 1–12.
- Vasile, C. R. F. a. M. J. MARCH 1996 "Development of the Micromilling Prolcess for High-Aspect-Ratio Microstructures ". *JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS*, VOL. 5NO. 1.
- Vasile, M. and Friedrich, C. 1995. "Micron-size milling tools: Fabrication and use ". *ASPE Spring Topical Meet.*, Apr, 30-33.
- Vogler, M. 2003. "On the Modelling and Analysis of Machining Performance in Micro-EndMilling". University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Vogler, M. P.,Devor, R. E. and Kapoor, S. G. 2003. "Microstructure-level force prediction model for micro-milling of multi-phase materials". *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 125, 202–209.
- Vogler, M. P., Liu, X., Kapoor, S. G., Devor, R. E. and Ehmann, K. F. 2002. "Development of meso-scale machine tool (mMT) systems". *Society of Manufacturing Engineers*, MS02-181, 1–9.

- Weck, M. 1997. "Fabrication of Microcomponents Using Ultraprecision Machine Tools". *Nanotechnology*, 8, 145–148.
- Weinert, K.,Kahnis, P. and Kohler, W. 2003. "Investigation of Scaling Effects on Modelling an Simulation of Scaled Milling Process". *Process Scaling, Proceedings of the 1st Colloquium of DFG Priority Program Process Scaling*, 1071, 12.
- Weule, H.,Huntrup, V. and Tritschler, H. 2001. "Micro-cutting of steel to meet new requirements in miniaturization". *Annals of CIRP* 50, 61–64.
- Yuan, Z. J. 1996. "Effect of Diamond Tool Sharpness on Minimum Cutting Thickness and Cutting Surface Integrity in Ultraprecision Machining". *Journal of Materials Processing Technology*, 624, 327–330.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Ahmet SAMANCIOĞLU
Doğum Yeri	Şahinbey/GAZİANTEP
Doğum Tarihi	17/10/1984
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	Gaziantep Cumhuriyet Lisesi 2001
------	----------------------------------

Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Resmi Ve Konstrüksiyon Öğretmenliği 2008
--------	--

Yüksek Lisans

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

Zorel Makine Makine Tasarım Alanı 2007-2009

Yayınları (SCI ve diğer)