

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİLİĞİ ANABİLİM DALI



**İŞ PARÇASININ TAKIM TEZGAHLARINA PRATİK BİR
ŞEKİLDE BAĞLANMASINI SAĞLAYACAK VAKUM
MENGENE SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

ONUR OĞUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
PROF. DR. MURAT SARIKAYA

SİNOP - 2024

TEZ KABUL

Onur OĞUZ tarafından hazırlanan “**İŞ PARÇASININ TAKIM TEZGAHLARINA PRATİK BİR ŞEKİLDE BAĞLANMASINI SAĞLAYACAK VAKUM MENGENE SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı bu çalışma, 31.10.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Turgay KIVAK
Düzce Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi

İmza

**Üye
(Danışman)**

Prof. Dr. Murat SARIKAYA
Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Salih DAĞLI
Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Hüseyin Turan ARAT

.....

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Onur OĞUZ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İŞ PARÇASININ TAKIM TEZGAHLARINA PRATİK BİR ŞEKİLDE BAĞLANMASINI SAĞLAYACAK VAKUM MENGENE SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

ONUR OĞUZ

SİNOP ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. MURAT SARIKAYA

Bu tezde, talaşlı imalat süreçlerinde üretim verimliliğini artırmaya yönelik bir vakum mengene tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiş ve vakum mengene sisteminin geleneksel parça bağlama yöntemine kıyasla üretim sürecine sağladığı avantajlar ve dezavantajlar analiz edilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, 3 boyutlu olarak tasarlanan vakum mengene sisteminin CNC freze tezgâhında maruz kalacağı en yüksek kesme kuvvetine dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla statik ve yarı statik analizler yapılmıştır. Daha sonra, analizlere göre nihai tasarımı elde edilen vakum mengene sistemini üretmek için, 300x200x30 mm boyutlarındaki 7000 serisi alüminyum malzeme CNC freze tezgahında işlenmiştir. İşlenen malzemenin aşınma ve darbe direncini arttırmak amacıyla yüzeyler eloksallı kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen vakum mengene, parça tutma kapasitesi, titreşim, basınç, yüzey teması ve yüzey pürüzlülüğü gibi parametrelerle test edilmiştir. Yüzey teması ve parça tutma testleri sonucunda elde edilen verilere göre iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda, temas yüzeyinin pürüzlülüğünün artırılması ve yumuşak conta kullanımıyla birlikte mengenenin parça tutma yeteneği önemli oranda iyileştirilmiştir. Son bölümde, vakum mengenesi ve normal mengenede tutulan iş parçalarının CNC freze tezgahında işlenmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve titreşim verileri karşılaştırılmıştır. Vakum mengenesiyle elde edilen sonuçların normal mengene sonuçlarına göre yaklaşık %7-10 oranında daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, vakum mengenesi kullanımının üretim süresini kısalttığını ve ürün yüzey kalitesini artırdığını göstermiştir. Özetle, vakum mengenesinin, hemen hemen tüm sektörlerde ve uygulamalarda parça tutucu olarak kullanılabileceği ve geleneksel mengeneye kıyasla daha verimli bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Tutucu, Vakum mengene, Takım tezgahları, Yüzey pürüzlülüğü, Titreşim, Frezeleme

Ekim 2024, 135 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DEVELOPMENT OF VACUUM VISE SYSTEM FOR PRACTICAL CONNECTION OF WORKPIECE TO MACHINE TOOLS

ONUR OĞUZ

**SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF GRADUATE PROGRAMS
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

SUPERVISOR: PROF. DR. MURAT SARIKAYA

In this thesis, a vacuum holder system was designed and manufactured to enhance production efficiency during machining process and the advantages and disadvantages of the vacuum vise system in production process compared to the traditional clamping method were analyzed. In the first phase of the study, static and quasi-static analyses were performed to evaluate the resistance of the three dimensional designed vacuum vise under maximum cutting forces it would be subjected to on CNC machining center. Later, to produce vacuum vise system whose final design was obtained according to the analysis, 7000 series aluminum material with dimensions of 300x200x30 mm was machined on CNC machining center. In order to increase wear and impact resistance of the machined material, its surfaces were subjected to anodized coating process. Machined vacuum vise was tested with parameters such as part holding capacity, vibration, pressure, surface contact and surface roughness. Relying on the data obtained from the surface contact and part holding tests, improvement works were carried out. In these works, by increasing the roughness of the contact surface and using soft seals, part holding ability of the vacuum vise was significantly improved. In the final section, surface roughness and vibration data obtained from machining the workpieces held by vacuum vise and normal vise on CNC machining center were compared. It was indicated that the results obtained with the vacuum vise were approximately 7-10% better than those with the normal vise. Obtained findings showed that using vacuum vise shortens production time and improves product surface quality. In summary, it was concluded that vacuum vise can be used as a workholding device in almost all industries and applications and is more efficient option compared to the traditional vise.

KEYWORDS: Workholder, Vacuum clamping, Machine tools, Surface roughness, Vibration, Milling.

October 2024, 135 Page

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana rehber olan, bilgi ve birikimleriyle yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen, öğrencisi olma onuruna sahip olduğum saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat SARIKAYA' ya, beraber çalışma imkânı bulduğum, değerli bilgilerini benimle paylaşan, desteklerini esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Salih DAĞLI' ya ve Sayın Öğr. Gör. Yakup İRİM' e ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bu tez çalışmasına, 7230086 numaralı proje kapsamında vermiş oldukları destekten dolayı, TÜBİTAK TEYDEB' e teşekkür ederiz.



Onur OĞUZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ KABUL	İİ
ETİK BEYANI.....	İİİ
ÖZET	İV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	VII
TABLolar DİZİNİ	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVII
1. GİRİŞ	1
2. PARÇATUTUCULAR	5
2.1. Parça Tutucu Sistemlerin Önemi	5
2.2. İmalatta Kullanılan Tutucu Çeşitleri.....	6
2.2.1. Mengeneler	6
2.2.1.1. Tezgâh mengenesi.....	7
2.2.1.2. Matkap pres mengenesi	8
2.2.1.3. Freze mengenesi	9
2.2.1.4. Açılı mengene	10
2.2.1.5. Sinüs mengenesi	11
2.2.1.6. İkili mengene	11
2.2.1.7. Hızlı bırakma mengenesi	12
2.2.2. Gönye.....	12
2.2.3. Ara plakaları	13
2.2.4. V yataklar.....	13
2.2.5. Cıvata ve somun ile bağlama	14
2.2.6. Fikstürler.....	15
2.2.6.1. Plaka fikstürleri.....	16
2.2.6.2. Açılı plaka fikstürleri	17
2.2.6.3. Mengene çeneli fikstürler	17
2.2.6.4. İndeksleme fikstürleri	18
2.2.6.5. Çok istasyonlu fikstürler	19

2.2.6.6. Modüler fikstürler	19
2.2.6.7. Palet sistemleri	20
2.2.6.8. Faz değişim fikstürleri	20
2.2.6.9. Uyarlanabilir fikstürler	21
2.2.7. Torna aynaları	21
2.2.7.1. Üç çeneli torna aynaları	23
2.2.7.2. Dört çeneli torna aynaları	23
2.2.7.3. Manyetik aynalar	24
2.2.7.4. Pens aynaları	25
2.2.7.5. Kombinasyon aynası.....	27
2.2.7.6. Havalı ve hidrolik ayna.....	27
2.2.7.7. Matkap aynası	27
2.2.7.8. Ayna çeneleri	28
2.2.7.9. Yüz plaka	29
2.2.8. Manyetik tutucular	29
2.2.8.1. Elektromıknatis	31
2.2.8.2. Elektromanyetik tabla	31
2.2.8.3. Sürekli elektromıknatis	33
2.2.8.4. Sürekli elektromanyetik tabla	36
2.2.9. Vakum Tutucular	38
2.2.9.1. Havuz ve kanal tipi vakum tutucular	39
2.2.9.2. Delikli tip vakum tutucular	40
2.2.9.3. 3D Vakum tutucular.....	41
2.2.9.4. Vakum fincanlar	41
2.2.10. Yapışkanlı Tutucular.....	42
2.3. Parça Tutmanın Prensipleri.....	43
2.3.1. Konumlandırma	43
2.3.2. Sıkma	45
2.4. İş Parçası Tutucusu Tasarımı	45
2.4.1. Alet tasarımının önemi ve tasarım kriterleri	45
2.4.2. Tasarım İşlemi	46
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	48
3.1. Literatür Değerlendirmesi.....	73
4. MATERYAL VE METOD	77

4.1. Vakum Mengene Sistemleri.....	77
4.2. Endüstride Kullanılan Çeşitli Ürünlerin İncelenmesi.....	79
4.3. Tasarım	81
4.3.1. Gövde.....	81
4.3.2. Sabitleyiciler	83
4.3.3. Vakum kaynağı	85
4.3.4. Diğer sistem bileşenleri ve montaj.....	86
4.4. Teorik Analiz	87
4.4.1. Statik analiz.....	87
4.4.2. Yarı statik analiz	90
4.5. İmalat	92
4.5.1. Eloksoal kaplama	96
4.5.2. Destek elemanları	97
4.6. Deneyler.....	98
4.6.1. Yüzey teması ve basınç kontrolü	98
4.6.2. Vakum mengene kullanılarak parça işlenmesi	100
4.7. İyileştirme Çalışması	103
4.7.1. Tutma kuvveti	103
4.7.1.1. Yüzey pürüzlülüğü.....	103
4.7.1.2. Conta	105
4.7.2. Conta deformasyonu	106
4.8. Son Deneyler.....	106
4.8.1. Titreşim.....	106
4.8.2. Yüzey pürüzlülüğü.....	110
4.8.3. Çekme	112
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	114
5.1. Statik Analiz	114
5.2. Yarı Statik Analiz	115
5.3. Matematiksel Doğrulama.....	115
5.4. Vakum Basıncı ve Yüzey Teması	116
5.5. Vakum Mengene ile Talaşlı İmalat.....	116
5.6. Titreşim.....	119
5.7. Yüzey Pürüzlülüğü	124
5.8. Çekme	126

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	128
KAYNAKLAR	131
ÖZGEÇMİŞ	135



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1 Al 7075-T7351 iş parçasının kesilmesi işleminde kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılmış parametreler	50
Tablo 3.2 Vakum tutucuda kullanılan mat teknik özellikleri	55
Tablo 3.3 Vakum tutucuda kullanılan matların teknik özellikleri	70
Tablo 4.1 Çeşitli fir ürünleri ve özellikleri tablosu (Schunk / Schmalz, Magna Lock USA, Pierson. Workholding, Witte Barskamp, Braillon Magnetis SA, Spreßzer GmbH)	79
Tablo 4.2 Tasarım parametreleri	81
Tablo 4.3 Artiko VE 115 vakum pompasının teknik özellikleri	86
Tablo 4.4 Festo VN-30-L-T6-PI5-VI6-RO2 vakum jeneratörünün teknik özellikleri ..	86
Tablo 4.5 Literatürde çeşitli frezeleme işlemi sırasında oluşan kesme kuvveti değerleri	88
Tablo 4.6 Vakum mengene imalatında kullanılan malzeme, kesici takım ve makinaların teknik özellikleri	92
Tablo 4.7 İlk prototipin parça tutma kabiliyeti test parametreleri	102
Tablo 4.8 Testlerde kullanılan telefon ve ivmeölçer sensörünün teknik özellikleri	108
Tablo 4.9 Titreşim testi kesme parametreleri.....	109
Tablo 4.10 TIME TR100 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı teknik özellikleri	111
Tablo 4.11 Yüzey pürüzlülüğü testlerinde uygulanan kesme parametreleri.....	111
Tablo 5.1 İlk prototipin parça tutma kabiliyeti	117
Tablo 5.2 İyileştirme çalışmalar sonrasında vakum mengenenin tutma kabiliyeti	118
Tablo 5.3 İyileştirme çalışmaları öncesi ve sonrasındaki kesme parametresi değerlerinin karşılaştırılması.....	119
Tablo 5.4 Titreşim deneyinden elde edilen RMS değerleri	120
Tablo 5.5 Farklı türden metallerin kayıp faktörü değerleri	121
Tablo 5.6 Pürüzlülük deneyi ölçüm sonuçları.....	125

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 CNC freze tezgahına bağlanmış bir mengene	6
Şekil 2.2 Bir tezgâh mengenesi ve parçaları.....	7
Şekil 2.3 Döner tabanlı tezgâh mengenesi	8
Şekil 2.4 Matkap mengenesi.....	8
Şekil 2.5 Matkap mengenesinin patlatılmış görüntüsü.....	9
Şekil 2.6 Freze mengenesi ve parçaları	10
Şekil 2.7 Açılı mengene ve açılma verme mekanizması	10
Şekil 2.8 Sinüs mengenesi	11
Şekil 2.9 İkili Mengene	11
Şekil 2.10 Bir hızlı bırakma mengenesi, vidalı mil ve ayrı somun	12
Şekil 2.11 Farklı boyutlarda gönyeler	13
Şekil 2.12 Ayarlanabilir bir gönyenin üç boyutlu çizimi	13
Şekil 2.13 Farklı türden v yataklar	14
Şekil 2.14 V yatak ve mengene ile bağlanmış bir silindirik iş parçası.....	14
Şekil 2.15 İş parçasını tezgâh tablasına doğrudan bağlamada kullanılan aksesuarlar	15
Şekil 2.16 Tablaya doğrudan bağlanmış iş parçası ve bağlama sistemi	15
Şekil 2.17 Bir plaka fikstürü görseli	17
Şekil 2.18 Bir mengene çeneli fikstür, çeneler ve iş parçaları	18
Şekil 2.19 İndeksleme fikstürü kesit görüntüsü	18
Şekil 2.20 Bir dubleks fikstür şematik resmi	19
Şekil 2.21 Bir modüler fikstür	19
Şekil 2.22 Bir palet sistemi şematik resmi	20
Şekil 2.23 Uyarlanabilir fikstür görseli	21
Şekil 2.24 Farklı türden çeneli aynalar	22
Şekil 2.25 Torna aynası çenelerinin senkronize hareket mekanizması	23
Şekil 2.26 Manyetik aynanın çalışma prensibi	24
Şekil 2.27 Manyetik aynanın mıknatısların dizilişi ve aynanın açık-kapalı konumu	25
Şekil 2.28 Bir pens aynasının kesit görüntüsü	25
Şekil 2.29 Yaylı pensler ve pens aynaları	26
Şekil 2.30 Havalı/Hidrolik aynanın kesit görüntüsü	27

Şekil 2.31 Matkap aynası	28
Şekil 2.32 Dilimlenmiş yumuşak şekilli çeneli ayna	28
Şekil 2.33 Bir yüz plaka görseli	29
Şekil 2.34 Manyetik tablanın açık ve kapalı konumu	30
Şekil 2.35 Farklı türden manyetik tutucular	30
Şekil 2.36 Bir elektromıknatısın çalışma prensibi	31
Şekil 2.37 Manyetik tabla ve kontrol ünitesinin görseli	32
Şekil 2.38 Sürekli elektromıknatıs basitleştirilmiş resmi	33
Şekil 2.39 Bir sürekli elektro mıknatıs bileşenlerinin görseli	33
Şekil 2.40 Bir ferromanyetik malzemenin B-H eğrisi	34
Şekil 2.41 Bir EPM cihazının açık ve kapalı konumunun görseli	35
Şekil 2.42 Bir sürekli elektromıknatısın açılıp kapanması durumlarında cihaz bileşenlerdeki akım ve manyetik alan değişimleri	36
Şekil 2.43 Bir sürekli elektro manyetik tabla modeli ve bileşenleri	37
Şekil 2.44 Bir vakum tutucu sisteminin bileşenleri	38
Şekil 2.45 Havuz tipi vakum tutucu	39
Şekil 2.46 Vakum mengenelerle conta kullanılarak iş parçası bağlanmasının görseli...	40
Şekil 2.47 Delik tipi vakum mengeneye iş parçası bağlanması	41
Şekil 2.48 Bir 3D tutucu elemanı	41
Şekil 2.49 Vakum fincanlar	42
Şekil 2.50 Yerleştirmede doğru ve yanlış durumlar	44
Şekil 3.1 Vakum fincan 3D çizimi ve gerçekleştirilmiş ürün	48
Şekil 3.2 Alüminyum vakum tutucu ve iş parçası	49
Şekil 3.3 İmalatı yapılan vakum tutucu ve yardımcı elemanlar	50
Şekil 3.4 İş parçasının geleneksel yöntemle bağlanması ve işlemeye hazır hale getirilmesi	51
Şekil 3.5 Çalışmada kullanılan vakum tutucu sisteminin montaj görüntüsü	52
Şekil 3.6 Tutucu üst kısmı kesit görüntüsü	53
Şekil 3.7 Vakum tabla ve bileşenleri	54
Şekil 3.8 Vakum tabla tutma kuvveti ölçüm testi	55
Şekil 3.9 Pürüzlülük testi için kesilen parça	56
Şekil 3.10 Alan 1 ve Alan 2'nin yüzey pürüzlülük değerleri	56
Şekil 3.11 Tek serbestlik dereceli, titreşim analizi ve kontra titreşim testi	57
Şekil 3.12 Kontra darbenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi	57

Şekil 3.13 Tutucu 3 boyutlu görseli ve sistemin kontra hareketi	58
Şekil 3.14 Titreşim sönümleme kabiliyeti olan tutucu prototipi ön ve arka görünüşü...	58
Şekil 3.15 Hibrit tutucu sisteminin bileşenleri	60
Şekil 3.16 Bir vakum tutucu sistemi elemanları	61
Şekil 3.17 Farklı basınçlarda yük artışı yer değiştirme grafiği	62
Şekil 3.18 Ağırlık uygulanarak yapılan çekme testi	62
Şekil 3.19 İş parçasının dikey çekilmesi testi	63
Şekil 3.20 Tutucu sistemindeki elemanlar ve bir tutucu elemanın görseli	64
Şekil 3.21 Üç farklı tutucu yerleşimi testi düzeni	64
Şekil 3.22 Üç farklı tutucu yerleşiminde talaşlı imalatın ilk 30 dakikasındaki vakum basıncı değişimi grafiği	65
Şekil 3.23 Vakum tutucu	66
Şekil 3.24 Kompozit malzeme talaşının vakum tablada emilim işlemi	67
Şekil 3.25 Tasarlanan vakum tutucunun 3D görselleri, kesit görünüşü, ölçülendirilmesi ve 3D yazıcıda imal edilen ürünler	67
Şekil 3.26 Tasarımı yapılan akıllı vakum tutucu	68
Şekil 3.27 Akıllı vakum tutucu kontrol diyagram	69
Şekil 3.29 Tasarlanan kauçuk malzeme, üzerindeki kanallar ve uygulanan test (Rubio-Mateos vd., 2020)	71
Şekil 3.30 Kauçuk malzemelere uygulanan frezeleme testlerinin görseli	71
Şekil 3.31 Kalınlık hatalarının kesme hızına göre değişimi grafiği	72
Şekil 3.32 Yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına ve diş başı ilerlemeye göre değişimi grafiği	72
Şekil 4.1 Vakum pompasının kullanıldığı vakum mengene sistemi	78
Şekil 4.2 Vakum jeneratörünün kullanıldığı vakum mengene sistemi	78
Şekil 4.3 Vakum mengene gövdesinin 3 boyutlu tasarımı	82
Şekil 4.5 Sabitleyicilerin teknik çizimi.....	84
Şekil 4.6 Sabitleyicilerle iş parçasının desteklenmesi	85
Şekil 4.7 Bir conta ve vakum gövdesi kanalının kesit görüntüsü.....	86
Şekil 4.8 Vakum mengene sistemi tasarımı.....	87
Şekil 4.9 Solidworks Simulations ile statik analize başlanması	89
Şekil 4.10 Vakum mengenenin sabitlenmesi.....	89
Şekil 4.11 İş parçasına basma kuvvetinin etki ettirilmesi	90
Şekil 4.12 İş parçasına yatay kesme kuvvetinin etki etmesi.....	90

Şekil 4.13 Abaqus programında tutucu ve iş parçasına verilen dış etkilerin gösterilmesi	91
Şekil 4.14 Vakum kanallarının işlenmesi üzerinde ön çalışmalar	93
Şekil 4.15 Vakum mengenenin yan kanal ve deliklerinin işlenmesi	93
Şekil 4.16 Kesici takımın vakum kanallarının işlenmesinde izleyeceği takım yolları ...	94
Şekil 4.17 Vakum mengene üst yüzeyinin CNC freze tezgahında işlenmesi	95
Şekil 4.18 Vakum mengenenin eloksallama işlemine tabi tutulması	96
Şekil 4.19 Lazer kesim işlemi ve kesilen sabitleme parçaları	97
Şekil 4.20 Sabitleme parçalarının gövdeye bağlanması ve kullanılması	98
Şekil 4.21 Vakum mengene sisteminin montaj görüntüsü	98
Şekil 4.22 Yüzey temas testi	99
Şekil 4.23 Contanın kanallara uygun şekilde yerleştirilmesi	100
Şekil 4.24 İş parçasının test için komparatör ve sıfırlama ayarının yapılması	101
Şekil 4.25 Test için tezgâh tablasına bağlanmış vakum mengene	101
Şekil 4.26 CNC freze tezgâhı kontrol paneli ekranındaki “asıl pozisyon” sekmesi	102
Şekil 4.27 Yüzey pürüzlülük denemeleri yapılan parçalar	104
Şekil 4.28 Yüzey pürüzlülük cihazı ve pürüzlülük ölçümlerinin yapılması	104
Şekil 4.29 Yüzey pürüzleştirme çalışmasında kesici takımın izlediği takım yolu	105
Şekil 4.30 Pah kırma işleminde kesici takımın izlediği yol	105
Şekil 4.31 Titreşim testi aparatının parçalarına ayrılmış görseli	107
Şekil 4.32 Titreşim ölçme aparatı montajlı görüntüsü	107
Şekil 4.33 Titreşim ölçüm denemelerinde kullanılan takım yolu	109
Şekil 4.34 Matlab’da RMS değerlerinin hesaplanmasında kullanılan kod	110
Şekil 4.35 Mengene ve vakum tutucuda yüzey pürüzlülüğü duvar finışı testleri	112
Şekil 4.36 Vakum mengene çekme deneyi	112
Şekil 5.1 İş parçasına uygulanan yatay kuvvet neticesinde oluşan sürtünme kuvveti değerleri	114
Şekil 5.2 Yarı statik analiz ile elde edilen sürtünme kuvveti değişim grafiği	115
Şekil 5.3 Kullanılan contanın yüzey temasına etkisi	116
Şekil 5.4 Vakum mengene pürüzlü üst yüzeyi	117
Şekil 5.5 Pürüzleştirme öncesi ve sonrası mengene yüzeyleri arasındaki fark	118
Şekil 5.6 Alüminyum iş parçasının vakum mengene ve freze mengenesinde işlenmesinden elde edilen RMS değeri	120
Şekil 5.7 İmalat çeliği iş parçasının vakum mengene ve freze mengenesinde işlenmesin-	

den elde edilen RMS değeri.....	120
Şekil 5.8 İmalat çeliği iş parçasının vakum mengene ve normal mengenede sabit kesme hızlarında ve üç farklı diş başı ilerleme hızında işlenmesinde elde edilen RMS grafikleri	122
Şekil 5.9 Alüminyum iş parçasının vakum mengene ve normal mengenede sabit kesme hızlarında ve üç farklı diş başı ilerleme hızında işlenmesinde elde edilen RMS grafikleri	123
Şekil 5.10 Alüminyum ve çelik iş parçalarının iki farklı kesme hızında vakum mengene ve freze mengenesinde işlenmesi sonucu elde edilen RMS değerleri	124
Şekil 5.11 Vakum mengene ve freze mengenesinde işlenmiş parçalarının yüzey pürüzlülük parametrelerinin karşılaştırılması	125
Şekil 5.12 Çekme deneyinde vakum mengeneye etkiyen gerilmenin birim şekil değiştirmeye göre değişiminin gösterilmesi	126
Şekil 5.13 Çekme deneyinde vakum mengeneye etkiyen dikey kuvvetin şekil değiştirmeye göre değişiminin gösterilmesi	126

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	: Yüzde
°	: Derece
°C	: Santigrat derece
μ	: Malzeme manyetik geçirgenliği
μ_0	: Havanın manyetik geçirgenliği
μ_m	: Kalınlık ölçü hatası
$\emptyset$	: Çap
A	: Yüzey alanı
Al	: Alüminyum
B	: Manyetik akı
B_r	: Kalıcı manyetizma
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
F	: Kuvvet
Fe	: Demir
F_r	: Radyal kuvvet
F_t	: Teğetsel kuvvet
F_x	: X eksenine etkiyen kuvvet
F_y	: Y eksenine etkiyen kuvvet
F_z	: Z eksenine etkiyen kuvvet
f_z	: Diş başı ilerleme
J	: Elektro manyetik kuvvet
H	: Manyetik alan yoğunluğu veya şiddeti
HB	: Brinell sertlik birimi
Mn	: Mangan
Mg	: Magnezyum
N	: Newton
O	: Oksijen
P	: Basınç
R	: Yarıçap
R_a	: Ortalama pürüzlülük
R_z	: Ölçümdeki en yüksek tepeler ile en derin çukurların farklarının ortalaması
RC	: Direnç ve kondansatörden oluşan sinyal filtresi
S	: Manyetik akı geçiş alanı
Ti	: Titanyum
V_c	: Kesme hızı
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

µm	: Mikrometre, milimetrenin binde biri
µs	: Milisaniye
AL	: Alüminyum
AlNiCo	: Alüminyum, nikel ve kobalt bileşiminden oluşan kalıcı mıknatıs
AISI	: American Iron and Steel Institute, Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
BG	: Beygir gücü
CA	: Siyanoakrilatlar
CAD	: Computer-aided design, bilgisayar destekli tasarım
CAM	: Computer-aided manufacturing, bilgisayar destekli üretim
CFRP	: Carbon fiber reinforced polymer, karbon fiber takviyeli polimer
CMM	: Coordinate measuring machine, koordinat ölçüm makinesi
CNC	: Computer numerical control
cm	: Santimetre
dev	: Devir
dk	: Dakika
EPM	: Electropermanent magnet
EVA	: Ethylene vinyl Acetate, etilen vinil asetat
FDM	: Fused deposition modeling, erimiş yığılma modellemesi
FRP	: Fiber reinforced polymer, fiber takviyeli polimer
g	: Gram
GPa	: Gigapascal, gerilme birimi
HSS	: High-speed steel, yüksek hız çeliği
IRHD	: International rubber hardness degree, uluslararası kauçuk sertlik derecesi
ISO	: International Organization for Standardization, Uluslararası Standartlar Teşkilatı
Hz	: Hertz
inHg	: Inches of mercury, basınç ölçüm birimi
kN	: Kilonewton, 1000 Newton
kPa	: Kilopascal, basınç birimi, 1000 pascal
K.T.	: Kesici takım
kW	: Kilowatt
l	: Litre
LVDT	: Linear variable differential transformer, doğrusal değişken diferansiyel transformatör
MDF	: Medium-density fiberboard, orta yoğunlukta lif Levha
M	: Metrik
m	: Metre
mA	: Miliamper
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mm²	: Milimetrekare
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
mmHg	: milimeters of mercury, basınç ölçüm birimi
MPa	: Megapascal, gerilme birimi
Ncm	: Newton santimetre, tork birimi
NBR	: Nitrile-butadiene rubber, nitril kauçuk
NdFeB	: Nodum mıknatıs

NPT, G	: Bağlantılarda kullanılan diş standartları
Pa	: Pascal, basınç birimi
PLC	: Programmable logic controller, programlanabilir mantıksal denetleyici
PC	: Bilgisayar
RMS	: Root mean square, karekök ortalama
rpm	: Revolutions per minute, dakikada dönme sayısı
s	: Saat
Shore	: Esnek malzeme sertlik birimi
Sh.A	: Shore A
SI	: The International System of Units, Uluslararası Birim Sistemi
V	: Volt



1. GİRİŞ

Modern üretim sistemlerinin en temel özelliklerinden biri, çok çeşitli ve yüksek verimli ürünleri mümkün olan en kısa sürede üretebilme yeteneğine sahip olmalarıdır. Pazara hızlı bir şekilde girebilmek, rekabet avantajı sağlamak ve daha yüksek kâr marjı elde edebilmek bakımından önemlidir. Özellikle talep odaklı küçük partili üretim, son yıllarda pazarda öncelik kazanmaya başlamıştır. Tüm bunlar yeni üretim programlarına uyarlatabilen esnek ve sağlam bir üretim sisteminin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Vukelic vd., 2012). Farklı tür malzemelerin üretilmesinde çeşitli araçlara ihtiyaç duyulması, bu araçları kullanacak farklı yeteneklere ve niteliklere sahip personelin gerekliliği, aynı zamanda farklı ürünlerin üretiminde karmaşık üretim planlamalarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durum, yatırımcıların bu tür üretim sistemlerine yatırım yapmasını zorlaştırmaktadır.

Son yıllarda imalat sektöründe çok çeşitli ve düşük hacimli üretime yönelik eğilimin arttığı gözlemlenmektedir. Ancak bu tür üretimin yapılması zaman, maliyet ve nitelikli personel açısından çeşitli zorlukları bünyesinde barındırmaktadır. Bu nedenle, üretime hazırlık süresinin kısaltılması üreticilere birçok bakımdan fayda sağlayacaktır (KOMATSU vd., 2020). Verimliliği arttırmak için üç ana unsur ön plana çıkmaktadır. Bunlar ürün kalitesinin iyileştirilmesi, üretimde hazırlanma sürelerinin kısaltılması ve üretim sürecinin esnekliğidir. Geleneksel bir üretimde, üretilen parçaların takım tezgahlarında geçirdiği sürenin sadece %30'u kesme işlemlerine ayrılmaktadır. Geriye kalan %70'lik dilimde herhangi bir üretim işlemi gerçekleştirilmemektedir. Bu nedenle imalatta üretim süresini kısaltmak için odaklanılması gereken temel nokta aktif üretim dışı faaliyetlerdir. Bu süre; taşıma, kurulum, kesici takım değişimi vb. gibi işlemleri kapsamaktadır (Bıdanda & Rajgopal, 1990)

Üretime hazırlık süreçlerinde bilgi ve organizasyon düzeyini geliştirmek için yeni bilimsel yaklaşımların uygulanması, nihai ürün özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu yaklaşımlar sayesinde üretim maliyetleri ve teslimat süresi olumlu yönde etkilenmektedir. Üretimde teknolojiye ve yeniliğe hızla uyum sağlayan imalat şirketleri, sektörlerindeki faaliyetlerini iyileştirme konusunda önemli bir avantaja sahip olmaktadır.

Çağdaş üretim süreçlerinde, yüksek boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesi kritik bir öneme sahiptir. Elle kesim ile istenilen ölçünün doğru değerde elde edilmesi zordur; bu nedenle büyük ölçekli üretim işlemlerinin yüksek hassasiyette gerçekleştirilmesinde CNC tezgâhları kullanılmaktadır (Manzoor vd., 2017). Talaşlı imalat sürecinin temel unsurlarından biri, iş parçasının tezgâha bağlanma işlemidir. İş parçasını tezgâha bağlamak ve işlenmeye hazır hale getirmek için harcanan süre, özellikle kısa işleme sürelerinde üretim verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Císar vd., 2017). Bir iş parçasının nasıl işleneceği kadar, onun nasıl bağlanacağı ve tutulacağı da son derece önemlidir. Parçanın işlenme yöntemi, bağlanma şeklini belirler (C. Felix, 2010). Hatalı tutucu tercihi, üretimde ciddi gecikmelere neden olabileceği için, iş planlamasında tutucu seçimi son derece önemlidir (Bıdanda & Rajgopal, 1990).

Talaşlı imalat, bir kesme ekipmanı kullanılarak iş parçasından istenmeyen malzemenin uzaklaştırılmasıyla istenen şeklin elde edildiği bir üretim işlemidir. Bu süreçte tutucunun temel görevi, uygulanan kuvvetlere karşı iş parçasını güvenli bir şekilde kavrayarak tutmaktır (Ab Wahab vd., 2018). Tutucu, bu süreçte iş parçasının kesme kuvvetlerinin etkisiyle gevşememesini sağlamalıdır (Beaumont, 1986).

İnce ve düşük cidar sertliğine sahip parçalar genel olarak havacılık, otomotiv, plastik ve elektronik endüstrilerinde kullanılmaktadır (Adli vd., 2021). İnce cidarlı iş parçalarının düşük dinamik rijitliğe sahip olması, talaşlı imalat sırasında titreşim oluşmasına yol açabilir. Uzun kesici takım kullanılması zorunlu olduğunda, bu titreşimler daha da artar. Titreşimler, iş parçasının yüzey kalitesini olumsuz etkileyerek kusurlu parçaların üretilmesine neden olurken, aynı zamanda kesici takım ömrünün de kısılmasına sebep olur (Moehring vd., 2018). İnce kısımlar, talaşlı imalat sürecinde uygulanan kuvvetler nedeniyle deformasyona uğrayabilir, bu da iş parçasının tezgâha bağlanmasını zorlaştırır. Tek seferde işlenemeyen parçalar, farklı bölgelerin işlenebilmesi için tezgâha tekrar tekrar bağlanmak zorunda kalır, bu da parça ölçü doğruluğunu azaltır. Bu nedenle, ince cidarlı parçaların işlenmesi genel bir problem teşkil eder. Parçaların karmaşıklığı arttıkça, tutucu sistemden beklenen özellikler de artar. Bu gibi durumlarda vakum tutucuların kullanılması, belirtilen zorlukları büyük ölçüde giderebilir. Vakum tutucuların üretimde kullanılması, üretkenliği artırırken, sistem kurulum süresini kısaltır ve bakım ile parça maliyetlerini azaltır (Adli vd., 2021). Vakum tutucuların en büyük avantajı, iş parçasına zarar vermeyen bir tutma işlemi gerçekleştirebilmeleridir. Bu tutucuya bağlanan iş parçaları, sıkma nedeniyle oluşabilecek çizilmelere veya kavrama izlerine maruz kalmaz.

Manyetik yöntemlerle tutulamayan ince cidarlı metal parçalar, kompozit ve düz plastik parçaların kullanımının artmasıyla birlikte, vakum mengenesi sistemlerine olan talep de giderek artmaktadır (Ab Wahab vd., 2018).

Robotik sektöründeki gelişmeler sonucunda, robotlar giderek daha çeşitli şekil ve işlevlere sahip olacak şekilde gelişmektedir. Robotların dış koruma parçalarında, hafifliği nedeniyle alüminyum malzeme tercih edilmektedir. Bu alüminyum parçaların CNC tezgahlarında işlenmesi sırasında, tutucu ihtiyacı vakum mengeneler ile karşılanabilmektedir (Yanel vd., 2019).

Mekanik tutucular, ince cidarlı parçaların bağlanmasında verimli değildir. Vakumlu tutucu sistemler ise genellikle ahşap, plastik ve iletken olmayan metallerin endüstrilerinde hızlı ve basit bağlama işlemleri için kullanılmaktadır. Farklı şekillerdeki iş parçalarının bağlanmasında da etkili bir çözüm sunarlar. Bir tutucu sistem olarak vakum tutucular, parçayı daha kararlı bir şekilde kavrar ve titreşimleri daha iyi sönümleyebilir (Adli vd., 2021).

Metal levhaların delinme işlemlerinde, delik giriş ve çıkışlarında çapak oluşumu sıkça meydana gelmektedir. Bu çapaklar, parçanın kullanılacağı makinede fonksiyonel problemlere yol açabilir, montaj işlerinde yaralanmalara neden olabilir ve çapakların giderilmesi için ek işlemler gerektirebilir. Özellikle uçak motoru bileşenleri gibi yüksek ölçü hassasiyetine sahip parçaların çapaklarının giderilmesi, üretim maliyetlerini %30 oranında artırmaktadır. Otomotiv bileşenlerinde ise, orta derecede karmaşıklığa sahip bir parçanın çapak giderilme maliyeti üretim maliyetinin %15-20'si kadardır. Delik delme işlemlerinde vakum mengene sistemlerinin kullanılması, delik çıkışlarındaki çapak oluşumunu önemli ölçüde engellemektedir (Pilný vd., 2012).

Günümüzde çoğu bağlayıcı cihaz, tek tip parça ve belirli bir amaç için tasarlanmıştır. Bu yaklaşım, üretim süresinin uzamasına ve tasarım ile üretim aşamalarında artan maliyetlere neden olmaktadır. İmalat endüstrisinde özel parça tutucularının tasarım ve üretim maliyeti, ürün üretim maliyetlerinin %10-20'sini oluşturabilir. Otomotiv endüstrisinde ise, tutucuların yeniden tasarlanması, üretilmesi ve kurulması için yıllık harcamalar 100 milyon dolara kadar çıkabilmektedir (Jonsson & Ossbahr, 2010).

Vakum mengeneler, birçok önemli avantaja sahiptir. Bunlar arasında bağlama süresini %70 oranında kısaltabilmeleri, ince ve esnek parçaları deforme etmeden bağlayabilmeleri, ince malzemelerin işlenmesinde %90 oranında zaman kazancı

sağlayabilmeleri, sarf malzemesi gerektirmemeleri ve çalışmak için endüstriyel standartlarda bir vakum pompasına ihtiyaç duymamaları yer almaktadır (Ciurezu-Gherghe vd., 2023). Vakum mengenerler, dünya genelinde mobilya, imalat, cam sanayi, uçak, havacılık ve uzay sanayii gibi geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. İşleme, elleçleme, ölçme, kaynaklama, kaplama ve montaj gibi birçok üretim sürecinde, vakumla tutma bileşenleri güvenilir bir teknoloji olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Vakumlu tutucular arasında vakumlu fincanlar, vantuzlu kaplar ve vakum mengenerler en yaygın türlerdendir.(Fuwen, 2014).

(Hayajneh vd., 2007)' çalışmalarında bir takım üreticisinin kesici takım kullanımıyla ilgili yaptığı anket sonuçlarını paylaşmıştır. Buna göre doğru kesici takımın kullanılma oranının % 50 den az olduğu, takımların yalnızca %58'inin nominal kesme hızında kullanıldığı ve takımların yalnızca %38'inin takım ömrü kapasitesinin tamamında kullanılabildiğini göstermektedir. Takım üretici firmaları tarafından seçilen kesme hızları, optimum ekonomik hızların çok altında kalmaktadır. Stabil bir işleme imkânı sunmasıyla titreşimi azaltan tutucuların kullanılması, kesici takım ömrünü arttıracaktır.

Bu tezin amacı, takım tezgâhlarında kullanılan parça tutucu sistemleri hakkında bilgi edinmek, vakum mengenerlerinin avantaj ve dezavantajlarını ayrıntılı bir şekilde incelemek ve diğer tutucularla karşılaştırmaktır. Araştırmadan elde edilen verilerle bir vakum mengene tasarımı ve imalatı gerçekleştirilecektir. Vakum mengenerlerin, farklı tür malzemelerden iş parçalarını işleyebilme kabiliyeti değerlendirilecektir. Bu incelemede, dikkat edilecek başlıca unsurlar titreşim, parça yüzey pürüzlülüğü ve maksimum tutma kuvvetidir.

2. PARÇA TUTUCULAR

2.1. Parça Tutucu Sistemlerin Önemi

İşleme, malzemelerin istenilen şekle boyuta getirilmesi için tezgahlarda kesilmesi işlemidir (P. J. Hoffman vd., 2012). Tezgahlarda işlenen ürünlerin, belirlenen tolerans değerlerinde olması büyük önem taşır. İş parçası istenen boyutlarda üretildiğinde, parça veya kullanıldığı sistem görevini tam olarak yerine getirebilir. Ayrıca, ölçüleri doğru olan eski parçaların yenileriyle değiştirilmesi sırasında uyum sorunu yaşanmayacaktır.

Talaşlı imalat endüstrisi, dünya genelinde günlük olarak kullanılan birçok ürünü üretmektedir. Otomotiv ve havacılık endüstrilerinde üretilen araçlar, talaşlı imalat işlemleriyle hassas bir şekilde işlenmiş parçalar içermektedir. Aynı şekilde, takım tezgâhları günümüzün ileri teknoloji cerrahi işlemlerinde kullanılan birçok tıbbi cihazın üretiminde de rol oynamaktadır. Cerrahi ve dişçilik aletleri, kalp sondaları, diz ve kalça eklem parçaları, omurilik için yedek diskler ve hatta yapay kalpler, yüksek teknolojili talaşlı imalat operasyonlarıyla üretilmektedir. Ayrıca, el aletleri, metal kutular, tavalar ve bardaklar gibi günlük kullanım ürünlerinin yanı sıra, dünya genelinde kullanılan sayısız metal aksam da talaşlı imalat endüstrisinin ürünleridir (P. J. Hoffman vd., 2012). Bu malzemelerin üretiminde genel olarak kullanılan makinalar torna, freze, matkap ve taşlama tezgahlarıdır.

Parça tutma, bir iş parçasının, üzerinde imalat veya montaj işlemlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlamak amacıyla sabitlenmesidir. Bu bağlamda "fıktürleme" terimi de parça tutmayı tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir iş parçası tutma cihazının tasarımı, iş parçasının geometrisi, malzemesi, mekanik özellikleri ve toleransları, imalat işlemlerinin takım yolları ve işleme/montaj kuvvetleri ile kullanılacak makinelerin dikkatlice incelenmesini gerektirir. Ayrıca, hedeflenen kurulum maliyetlerinin karşılanabilirliği de önemli bir konudur. Karmaşık yapıları ve yüksek hassasiyetleri nedeniyle, iş parçası tutma cihazları genellikle yüksek maliyetli olabilir. Bu cihazların maliyetlerini en aza indirmek için, genellikle seri üretimde çok sayıda iş parçasının işlenmesi amacıyla kullanılması beklenir. Tutucu tasarımındaki genel amaç, üretkenliği artırmaktır (Benhabib, 2003).

Tutucuların imalatındaki rolünü daha iyi anlamak için, günümüzde yaygın olarak kullanılan tutucu sistemlerini incelemek önemlidir. Farklı tür tutucular, çeşitli amaçlar için kullanılır

ve her birinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Tutucu sistemlerinin detaylı incelenmesi, yüksek performanslı, verimli ve amaca hizmet eden bir ürünün geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

2.2. İmalatta Kullanılan Tutucu Çeşitleri

Bir iş parçasının tezgahlarda işlenebilmesi için, işleneceği konumda güvenli bir şekilde tutulması gerekmektedir. İş parçasını tutma kuvveti, parça yüzey hassasiyeti, yüzey kalitesi ve iş parçasının ömrü açısından kritik öneme sahiptir. Tutulan parçalar temel olarak iki gruba ayrılabilir: düz sac şeklindeki parçalar ve üç boyutlu bloklar (Susnjara, 1999).

2.2.1. Mengeneler

Mengeneler, parça tutmada yaygın olarak kullanılan parça tutuculardır. İş parçasını kavrayan hareket ettirilebilir çenelere sahip olan mengeneler, genellikle tezgâh tablasına cıvatalar ile bağlantı sağlanarak monte edilir. Büyük boyutlu parçaların bağlanmasında birden fazla mengene birlikte kullanılabilir. Mengeneler, iş parçalarını genellikle birbirlerine paralel olan yüzeylerinden tutarlar (Gizelbach, 2009). CNC freze tezgahının tablasına bağlanmış bir mengeneyi Şekil 2.1'de görmek mümkündür. İş parçası, çeneler arasına yerleştirilir. Kol çevrildiğinde, güç vidalı mile aktarılır ve çeneler, parçayı sıkıştırarak sabitler. İş parçasının, çenelerin üst tarafında kalan kısmının ölçüsünü ayarlamak amacıyla, genellikle iş parçasının altına altlıklar yerleştirilir. Çenelerin hareketi, el gücüyle sağlanabildiği gibi, pnömatik veya hidrolik güçle çalışan mengeneler de mevcuttur. Ayrıca, parçayı dik ekseni boyunca döndürebilen döner tabanlı mengeneler de özel durumlarda kullanılmaktadır (Gizelbach, 2009).

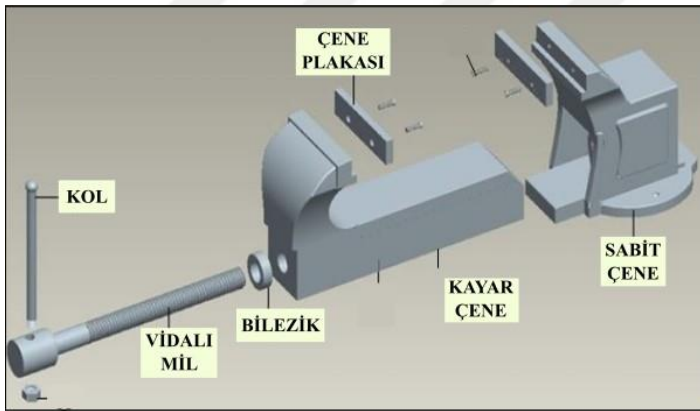


Şekil 2.1 CNC freze tezgahına bağlanmış bir mengene (Gizelbach, 2009)

2.2.1.1. Tezgâh mengenesi

Tezgâh mengenesi, kesme, bileme, frezeleme, delme, taşlama gibi işlemlerde iş parçasını tutmak veya sıkıştırmak için kullanılan bir alettir. Genellikle biri sabit diğeri hareketli olmak üzere iki çeneye sahiptir. Vidalı mil aracılığıyla çeneler birbirlerinden uzaklaşır veya birbirlerine yaklaşır. Mengenerler, tezgâh tablasına cıvata ve somunlar ile sabitlenir (İdris vd., 2022). Rahat bir çalışma ortamı sağlanabilmesi için mengenerlerin uygun yükseklikte sabitlenmesi gerekmektedir (P. J. Hoffman vd., 2012).

Çoğu tezgâh mengenesinde hafif çekiçleme işlemlerine olanak sağlamak için çenelerin arka kısmında küçük bir örs alanı bulunur. Çekiçleme işlemi sadece bu alana uygulanmalıdır. Mengenerler, taban yapılarına göre döner tabanlı ve sabit tabanlı olmak üzere iki gruba ayrılır. Döner tabanlı mengenerler, iş parçasının daha iyi konumlandırılabilmesi için dönebilen ve gerektiğinde sabitlenebilen bir tabana sahiptir. Sabit tabanlı mengenerler ise tezgâha sabit bir konumda monte edilir. Bu mengenerler genellikle döküm yöntemiyle yekpare olarak üretilir ve tezgâha üç cıvata ile doğrudan bağlanır (P. J. Hoffman vd., 2012).



Şekil 2.2 Bir tezgâh mengenesi ve parçaları (Chougule & Waghmare, 2015)

Mengene çeneleri, pim veya vidalarla sabitlenmiş ve değiştirilebilen parçalardan oluşan kavrama yüzeyleridir. Çeneler, malzeme çeşidine göre iki ana gruba ayrılır: yumuşak ve sert çeneler. Sertleştirilmiş çelik çeneler, iş parçasını tutarken yüksek tutma kuvvetinin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Çeneler, kanallı, tırtıklı veya düz ve pürüzsüz yüzeylere sahip olabilirler. Sert çelik çeneler, iş parçası yüzeylerinde hasara neden olabilecek özellikler taşıyabilirler (P. J. Hoffman vd., 2012).

Tecrübesiz bir operatörün çeneleri aşırı sıkma eğilimi, parça deformasyonuna ve hatalara

yol açabilir. Yumuşak çeneler genellikle alüminyum, plastik veya ahşap gibi yumuşak malzemelerden üretilir ve hassas iş parçalarının tutulmasında kullanılır. Özel olarak işlenmiş bu çeneler, genellikle fikstür sistemlerinin çeşitli yerlerinde ve çoklu operasyonlarda tercih edilir. Üzerlerine iş parçası veya iş numarası gibi bilgilerin kolayca kazınabilmesi, kurulumlarda hızlı değişim imkânı sağlar. Çoklu kullanımlar sonrasında atıldıkları veya geri dönüştürüldükleri için sarf malzemesi olarak kabul edilirler (İdris vd., 2022). Yumuşak çenelerin bir avantajı, kesici takımın çene malzemesini kesmesi durumunda, kesici takıma zarar vermemesidir. Parçanın çenelerin tuttuğu yüzeylerinin işlenmesi gerektiğinde, yumuşak çeneler tercih edilebilir; bu uygulama sertleştirilmiş çenelerde mümkün değildir. Örnek bir tezgâh manglesi Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Döner tabanlı tezgâh manglesi (P. J. Hoffman vd., 2012)

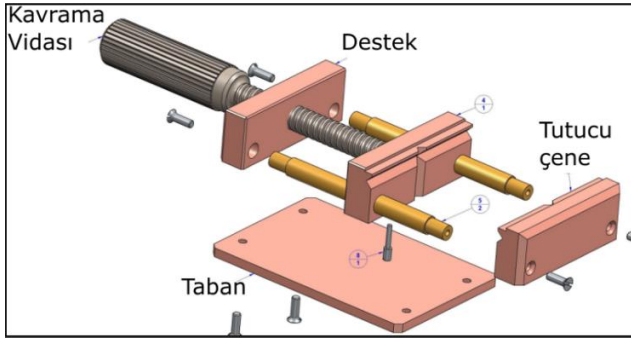
2.2.1.2. Matkap pres manglesi

Matkap pres manglesi, kullanım kolaylığı ve hızlı kurulum imkânı sunar. Tezgâh mangleslerine benzemekle birlikte, daha düşük bir profile, hassas bir düz tabanlı yatağa ve pürüzsüz çenelere sahiptir. (P. J. Hoffman vd., 2012). Örnek bir matkap manglesi Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Matkap manglesi (P. J. Hoffman vd., 2012)

İş parçası, bir çift altlık üzerinde mengeneyle yerleştirilir ve hareketli çene, iş parçasını sabitlemek için sıkılır. Matkap pres mengenesi sıkılırken, iş parçasının altlıklar üzerine düzgün bir şekilde oturmasını sağlamak için yumuşak yüzeyli bir çekiçe vurulmalıdır. Silindirik iş parçalarını bağlarken, daha geniş bir altlık kullanmak ve bu altlığı parçanın alt yüzeyine konumlandırmak gerekir. Yüzeyleri hassas bir şekilde taşlanmış v şeklindeki yuvalara sahip çeneler, silindirik ve yuvarlak iş parçalarının bağlanmasında kullanılabilir (P. J. Hoffman vd., 2012). Şekil 2.5'te bir matkap mengenesinin parçalarına ayrılmış görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.5 Matkap mengenesinin patlatılmış görüntüsü (URL-1, 2023)

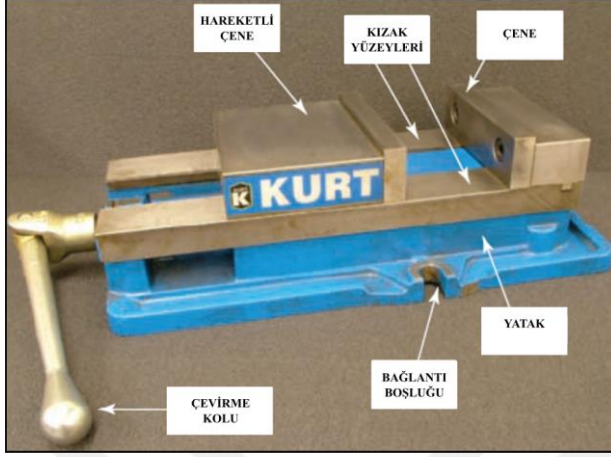
2.2.1.3. Freze mengenesi

Freze mengeneleri, matkap mengenelerine benzemekle birlikte daha yüksek hassasiyete sahiptir ve frezeleme işlemlerinde en sık kullanılan tutucu aletlerdendir. Bu mengeneler, birbirine paralel iki kenarı olan veya karşılıklı dış büküye yüzeylere sahip iş parçalarını bağlamak için idealdir. İnce iş parçaları bağlanırken, parçanın bağlama kuvveti altında eğilmemesi için yeterli kalınlığa sahip olması önemlidir.

Freze mengenesi, yatak adı verilen ağır ve düz bir bölümden oluşur. Sabit çene, yatağın arka tarafında yer alır ve hareket etmez. Sabit çene ya yatakla beraber tek parça halinde üretilir ya da soket başlı vidalar ve pimlerle yatağa sabitlenir. Yatağın üst kısmında, yataklama yüzeyi adı verilen iki hassas kızak bulunur. Mengene kolu döndürüldüğünde, hareketli çene yataklama kızakları üzerinde ileri geri hareket ederek iş parçasını sıkar veya gevşetir. Şekil 2.6'da bir freze mengenesi ve parçaları gösterilmektedir (P. J. Hoffman vd., 2012).

Matkap pres mengenelerinde kullanılan altlıklar, freze mengenelerinde de benzer şekilde kullanılmaktadır. Altlıklar, iş parçasının düzgün bir şekilde oturmasını sağlamak için sentil olarak işlev görebilir. Mengene sıkılırken, iş parçasının her bir köşesine yumuşak

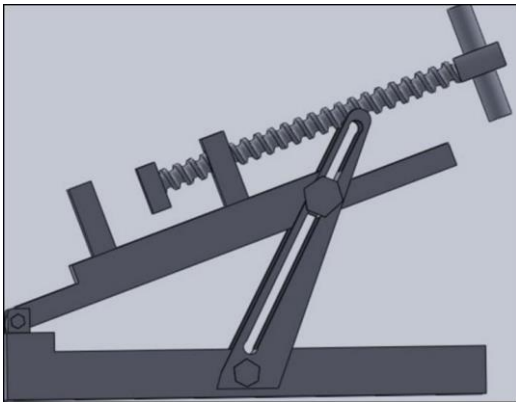
yüzeyli bir çekiçe hafifçe vurularak, iş parçasının düzgün bir şekilde oturduğundan emin olunmalıdır. Freze mengeneleri, doğrudan makine tablasına veya döner bir tabanın üzerine monte edilebilir (P. J. Hoffman vd., 2012).



Şekil 2.6 Freze mengenesi ve parçaları (P. J. Hoffman vd., 2012)

2.2.1.4. Açılı mengene

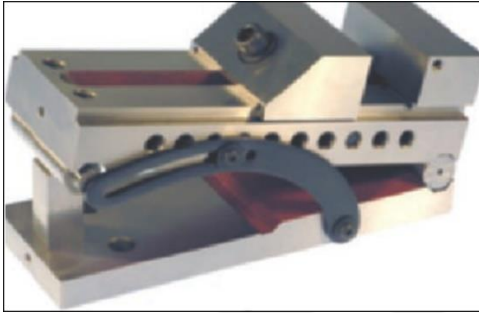
Açılı mengeneler, matkap pres mengenesinin bir varyasyonudur ve iş parçasının istenilen açıda tutulabilmesi için ayarlanabilir bir özelliğe sahiptir. Bu mengenelerde, iş parçasının açı ayarını sağlamak için basit bir mekanizma bulunur; bu mekanizma, eğim açısını sabitlemek amacıyla kullanılır (Baril, 1987). Menteşeli bir yatağı destekleyen taban plakasına sahip olan bu mengene, frezeleme işlemleri sırasında istenilen açıda döndürülebilir ve sabitlenebilir. Bu özellik, iş parçasının belirli bir açıyla işlenmesini kolaylaştırarak, yüksek hassasiyet gerektiren işlemlerde kullanışlılık sağlar (P. J. Hoffman vd., 2012). Açılı mengene 3 boyutlu modelinin yandan görünüşü ve hareket mekanizması Şekil 2.7’de gösterilmektedir



Şekil 2.7 Açılı mengene ve açı verme mekanizması (Babu, 2019)

2.2.1.5. Sinüs mengenesi

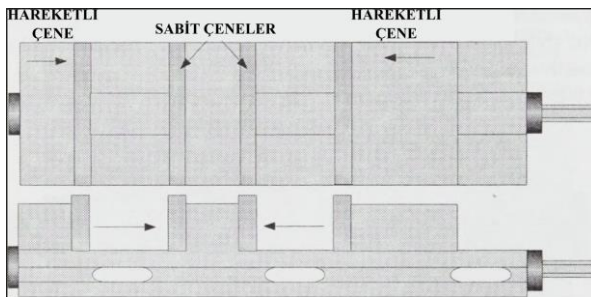
Açılı mengenenin benzer bir versiyonu olan sinüs mengenesi eğim açısının daha hassas bir şekilde elde edilmesinde kullanılmaktadır (P. J. Hoffman vd., 2012). Açılı mengenelerde, açı ayarını sağlamak için düz çubuğun yerini eğik kanallı bir parça almıştır. Bu eğiklik, mengeneye daha hassas açı vermeyi mümkün kılar. Sinüs mengenesinin bir görüntüsü Şekil 2.8'de gösterilmektedir. Farklı açı değerlerinin elde edilebilmesi için, eğik parça üzerindeki kanaldan geçen sıkıştırma parçası, eğik mengene gövdesinin yan yüzeylerindeki çeşitli deliklere yerleştirilmelidir.



Şekil 2.8 Sinüs mengenesi (P. J. Hoffman vd., 2012)

2.2.1.6. İkili mengene

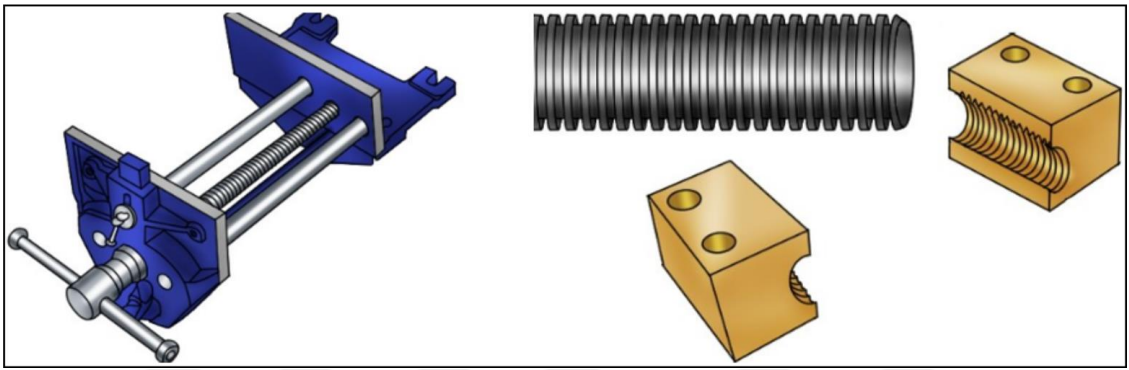
İkili CNC mengenesi, sabit çeneye doğru parça sıkıştırmak için tasarlanmış iki hareketli çene ve iki kenetleme bölümü içerir. Yenilikçi tasarımı sayesinde, bir vidalı mil aracılığıyla sabit çeneye zıt yönlerde ve eşit büyüklükte kuvvetler uygulanır. Bu özellik, farklı parçaların birlikte bağlanarak tek seferde işlenebilmesini sağlar. Hareketli çeneler, bünyelerinde bulunan eğilme önleyici küresel mekanizma sayesinde, çene eğimi olmadan iş parçalarına mükemmel hizalanma imkânı sunar. Böylece, her bir bölmeye farklı boyutlardaki iş parçaları bağlanabilir (Madison, 1996). Tutucu şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 İkili Mengene (Madison, 1996)

2.2.1.7. Hızlı bırakma mengenesi

Hızlı bırakma mengeneleri, çenelerin basit bir hareketle açılmasını sağlayan özel bir mekanizmaya sahiptir. Bu sistem, bölünmüş bir somun içeren benzersiz bir tasarıma dayanır. Somun, vidalı mili tutarak mengenenin ana gövdesi içinde yer alır. Ayrık somun, bir manivela veya kulp aracılığıyla açılabilir, böylece ana vidalı milin kilidi çözülür ve çene, vidalı mil üzerinde serbestçe hareket edebilir. Çeneler uygun konuma geldiğinde, somun tekrar devreye girer ve mili yerine sıkıca kilitler. Bu mekanizma, sıkıştırma işlemini büyük ölçüde hızlandırarak üretkenliği artırır (URL-2, 2023). Bir hızlı bırakma mengenesi ve ayrık somun görüntüsü Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Bir hızlı bırakma mengenesi, vidalı mil ve ayrık somun (URL-2, 2023)

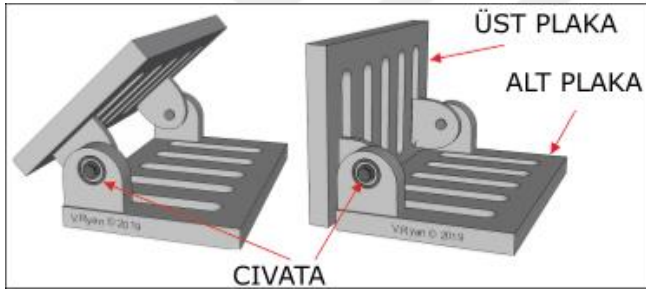
2.2.2. Gönye

Gönyeler, düz yüzeyleri tezgâh tablasına dik olacak şekilde karmaşık şekilli iş parçalarını bağlamak için kullanılır. İş parçası delikliyse, gönye üzerindeki deliklere uygun vidalar veya cıvatalar aracılığıyla bağlanabilir. Deliksiz parçalar ise bir işkence kullanılarak gönye üzerine sıkıştırılabilir. Bu yöntem, iş parçasının stabil bir şekilde sabitlenmesini sağlar ve işlem sırasında hassasiyetin korunmasına yardımcı olur. (Gizelbach, 2009). Şekil 2.11'de farklı boyutlarda gönyeler gösterilmektedir. Gönyeler, yalnızca parça bağlamada değil, aynı zamanda tablaya yerleştirilen ve başka bir tutucuyla sıkıştırılmış parçaların desteklenmesinde de kullanılır. Bu, iş parçasının stabilitesini artırır ve işleme sırasında daha iyi bir konumlandırma sağlar (P. J. Hoffman vd. 2012).



Şekil 2.11 Farklı boyutlarda gönyeler

Ayarlanabilir gönyeler, farklı bağlama açıları gerektiren uygulamalarda kullanılır. Bu gönyelerde iki plaka, menteşe işlevi gören cıvata ve somunlarla birbirine bağlanmıştır. Cıvataların gevşetilmesi, üst plakanın açısının değiştirilmesini sağlar. Açı ayarlandıktan sonra, somunlar sıkılarak plakalar istenen açıda sabitlenir. Örnek bir ayarlanabilir gönyenin resmi Şekil 2.12’de gösterilmektedir (Ryan, 2019).



Şekil 2.12 Ayarlanabilir bir gönyenin üç boyutlu çizimi (Ryan, 2019)

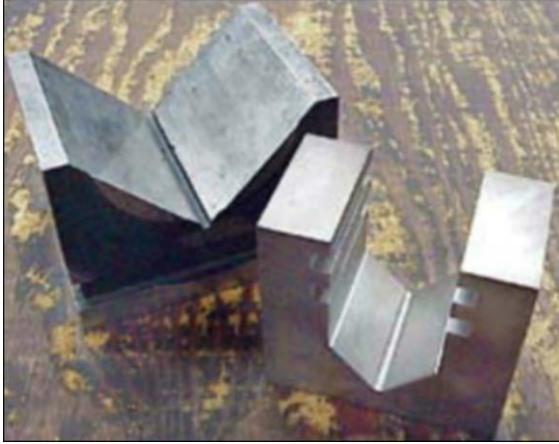
2.2.3. Ara plakaları

Düz, taşlanmış, üzerinde hassas şekilde rayba çekilmiş delikler bulunan plakalardır. (Gizelbach, 2009). Tezgâh tablasına, tezgâh koordinat eksenine sıfırına göre belli bir mesafede yerleştirildiklerinde, iş parçası konumlandırılmasında kolaylık sağlarlar. Bu durum parça bağlama ve sıfırlama süresini minimize etmektedir. Özellikle aynı parçanın çoklu üretimlerinde tercih edilmektedirler.

2.2.4. V yataklar

Silindirik iş parçalarının bağlanmasında kullanılan v yataklar çelik veya dökme demirden imal edilmektedirler. Tezgâh tablasına mengene veya kelepçeler ile bağlanabilirler. (Gizelbach, 2009). Çelik veya dökme demirden imal edilmektedirler. Şekil 2.13’te farklı

tür v yataklar gösterilmektedir.



Şekil 2.13 Farklı türden v yataklar (Gizelbach, 2009)

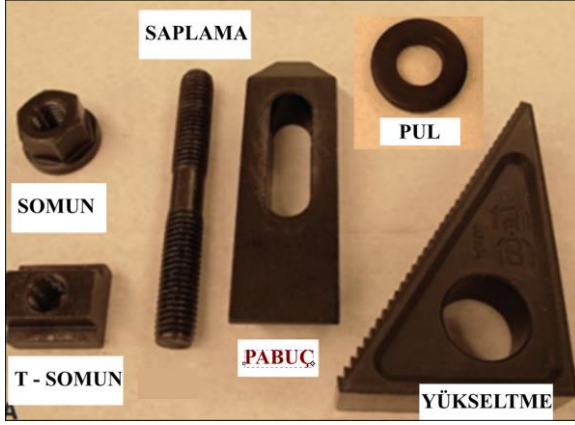
Parça sıkıştırmada U şekilli kelepçeler ile birlikte kullanılabilirler. Kare veya dikdörtgen bir iş parçasını 45° açıyla tutmak için de kullanılabilirler. V yatak ve parça arasında iki noktada temas vardır. Parçaya üstten baskı uygulandığında sıkışma ve tutma gerçekleşmektedir (P. J. Hoffman vd., 2012). Mengene ve v yatak ile bağlanmış silindirik bir parçanın görseli Şekil 2.14’te verilmiştir.



Şekil 2.14 V yatak ve mengene ile bağlanmış bir silindirik iş parçası

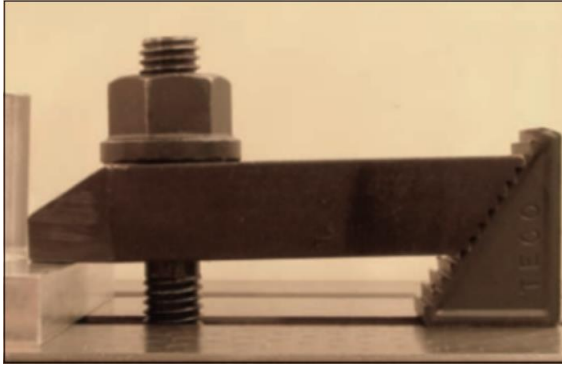
2.2.5. Cıvata ve somun ile bağlama

Karmaşık şekilli ya da çok büyük boyutlu parçalar tezgâh tablasına cıvatalar yardımıyla doğrudan bağlanabilmektedir (Gizelbach, 2009). Tablaya doğrudan bağlamda kullanılan aksesuarlar Şekil 2.15’te gösterilmektedir.



Şekil 2.15 İş parçasını tezgâh tablasına doğrudan bağlamada kullanılan aksesuarlar (P. J. Hoffman vd., 2012)

Üçgen şekilli, bir kenarı kademeli olan yükseltmeler, pabuçlara destek sağlar ve pabuçların yüksekliğinin ayarlanmasında kullanılır. T somun ve saplama, tezgâh tablasındaki kanal yardımıyla iş parçasının güvenli bir şekilde bağlanmasında kullanılır. Destek pabuçları, iş parçası sıkıştırılırken parçaya alttan destek vererek sıkıştırma sırasında oluşabilecek deformasyonu önler. Şekil 2.16'da, T somun, saplama ve yükseltme ile yapılmış bir bağlantının örnek resmi gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Tablaya doğrudan bağlanmış iş parçası ve bağlama sistemi (P. J. Hoffman vd., 2012)

2.2.6. Fikstürler

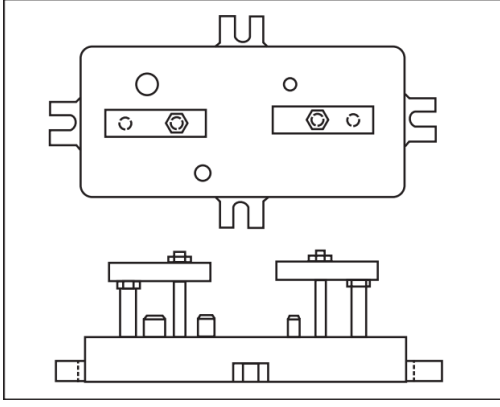
Fikstürler özel şekilli parçaları tutmak ve konumlandırmak üzere tasarlanmış ve üretilmiş tutucu sistemlerdir. Üretimin çok olduğu durumlarda ve mengenelerle veya tek bir tutucuyla tutulamayan özel şekilli parçaların tutulmasında kullanılırlar. Parçaların bağlanıp serbest bırakılma süresini kısaltacak şekilde tasarlanmışlardır. (Gizelbach, 2009). Bünyelerinde farklı türden tutucuları bulundurabilirler.

Frezeleme işlemlerinde kullanılan fikstürlerin, işlem sırasında oluşan yoğun kuvvetlere ve şiddetli titreşimlere karşı dayanıklı olması gerekir. Bu kuvvetler, sağlam ve rijit bileşenler tarafından absorbe edilmelidir. Etki kuvvetleri, sistemin zayıf noktalarına, özellikle kavrama elemanlarına veya hareketli parçalara yönlendirilmemelidir. Eğer sistemde bir mengene kullanılıyorsa, frezeleme sırasında meydana gelen itici kuvveti, hareketli çene yerine sabit çeneye yönlendirmek, daha güvenilir ve stabil bir bağlantı sağlar. Bu yöntem, iş parçasının yerinden oynamasını önler ve işleme kalitesini artırır (Joshi, 1998).

Fikstürler kullanıldıkları makineye, gerçekleştirdikleri eyleme veya kendilerini oluşturan bileşenlerin özelliklerine göre gruplandırılabilirler. Birçok fikstür farklı özellikteki yapıların bir kombinasyonu ile oluşturulmaktadır ancak genel olarak fikstürler plaka fikstürleri, açılı plaka fikstürleri, mengene çeneli fikstürler, indeksleme fikstürleri ve çok istasyonlu fikstürler olmak üzere beş gruba ayrılabilir (J. G. Nee vd., 2010).

2.2.6.1. Plaka fikstürleri

Plaka fikstürleri, bir plaka üzerinde çeşitli sabitleyici, destekleyici ve kavrayıcı elemanların yer aldığı, en yaygın kullanılan fikstür türlerinden biridir. Bu tür fikstürler, iş parçalarının güvenli bir şekilde sabitlenmesini ve işleme sürecinin hassasiyetle yürütülmesini sağlar. Modifiye edilebilir yapıları sayesinde, farklı iş parçalarına ve çeşitli takım tezgahlarına kolayca uyarlanabilirler. Plaka fikstürleri, üretim sürecinin gereksinimlerine göre farklı malzemelerden üretilebilir. Bu malzemeler arasında alüminyum, magnezyum ve takım çeliği gibi dayanıklı ve işlemeye uygun metaller bulunur. Alüminyum ve magnezyum, daha hafif ve kolay işlenebilir özellikleriyle öne çıkarken, takım çeliği yüksek mukavemet ve aşınma direnci sağlar. Bu özellikleri sayesinde plaka fikstürleri, çeşitli sanayi dallarında ve üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılır. Plaka fikstürlerinin modifiye edilebilir olması, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre sabitleyici ve destek elemanlarının konumlarını ve tiplerini değiştirebilme imkânı sunar. Bu esneklik, plaka fikstürlerinin farklı boyut ve şekillerdeki iş parçalarını işleyebilmesine olanak tanır ve bu da onları birçok uygulama için ideal bir çözüm haline getirir. (J. G. Nee vd., 2010). Örnek bir plaka fikstürü görseli Şekil 2.17’de gösterilmektedir.



Şekil 2.17 Bir plaka fikstürü görseli (J. G. Nee vd., 2010)

Plaka fikstürü görünüm ve işlev bakımından mengeneli fikstüre benzerken, ikisi arasındaki temel fark tutulacak iş parçasının boyutudur. Plakalı fikstürler, mengeneli fikstürlere göre daha büyük ve ağır parçaları tutmak için tasarlanmıştır (E. Hoffman, 2012).

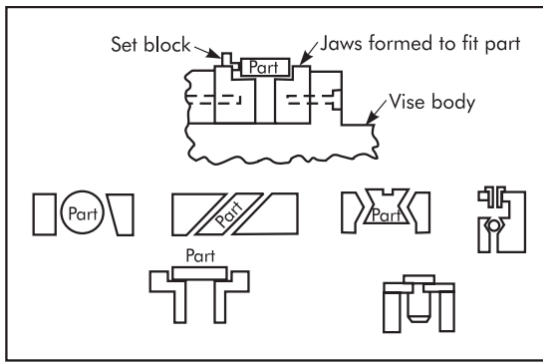
2.2.6.2. Açılı plaka fikstürleri

Açılı plaka fikstürleri, plaka fikstürlerinin modifiye edilmiş formudur. Burada fikstürün montaj yüzeyi referans yüzeyine dik konumlandırılmıştır. Bu yapı, fikstürün birincil referans yüzeyine dik olarak gerçekleştirilen işleme operasyonları için kullanışlıdır. Açılı plaka fikstürlerinin başka bir versiyonu da değiştirilmiş açılı plaka fikstürüdür (J. G. Nee vd., 2010). Bu tasarımda 90°'lik açı istenildiği gibi değiştirilebilmektedir. Açılı plaka fikstürleri imalatı çok çeşitli operasyonlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Hemen hemen tüm takım tezgahlarına uyarlanabilmektedirler (E. Hoffman, 2012).

2.2.6.3. Mengene çeneli fikstürler

Mengene çeneli fikstürler, standart mengene çenelerinin modifiye edilmesiyle oluşturulan ve belirli iş parçalarına uyum sağlamak için kullanılan fikstürlerdir. Bu tür fikstürlerde, sertleştirilmiş ve genellikle sabit olan standart mengene çenelerinin yerini, belirli iş parçalarına uyacak şekilde özel olarak işlenmiş modifiye çeneler alır. Mengene çeneli fikstürler, basit ve ekonomik bir çözüm sunar. Üretilmesi en ucuz fikstür türlerinden biridir, çünkü yapılarında çok az sayıda parça bulunur ve bu parçaların modifikasyonu oldukça basittir. İşleme esnasında farklı iş parçalarına uyum sağlamak için sadece çenelerin değiştirilmesi veya uygun şekilde ayarlanması yeterlidir, bu da bu fikstürleri oldukça esnek kılar. Bununla birlikte, mengene çeneli fikstürlerin bazı

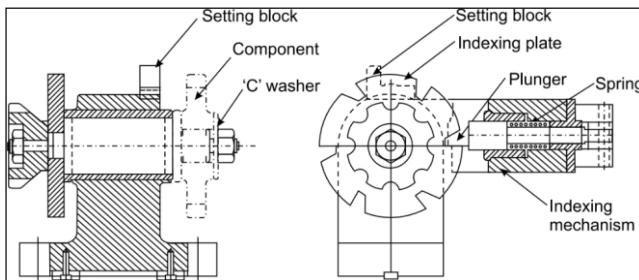
kısıtlamaları da vardır. En belirgin sınırlama, mengenenin kapasitesine karşılık gelen iş parçası boyutlarıdır. İşlenecek parçalar, mengenerin çene genişliği ve açılma kapasitesi dahilinde olmalıdır. Bu nedenle, büyük veya karmaşık parçaların işlenmesi gerektiğinde bu tür fikstürlerin kullanımı sınırlı olabilir. Mengene çeneli fikstürlerin bir diğer avantajı ise, standart çenelerin yerine özel çenelerin kullanılması sayesinde, farklı parçaların hızlı bir şekilde yerleştirilmesi ve sabitlenmesidir. Bu, üretim sürecinde hız ve esneklik kazandırır, aynı zamanda operatörlerin işleme süreçlerini daha verimli hale getirir. (J. G. Nee vd., 2010). Mengene çeneli fikstür ve parçalarını içeren görsel Şekil 2.18’de gösterilmektedir.



Şekil 2.18 Bir mengene çeneli fikstür, çeneler ve iş parçaları (J. G. Nee vd., 2010)

2.2.6.4. İndeksleme fikstürleri

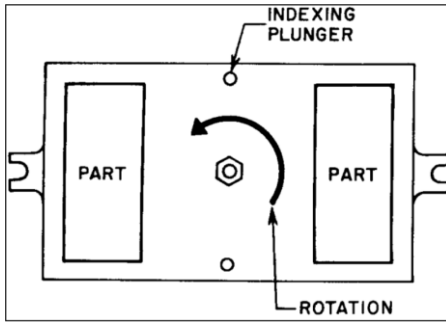
İndeksleme fikstürleri, iş parçalarını belirli bir açıyla hassas bir şekilde döndürmek için kullanılan cihazlardır. Bu fikstürler, genellikle frezeleme, delme ve işleme operasyonlarında kullanılır ve özellikle parçaların eşit bölmelere ayrılması gereken işlemlerde büyük bir avantaj sağlar. Örneğin, frezeleme işlemlerinde ceplerin veya deliklerin eşit aralıklara yerleştirilmesi gerektiğinde, indeksleme fikstürleri operasyonu oldukça kolaylaştırır. (Venkataraman & Venkataraman, 2015). Şekil 2.19’da bir indeksleme fikstürü ve bileşenlerinin kesit görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.19 İndeksleme fikstürü kesit görüntüsü (Venkataraman & Venkataraman, 2015)

2.2.6.5. Çok istasyonlu fikstürler

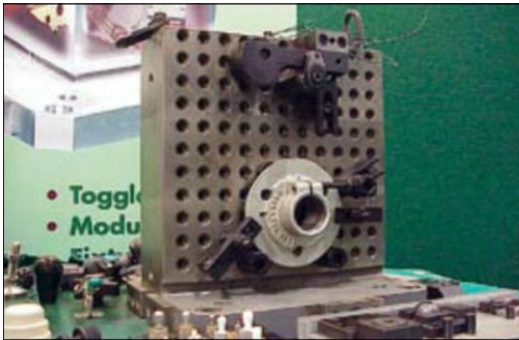
Çok istasyonlu fikstürler birden çok parçayı aynı anda aynı şekilde işlemek veya parçaları her bir istasyonda birbirinden farklı operasyonlarla işlemek için kullanılırlar (J. G. Nee vd., 2010). Öncelikle, işleme döngüsünün sürekli olması gereken yüksek hızlı, yüksek hacimli üretim çalışmaları için kullanılırlar. Dupleks fikstürler, yalnızca iki istasyon kullanan çok istasyonlu fikstürlerin en basit formudur. Bu form, talaşlı imalat işlemi devam ederken yükleme ve boşaltma işlemlerinin yapılmasını sağlar. (E. Hoffman, 2012). Örnek bir dupleks fikstür Şekil 2.20’de gösterilmektedir.



Şekil 2.20 Bir dupleks fikstür şematik resmi (E. Hoffman, 2012)

2.2.6.6. Modüler fikstürler

Modüler fikstürler tutma için tasarlanmış özel tutuculardır. Hassas bir şekilde delinmiş dişli deliklere sahip özel bir plaka üzerine monte edilirler (Gizelbach, 2009). Konumlandırıcılar, kavrama elemanları, destekleyiciler ve fikstür gövdeleri gibi fikstüre fonksiyon sağlayan modüler bileşenlerden oluşurlar. Bu bileşenler farklı boyut ve şekildeki parçaları tutabilen bir fikstür oluşturmak için bir lego seti gibi bir araya getirilebilirler (A. Y. C. Nee & Whybrew, 2012). Örnek bir modüler fikstür Şekil 2.21’de gösterilmektedir.

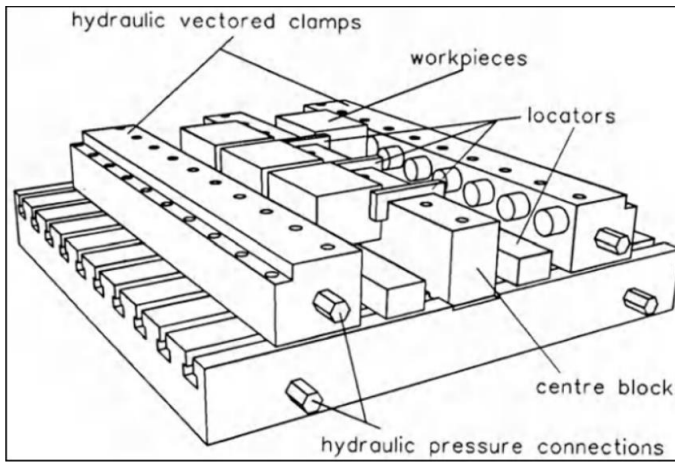


Şekil 2.21 Bir modüler fikstür (Gizelbach, 2009)

Modüler fikstürler üç farklı tipte mevcuttur. Bunlar alt plaka, t-yuvalı ve dübel pinli fikstürlerdir.

2.2.6.7. Palet sistemleri

Bu sistemler sabit blok ve yer değiştirilebilir çenelerin eklenebileceği bir dizi standart paletten oluşur. Yüksek düzeyde otomasyonlu işlemler için uygundur. Otomasyonlu sistemlerde paletler, programlanabilir bir hidrolik kenetleme sistemine sahiptirler (A. Y. C. Nee & Whybrew, 2012). Bir palet sistemi şematik resmi Şekil 2.22’de gösterilmektedir.



Şekil 2.22 Bir palet sistemi şematik resmi (A. Y. C. Nee & Whybrew, 2012)

2.2.6.8. Faz değişim fikstürleri

Faz değişim fikstürleri, düşük erime noktasına sahip malzemeler kullanarak iş parçasını sabitler. Fikstür, faz değişim malzemesi ile doldurulur. İş parçası, sıvı hâlindeki bu malzeme içinde istenen pozisyonda yerleştirilir. Malzeme daha sonra soğutma veya diğer dış etkenlerle katılaştırılır ve iş parçasını sıkıca sabitler. İşlem tamamlandığında, malzeme tekrar sıvı hâline getirilir ve parça kolayca fikstürden çıkarılır. Bu yöntem hem hızlı hem de güvenilir bir sabitleme sağlar, üretim verimliliğini artırır (A. Y. C. Nee & Whybrew, 2012).

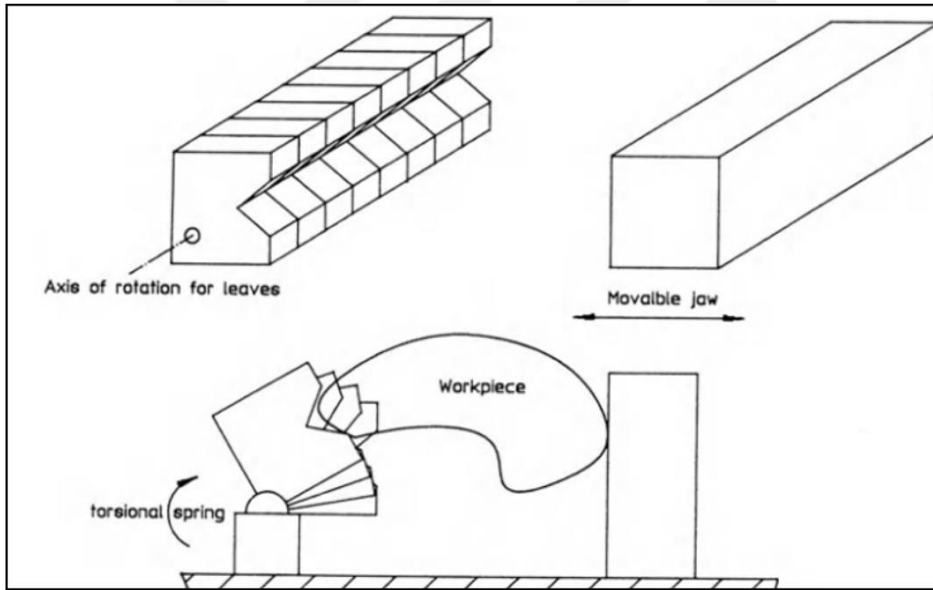
Faz değişim fikstürlerinde, faz değişimi saniyeler içinde gerçekleşmelidir; bu süre kısaltıkça verim artar. Ekonomik olması için malzemenin tersinir faz değişimi yapabilmesi ve birden fazla kullanılabilmesi gereklidir. Faz değiştirme süreci, parçanın yüzey kalitesini olumsuz etkilememelidir. Değişim, başlangıçta düzgün olmalı ve hacim değişimleri minimal veya kontrol edilebilir olmalıdır. Faz değişimini başlatmak için

gereken güç dikkatlice ölçülmelidir çünkü bu, fikstürün maliyetini belirlemektedir (Gandhi & Thompson, 1985).

Sıcaklıkla indüklenen faz değişim fikstürleri geleneksel olarak türbin kanatlarının işlenmesi gibi özel amaçlı hassas işlemlerde kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyet içeren bu uygulamalarda, konsepti aşırı derecede pahalı hale getiren karmaşık makineler kullanılmaktadır.

2.2.6.9. Uyarlanabilir fikstürler

Uyumlu fikstürler, iş parçasının şekline otomatik olarak uyan kenetleme elemanlarına sahiptirler. Sıkıştırma kuvveti uygulandığında şekil değiştirebilen ve kararlı bir konfigürasyona ulaşabilen pasif cihazlardır, aktif kontrol altında şekil değiştirmeye programlanabilirler (A. Y. C. Nee & Whybrew, 2012). Şekil 2.23'te bir uyarlanabilir fikstür görseli gösterilmektedir.

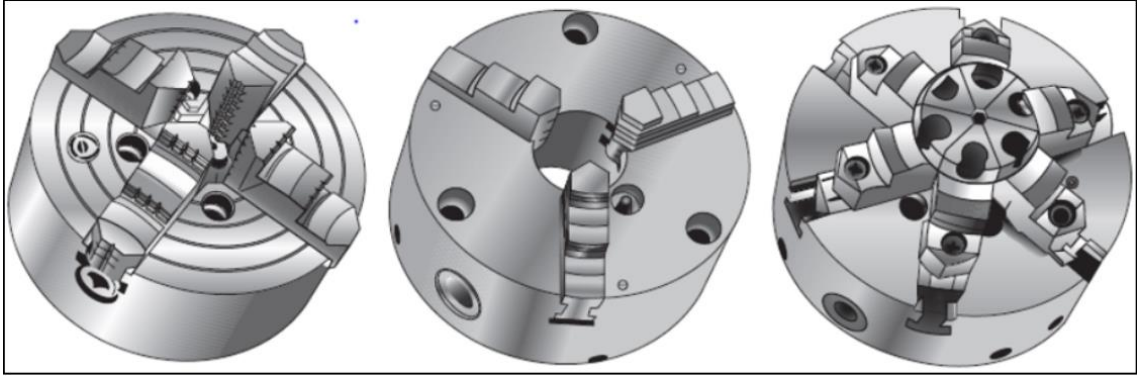


Şekil 2.23 Uyarlanabilir fikstür görseli (A. Y. C. Nee & Whybrew, 2012)

2.2.7. Torna aynaları

Ayna, torna tezgahının temel parçalarından olup, iş parçasını tezgâhın mil eksenine sabitlemekle görevlidir. Çeneli aynalar, iş parçasına birden fazla noktada basınç uygulayarak sıkıştırır. Çeneler, ayna gövdesindeki kanallarda ileri geri hareket edebilir, bu sayede farklı boyuttaki iş parçaları kavranabilir. Silindirik iş parçaları, aynanın yapısına göre dıştan veya içten kavranabilir. Şekil 2.24'te farklı türden çene tipi aynalar

göstermektedir (P. J. Hoffman vd., 2012).



Şekil 2.24 Farklı türden çeneli aynalar (P. J. Hoffman vd., 2012)

Bağımsız çeneli aynaların çeneleri birbirlerinden bağımsız olarak ileri geri hareket edebilmektedir ve bu sayede iş parçası konum ayarı hassas bir şekilde yapılabilir (P. J. Hoffman vd., 2012). Eksantrik işlemler veya düzgün olmayan şekilli iş parçalarını tutmak için idealdirler. Bu aynalar kendiliğinden merkezlenen aynalardan daha fazla kurulum süresi gerektirirler (Sharma vd., 2022). Üniversal aynalarda çeneler, ayna gövdesinde bulunan mekanizma sayesinde aynı anda hareket etmektedir. Bu durum parça konum doğruluğu üzerindeki kontrol imkânını azaltmaktadır, ancak ayna kullanımı daha hızlı ve kolay olmaktadır (P. J. Hoffman vd., 2012). Silindirik veya eş merkezli işleri tutmak için uygundur (Sharma vd., 2022).

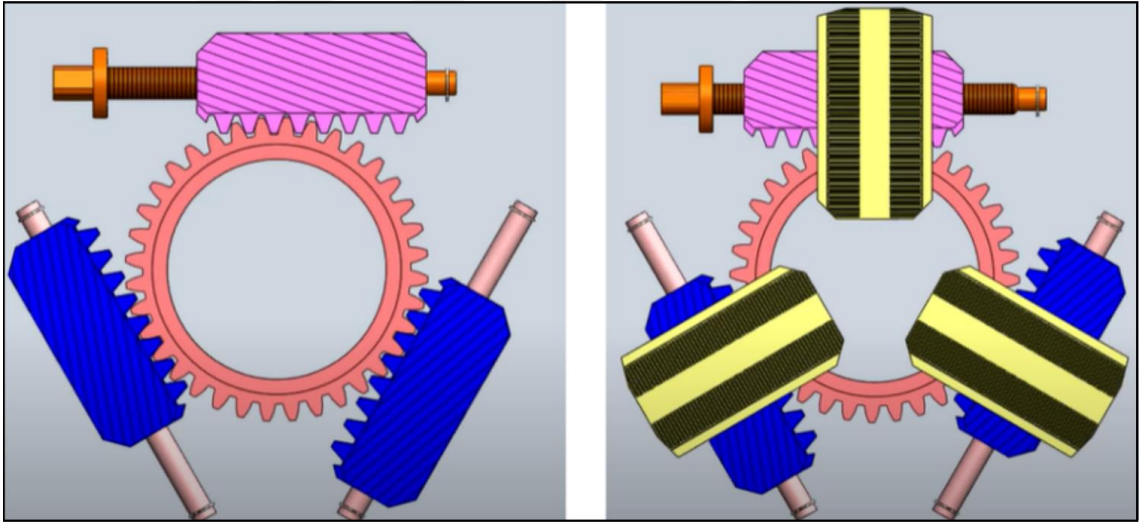
Çene tipi aynalar genellikle tersine çevrilebilir, kademeli çenelerle donatılmıştır. Çenelerin tersine çevirip takılması sonrasında ortasında delik bulunan iş parçaları aynaya bağlanabilmektedir (P. J. Hoffman vd., 2012). İki çeneli aynalar bir çeşit mengene gibi çalışır, uygun şekilde şekillendirilmiş çeneler veya çene ekleri yardımıyla yuvarlak veya düzensiz şekilli parçaları tutabilir (J. G. Nee vd., 2010).

Aynalarda dönme hızını sınırlayan ana faktör, ayna parçalarında oluşan güç kaybı ve merkez kaç kuvveti nedeniyle çenelerde oluşan yetersiz kavrama kuvvetidir. Maksimum dönme hızındaki kavrama kuvveti kaybı, tabla statik halde iken elde edilen sıkma kuvvetinin %30'undan fazla olmamalıdır (Zhou vd., 2011). Aynaların hassasiyeti aşırı sıkıştırmanın neden olduğu aşınma, kir ve deformasyon ile azalmaktadır (J. G. Nee vd., 2010).

2.2.7.1. Üç çeneli torna aynaları

Torna tezgâhlarında en çok kullanılan ayna tipidir. Çeneler ayna anahtarı adı verilen özel bir anahtar ve mekanizmayla açılıp kapanmaktadır. Bu ayna üniversal tip olduğu için ayna anahtarı çevrildiğinde tüm çeneler senkronize bir şekilde hareket etmektedir. Yuvarlak veya kenar sayısı üçün katı olan iş parçalarını tutmak için idealdirler. Kare veya sekizgen parçalar bu aynalarda düzgün tutulamaz. Kendi kendini merkezleme avantajına sahiptirler ancak yüksek hızlı uygulamalarda önerilmemektedirler (Sharma vd., 2022).

Üniversal üç ayaklı torna aynasının çenelerinin senkronize hareketini sağlayan dişli mekanizmasının göresli Şekil 2.25'te gösterilmiştir. Turuncu renkle gösterilen torna anahtarı döndürüldüğünde üzerindeki pembe renkli kremayer dişli hareket eder, hareket merkezdeki planet dişliye oradan da diğer iki kremayer dişlilere aktarılır. Kremayer dişlilerin üzerindeki çeneler de merkezden içeri veya dışarı yönde hareket eder, bu sayede iş parçasının sıkılması veya serbest bırakılması sağlanır.



Şekil 2.25 Torna aynası çenelerinin senkronize hareket mekanizması (URL-4, 2018)

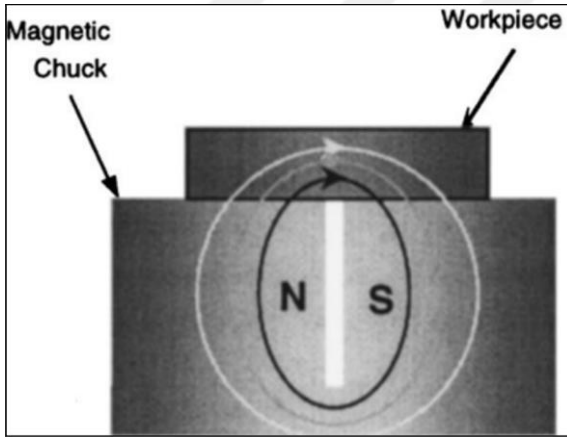
2.2.7.2. Dört çeneli torna aynaları

Dört çeneli aynaların üç çeneli aynalardan farkı genel olarak çenelerinin birbirinden bağımsız olarak hareket etmesi ve her birinin kendi ayar vidasının olmasıdır. Çeneler birbirlerinden bağımsız olarak hareket edebildikleri için iş parçasının aynada hassas bir şekilde merkezlenmesi için her bir çene ayrı ayrı ayarlanmalı ve sıkılmalıdır. Bu aynalar genellikle gerekli parça boyut hassasiyetinin üç çeneli aynalar ile elde edilemediği durumlarda veya iş parçalarının kenar sayısı dördün katı olduğunda kullanılmaktadır.

Dört çeneli aynalar farklı şekildeki iş parçalarını eksantrik olarak tutma kabiliyetine sahiptirler (P. J. Hoffman vd., 2012).

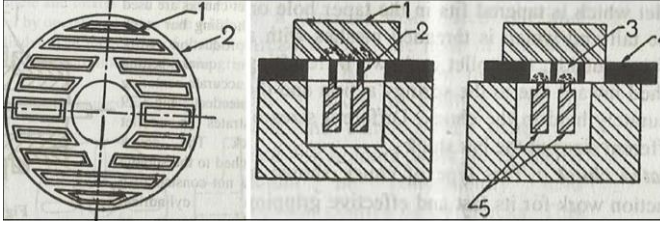
2.2.7.3. Manyetik aynalar

Manyetik aynalar, çok ince parçaları tutmak için kullanılmaktadır. İnce parçaların tutulmasında ayna çenelerinin basıncı nedeniyle iş parçasının herhangi bir şekilde eğilme, burkulma, bükülme veya deforme olma riski vardır. Manyetik aynalar bu durumlarda kullanılmaktadır (Sharma vd., 2022). Mıknatısla çekilebilir malzemelerin hassas işlenmesinde kullanılırlar. Minimum iş parçası tutma deformasyonu ve karmaşık şekilli parçaları tutabilme gibi özellikleri önemli avantajlarındandır. Bununla birlikte kullanımları ferromanyetik içeriğe sahip iş parçalarının sürtünmeye dayalı olarak tutulması ile sınırlıdır. Buna ek olarak diğer bir dezavantajı, parça serbest bırakıldıktan sonra, imalat sürecinin devamı için kalan manyetizmanın temizlenmesi işleminin gerekmesidir (A. Felix vd., 2000). Şekil 2.26'da bir manyetik aynanın çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.26 Manyetik aynanın çalışma prensibi (A. Felix vd., 2000)

İş parçası ayna yüzeyine yerleştirildiğinde, manyetik devreyi tamamlayan manyetik akı için bir akış yolu sağlar. Bu devre tarafından üretilen çekim kuvveti, iş parçasını ayna yüzeyinde tutar. İşleme sırasında oluşan teğetsel kuvvet, ayna ve iş parçası arasındaki teğetsel tutma kuvvetini aşarsa, iş parçası ayna yüzeyden kayma eğilimi gösterir (A. Felix vd., 2000). Şekil 2.27'de bir manyetik ayna gövdesindeki mıknatısların yerleşimi ve aynanın açılıp kapanmasının şematik resmi gösterilmektedir.



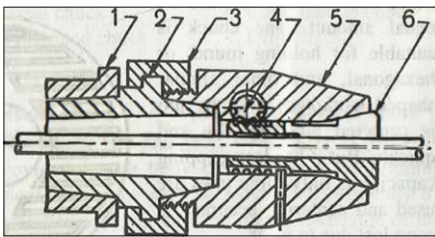
Şekil 2.27 Manyetik aynanın mıknaatısların dizilişi ve aynanın açık-kapalı konumu (Hajra Choudhury vd., 1982)

Şekil 27’de sol tarafta “1” ayna gövdesini, “2” mıknaatısları göstermektedir. Sağ tarafta ise “1” işi, “2” manyetik olmayan malzemeyi, “3” tutucuları, “4” yüzey plakasını, “5” mıknaatısları göstermektedir. Sistem açık konumdayken manyetik alan iş parçası içerisinde geçebilmektedir. Bu sayede iş parçası plakaya doğru çekilmektedir. Mıknaatıslar hareket ettirilip sağdaki konum elde edildiğinde manyetik akı tutucuları geçememekte ve çekim durmaktadır.

2.2.7.4. Pens aynaları

Pens aynalar, çubuk şeklindeki stokların hızlı bir şekilde sabitlenmesi ve uygun şekilde merkezlenmesi gereken yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Pens, bir silindire benzeyen ve kenarı boyunca uzanan oyulmuş yuvalara sahip bir tutucudur. Pensin iç deliği, içinden geçecek parçaya göre altıgen, silindirik, kare veya daha farklı şekillerde olabilir. Pens konik bir dış yüzeye sahiptir. Bu konik yüzey, aynanın gövdesindeki konik deliğe oturur ve bir kama ile kilitlenir (Sharma vd., 2022). Dış kısmındaki koniklik, pensin ayna yuvasına çekilmesi sırasında, sıkma kuvveti oluşmasını sağlar. En yaygın kullanılan pensler, yaylı pensler ve esnek penslerdir (P. J. Hoffman vd., 2012).

Pensler, takım çeliğinden üretilir, sertleştirilir ve menevişleme işlemine tabi tutulur. İç ve dış yüzeyleri taşlanır; taşlama işleminde pens deliği (iç yüzey), gövde ve konik ucun aynı merkezde olmalarına özen gösterilir. Şekil 2.28’de bir pens aynasının kesit görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 2.28 Bir pens aynasının kesit görüntüsü (Hajra Choudhury vd., 1982)

Şekil 28’de “1” numara yatağı, “2” numara döner mili, “3” numara somunu, “4” numara anahtarı, “5” numara aynayı, “6” numara pensi temsil etmektedir. Pensin konik olan dış yüzeyi aynanın gövdesindeki konik deliğe oturur ve dişli olan kuyruk kısmı bir kama ile birbirlerine geçer. Anahtar dışarıdan döndürüldüğünde, pens çekilir ve bölünmüş konik kısmının içe doğru yaylı hareketi sayesinde iş parçası güvenli ve hassas bir şekilde kavranır. Silindirik şekilli iş parçalarının farklı boyutları için farklı ölçülerde pensler kullanılmaktadır (Hajra Choudhury vd., 1982).

Penslerin bakımı kolaydır. En büyük avantajı parçayı tutması sırasında silindirik iş parçası yüzeyinde iz kalmamasıdır. Kavrama kuvveti geleneksel yöntemlere göre daha düşük değerdedir bu nedenle pens içerisindeki iş parçası, ağır kesme operasyonlarında dönme hareketi yapabilir (Smith, 2013).

Pensler, çeneli ayna gövdelerinden daha hafiftirler, bu nedenle yüksek devirlerde merkezkaç kuvvetinden büyük ölçüde etkilenmezler. İçi boş parçalarda mümkün olduğunca az bozulmaya neden olurlar, sıkma yüzey alanı geniş olduğundan yüzey bozma oranları düşüktür. Dört çeneli aynanın hassasiyetine ve tekrarlı işleri bağlama kabiliyetine sahiptirler, daha hızlı ve daha kolay bir şekilde kullanılabilirler (P. J. Hoffman vd., 2012).

Yaylı pensler ise çok hassas bir şekilde taşlanmış silindirik manşonlardır. Yaylı bileziğin önünden başlayan ve pens uzunluğunun yaklaşık dörtte üçü kadar arkaya doğru devam eden kanalları vardır. Yaylı pensler, birçok tür, şekil ve boyuttaki iş parçasını kavramak için çeşitli boyut ve şekillerde üretilir (P. J. Hoffman vd., 2012). Şekil 2.29’da çeşitli yaylı pensler ve pens aynaları gösterilmektedir.



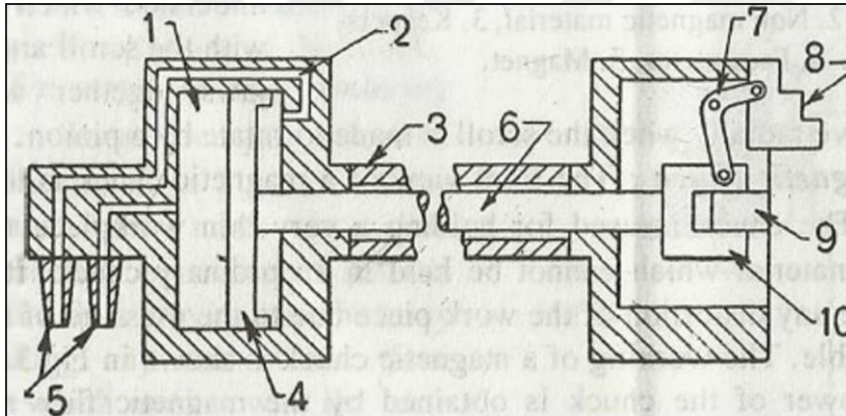
Şekil 2.29 Yaylı pensler ve pens aynaları (P. J. Hoffman vd., 2012)

2.2.7.5. Kombinasyon aynası

Bir kombinasyon aynası, kendinden merkezlenme özelliği sunar ve çeneleri bağımsız olarak kullanılabilir. Bu özellik, hem 3 ayaklı hem de 4 ayaklı aynaların avantajlarını sağlar. Çeneler, ayrı vidalarla bağımsız hareket ettirilebilir veya birlikte kaymalarını sağlayacak bir mekanizmayla aynı anda hareket edebilirler (Sharma vd., 2022).

2.2.7.6. Havalı ve hidrolik ayna

Şekil 2.30’da gösterilen bu tip aynalar, hızlı ve etkili kavrama kapasitesi sayesinde seri üretim işlerinde kullanılmaktadır. Mekanizma, mesnet milinin arka ucuna monte edilmiş bir hidrolik veya hava silindiri ile birleşmiştir ve bununla birlikte dönmektedir. Bir valf yardımıyla sıvı basıncı silindire iletilir ve piston silindir içinde kayar. Bir bağlantı parçası aracılığı ile pistonun hareketi çenelere aktarılır ve iş parçası güvenli bir şekilde kavranır (Hajra Choudhury vd., 1982).

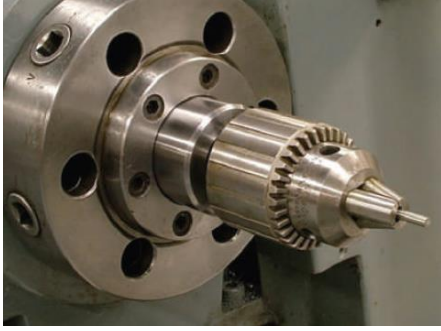


Şekil 2.30 Havalı/Hidrolik aynanın kesit görüntüsü (Hajra Choudhury vd., 1982)

Şekilde “1” silindiri, “2” hava geçiş kısmını, “3” mesnet milini, “4” pistonu, “5” valfleri, “6” piston kolunu, “7” bağlantı mekanizmasını, “8” çeneleri, “9” kılavuzu, “10” kayar elemanı tensil etmektedir.

2.2.7.7. Matkap aynası

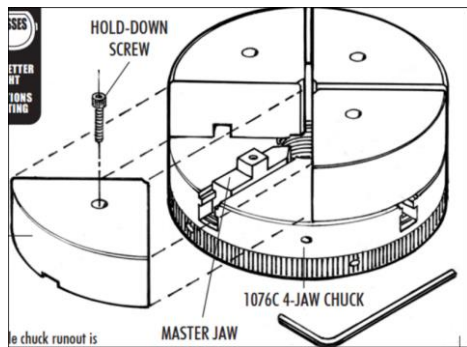
Üç ve dört ayaklı aynalar ile bağlanamayan küçük çaptaki iş parçaları matkap aynaları ile bağlanabilmektedir. Bu aynalar diğer aynalarla aynı şekilde çalışmaktadırlar (P. J. Hoffman vd., 2012). Şekil 2.31’de matkap aynasına bağlanmış küçük çaplı bir iş parçası gösterilmektedir.



Şekil 2.31 Matkap aynası (P. J. Hoffman vd., 2012)

2.2.7.8. Ayna çeneleri

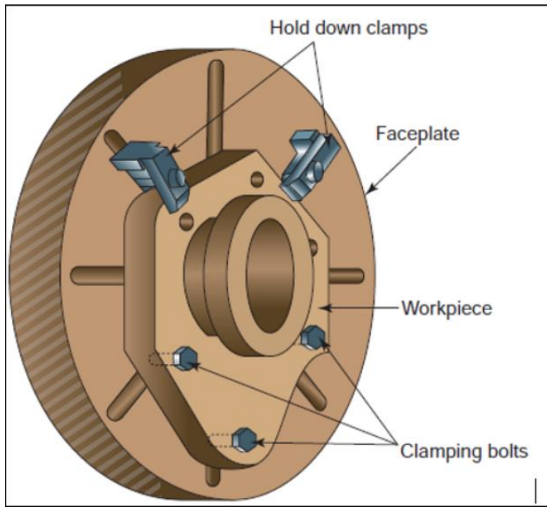
İş parçasını torna aynasında tutmak için kullanılan kalıcı çeneler, sert torna aynası çeneleri olarak bilinmektedir. Yüzeyi sertleştirilmiş çelikten oluşurlar ve işleme sırasında parçayı güvende tutmak için tırtıklı bir kenetleme yüzeyine sahiptirler. Çene malzemesi olarak yumuşak (işlenebilir) malzemeler de kullanılabilir. Alüminyum veya yumuşak çelik gibi yumuşak malzemelerden yapılmışlardır, iş parçasını bağlamada hassasiyeti arttırmak için hassas bir şekilde işlenirler. Temas yüzeyi alanını arttırmak amacıyla bağlanacak malzemenin çapına uyacak şekilde işlenebilirler (Sharma vd., 2022). Yumuşak çenelerin iki standart formu, normal yumuşak çeneler ve dilimlenmiş tip yumuşak çenelerdir. Normal yumuşak çeneler, aynadaki çene taşıyıcı parçayla aynı genişlikte yapıldıklarından standart çenelere benzerler. Dilimlenmiş tip yumuşak çeneler çok daha büyüktür ve aynanın üst yüzeyini tamamen kaplarlar. Kullanım için bu çeneler önce aynaya takılır sıkılırlar. Ardından arzu edilen form veya şekil yumuşak çenelere işlenir ve bir tür kısmi veya tam yuva oluşturulur. Çeneler, işlenecek parça boyutundan biraz daha küçük bir boyuta işlenir ardından iş parçası işlenmiş yüzeylere yerleştirilip güvenli bir şekilde tutulur ve sabitlenir (J. G. Nee vd., 2010). Şekil 2.32’de dilimlenmiş yumuşak tip çeneli aynanın çizimi gösterilmektedir.



Şekil 2.32 Dilimlenmiş yumuşak şekilli çeneli ayna (URL-3, 2018)

2.2.7.9. Yüz plaka

Düzensiz şekilli parçaların torna tezgahına bağlanması gereken durumlarda, ayna ve penslerin kullanılmadığı durumlarda yüz plakalar tercih edilir. Bu tutucular mesnet miline monte edilir ve genellikle ön yüzünde bir dizi kanal bulunur; dökme demirden yapılır. İş, yüz plaka yüzeyine konumlandırılır ve işlenmiş yuvalardan sabitlenen kenetleme cihazları ile sabitlenir. Şekil 2.33'te bir ön yüz uygulaması gösterilmektedir. Günümüzde nadiren kullanılsa da, döküm gibi düzensiz şekilli iş parçalarını sabitlemek için tercih edilebilirler (P. J. Hoffman vd., 2012).



Şekil 2.33 Bir yüz plaka görseli (P. J. Hoffman vd., 2012)

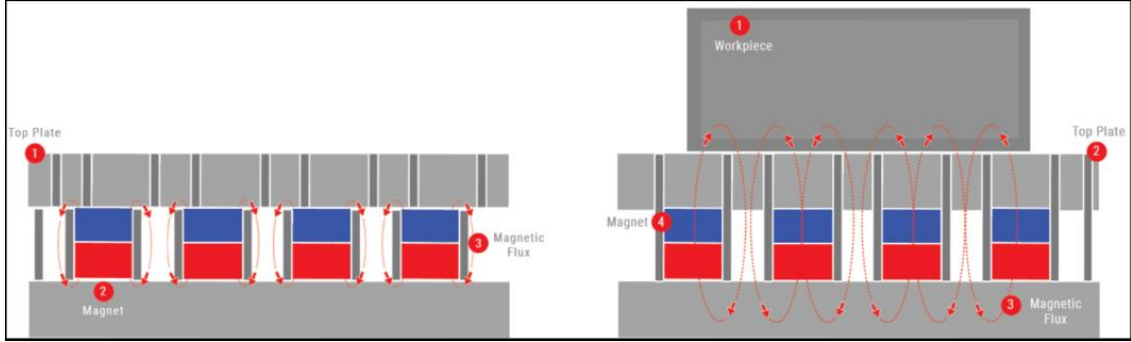
Daha küçük boyutlu ve açık kanallı yüz plakalarına sürücü plaka denilmektedir. İş plakaya cıvata, somun ve kelepçeler ile bağlanmaktadır. Genel olarak rulmanlara rayba ile delik açma işlemlerinde kullanılmaktadırlar (Baril, 1987).

2.2.8. Manyetik tutucular

Mekanik olmayan bağlama, genel olarak parçaları doğrudan mekanik temasın olmadığı yollarla tutmada kullanılan, bir terimdir. Daha çok, boyutu ve şekli nedeniyle diğer tutuculara bağlanamayan parçaların bağlanmasında kullanılır. Mekanik olmayan tutucuların iki ana grubu, manyetik tutucular ve vakum tutuculardır (E. Hoffman, 2012).

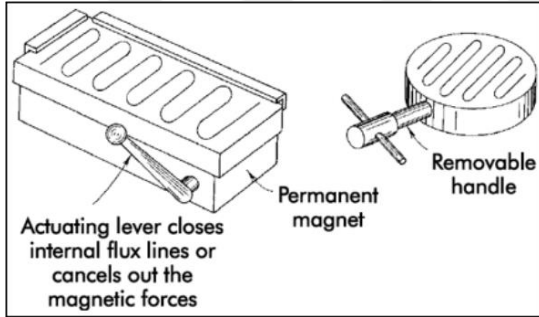
Manyetik tabla; gövde, mıknatısların bulunduğu hazne kısmı, üst plaka ve kol mekanizması olmak üzere 4 kısıma ayrılmaktadır. Mıknatıslar hazne içinde bir alüminyum plaka üzerine oturtulmuştur. Alüminyum plaka bir kola bağlıdır ve koldan aldığı hareketle hazne içerisinde sağa sola hareket edebilmektedir. Üst plaka manyetik alanı geçiren ve

geçirmeyen levhaların ardışık bir şekilde dizilmesi ile oluşturulmuştur ve sabittir. Şekil 2.34'ün solunda, aşağıdan yukarıya sırasıyla gövde, mıknatıs tabakası ve üst plaka gösterilmektedir. Şekil 2.34'ün sağında ise üst plaka üzerine yerleştirilen iş parçasının tutulması gösterilmektedir.



Şekil 2.34 Manyetik tablanın açık ve kapalı konumu (URL-5, 2023)

Şekil 2.34'te sol kısımda, sistem bu konumdayken üst plaka manyetik akı geçişine izin vermemektedir. Kol yardımıyla mıknatıslar hareket ettirildiğinde ve Şekil 2.34'te sağdaki konuma ulaştığında, manyetik akı üst plakayı geçerek, işin tutulmasını sağlayacaktır. Farklı tipteki manyetik tutucu görselleri Şekil 2.35'te gösterilmektedir.

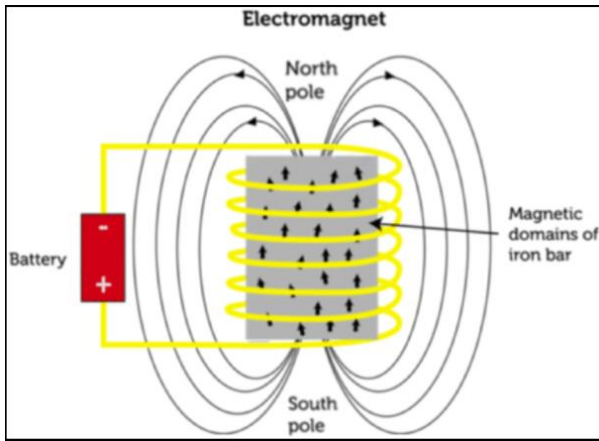


Şekil 2.35 Farklı türden manyetik tutucular (J. G. Nee vd., 2010)

İnce parçalar geleneksel aynalara bağlanmaya çalışıldığında deformasyona uğrayabilirler. Manyetik ayna çalıştırıldığında manyetik akı iş parçasının içinden geçerek, parçayı aynaya doğru çeker. Akı azaldığında ise akım çizgileri ayna yüzeyinden öteye geçemez, çekme kuvveti ortadan kalkar. Bu tür aynalar genelde, içlerinde kendi kendine yeten mıknatıslara sahiptirler ve soğuk ayna olarak adlandırılırlar. Bu aynalarda kritik parametreler; temas yüzeyi, manyetik akı miktarı, oluşan tutma kuvveti ve temas yüzeylerindeki hava boşluğu miktarıdır.

2.2.8.1. Elektromıknatıs

Elektromıknatıs, bir demir çubuk veya başka bir ferromanyetik malzemenin bir selenoid tarafından çevrenmesiyle oluşan yapıdır. Selenoid, içinden akım geçebilen bir bobindir. Akım geçişi bobinin kutuplanmasını sağlar. Selenoidin manyetik alanı demir çubuğun manyetik alan çizgilerini kendi merkez çizgisiyle aynı hizada olacak şekilde yönlendirir ve demiş çubuk mıknatıslanır (URL-6, 2021). Şekil 2.36’da bir elektro mıknatısın çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.36 Bir elektromıknatısın çalışma prensibi (URL-6, 2021)

2.2.8.2. Elektromanyetik tabla

Elektromanyetik tablalar tutma kuvvetini oluşturmak için elektromıknatısların kullanıldığı tutma cihazlarıdır. Taşıma ve diğer tutma operasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. En önemli avantajı, tutma kuvvetinin uygulanıp kaldırılmasının hızlı olması ve ince parçaların bağlanmasının kolay bir şekilde gerçekleşebilmesidir. Tutma kuvveti iş parçasının tüm yüzeyine dağılsa da bu dağılım eşit bir şekilde olmamaktadır (Liu & Tsai, 1996).

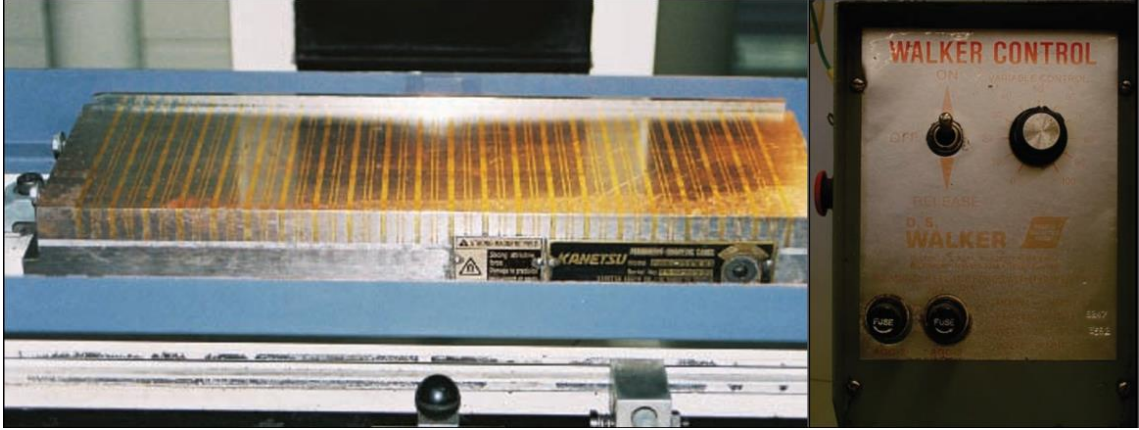
F elektromanyetik kuvveti, B manyetik akı yoğunluğu, S geçiş alanı ve μ_0 havanın geçirgenliği arasındaki ilişki eşitlik (2.1)’ de verilmiştir.

$$F = \frac{1}{2\mu_0} \oint_s B^2 dS \quad (2.1)$$

Manyetik akı yoğunluğu H ile malzeme geçirgenliğinin çarpımına eşittir (Liu & Tsai, 1996). Eşitlik (2.2)’ de gösterilmiştir.

$$B = \mu H \quad (2.2)$$

Bu sistemler manuel veya otomasyonlu üretim işlemlerine kullanılırlar. Genelde yüzey taşlama tezgahlarında kullanılırlar. Manyetik tablaların yapımında sürekli mıknatıs veya elektromıknatıslar kullanılabilir. (P. J. Hoffman vd., 2012). Şekil 2.37’de bir elektromanyetik tabla ve kontrol ünitesi gösterilmektedir.



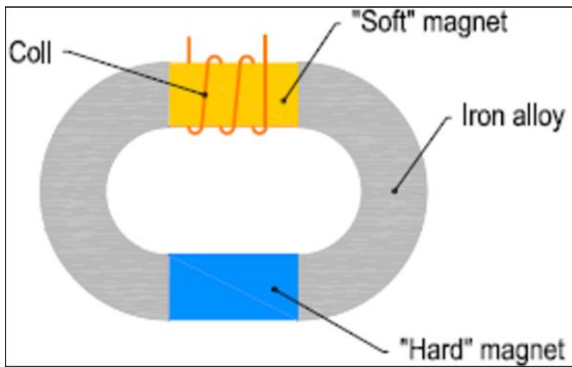
Şekil 2.37 Manyetik tabla ve kontrol ünitesinin görseli (P. J. Hoffman vd., 2012)

Tutucunun demir tabakalı kısımlarına kutup denmektedir. Mıknatıs aktifleştirildiğinde kutuplarda çekme kuvveti oluşturur. Bu tutucularda sürekli mıknatıs veya elektromıknatıslar kullanılmaktadır. Sürekli mıknatıslar mekanizmaya bağlı bir kolun çevrilmesiyle aktive edilirler. Çoğu elektromıknatısta ise, sistemin manyetik kuvvetinin şiddetinin ayarlanabildiği bir ayar düğmesi vardır, bu düğme yardımıyla güç arttırılarak küçük parçaların tutulabilmesi sağlanabilir. Ayrıca bu sayede yüksek miktarda manyetik alan elde edilebileceğinden büyük ve yüzeyleri düz olmayan parçaların bağlanması amacıyla kullanılabilirler. İyi bir tutma kuvvetinin elde edilebilmesi için iş parçası temas yüzeyinden en az 3 manyetik kutup geçmelidir (P. J. Hoffman vd., 2012).

Tutulacak iş parçası yeterli manyetik iletkenliğe sahip olmalıdır. Buna en uygun malzemeler düşük karbonlu çeliklerdir. Karbon içeriği fazla olan malzemelerde, elde edilecek maksimum tutma kuvveti değerinin yalnızca %45’ i elde edilebilir. Mıknatısların yüksek kalitede seçilmesiyle veya iş parçasının düşük karbonlu çelik plakalarla kaplanması ile bu dezavantaj ortadan kaldırılabilir. Tutma kuvvetinin azalmasına neden olan bir diğer faktör sıcaklıktır. İmalat sırasında sıcaklığın 50 °C ye çıkması tutma kuvvetini %50 oranında düşürebilmektedir. Talaşlı imalat sırasında meydana gelen titreşim, tutma kuvvetinde bir azalmaya neden olmamaktadır.

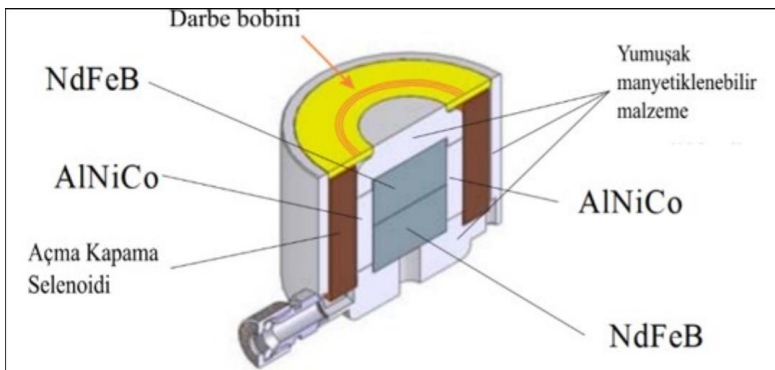
2.2.8.3. Sürekli elektromıknatıs

Sürekli elektromıknatıslar bir elektrik darbesi ile çalışma durumu değiştirilebilen cihazlardır. Bu mıknatıs sisteminde biri iyi sertlikte diğeri orta sertlikte olmak üzere iki ayrı mıknatıs kullanılır. İkisi de alt yüzeylerinden demir gibi yumuşak bir malzeme üzerine yerleştirilmişlerdir ve etraflarına bir bobin sarılmıştır. Bu bobine bir akım darbesi verildiğinde 2 mıknatıs birlikte mıknatıslanırlar ve manyetik akıları artar. Sistem bu haldeyken, bobine ters kutup yönünde bir akım verildiğinde orta sertlikteki mıknatısın manyetizması terse dönerken, iyi sertlikteki mıknatısın manyetizma yönü değişmez. Sistemin basitleştirilmiş resmi Şekil 2.38’de gösterilmektedir (Knaian, 1999).



Şekil 2.38 Sürekli elektromıknatıs basitleştirilmiş resmi (M’artonov’a, 2019)

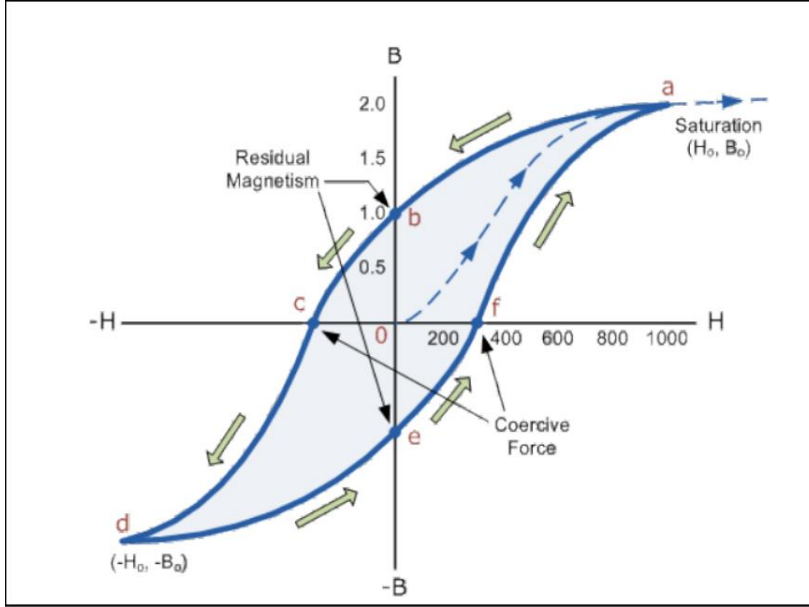
Orta sertlikteki mıknatısın manyetizması terse döndüğünde toplam manyetik akı azaltır ve akının büyük bir kısmı veya tamamı cihazın içinde dolaşmaya başlar (Knaian, 1999). Bir sürekli elektro mıknatısın bileşenleri Şekil 2.39’da gösterilmektedir.



Şekil 2.39 Bir sürekli elektro mıknatıs bileşenlerinin görseli (Bydžovský vd., 2010)

Bir sürekli elektromıknatısın tam olarak nasıl çalıştığını kavrayabilmek için manyetik akı yoğunluğu B ’nin ve manyetik alan şiddeti H ’nin anlaşılması gerekmektedir. Bu

özellikler, manyetik histerisiz döngüsü veya B-H eğrileri olarak adlandırılan ilişki ile birbirleriyle bağlantılıdır (M'artonov'a, 2019). Örnek bir B-H eğrisi Şekil 2.40'ta gösterilmektedir.

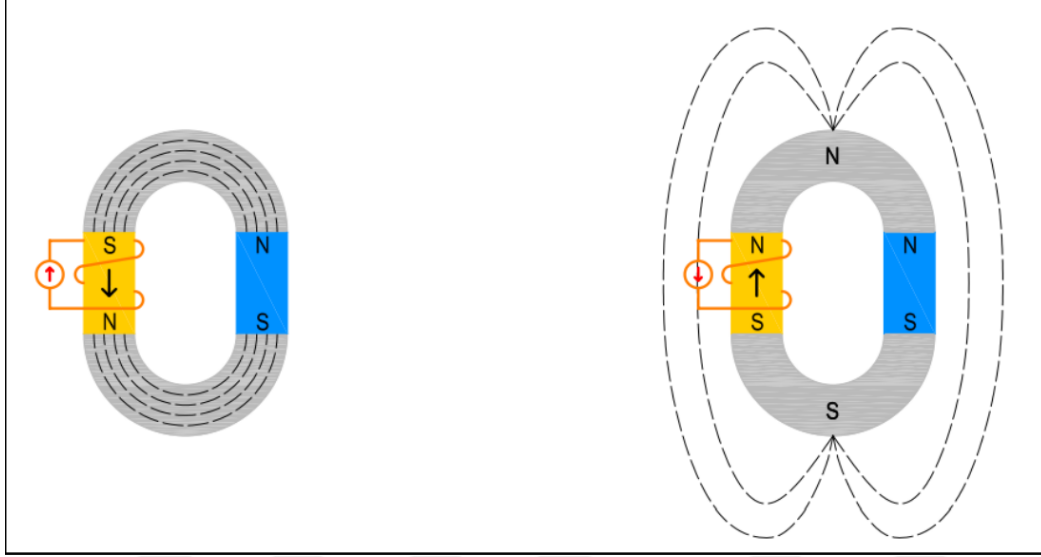


Şekil 2.40 Bir ferromanyetik malzemenin B-H eğrisi (M'artonov'a, 2019)

B ve H değerleri başlangıçta sıfır olan yani manyetize edilmemiş bir malzemeyi, içerisinde elektrik akımı geçen bir bobin tarafından indüklenmiş manyetik alana yerleştirirsek (0 noktası), grafikteki ilk noktayı elde ederiz. Bobindeki akım pozitif yönde artırıldığında, malzeme doyum noktasına kadar (a noktası) ilk mıknatıslanma eğrisine göre mıknatıslanır (kesikli çizgili eğri). Daha sonra bobindeki mıknatıslanma akımı sıfıra düşürülür, böylece manyetik alan yoğunluğu sıfıra gelir. Ancak ferromanyetik malzemedeki manyetik akı, a noktasından b noktasına kadar olan eğride gösterildiği gibi malzemedeki artık manyetizma nedeniyle sıfıra ulaşmayacaktır. b noktasındaki manyetik akı yoğunluğu değeri B_r 'dir ve buna kalıcı manyetizma denir. Yumuşak manyetik malzemelerdeki kalıcı manyetizma, sıcaklık nedeniyle uzun periyotlarda azalabilirken, sert manyetik malzemeler artık manyetizmayı korurlar. Malzeme manyetik özellikler sergilemeyi bırakana kadar demanyetize edilirse c noktasına ulaşırız. Bu, bobindeki mıknatıslanma akımının negatif yönde artması demektir. Manyetik akı yoğunluğu B sıfıra gelir, manyetik alan yoğunluğu koersif kuvvete eşit olur. Koersif kuvvet malzemenin demanyetize olmadan dış manyetik alana dayanma yeteneğidir. Ters yönde akım verilmeye devam edilirse tam doyuma d noktasında ulaşılır. Elektrik akımı durduğunda e noktasına geliriz. Akımı ters yönde arttırdığımızda f ardından a noktasına ulaşırız

(M'artonov'a, 2019). Döngü tamamlanmış olur. Bu döngüye manyetik histerisiz döngüsü denilmektedir.

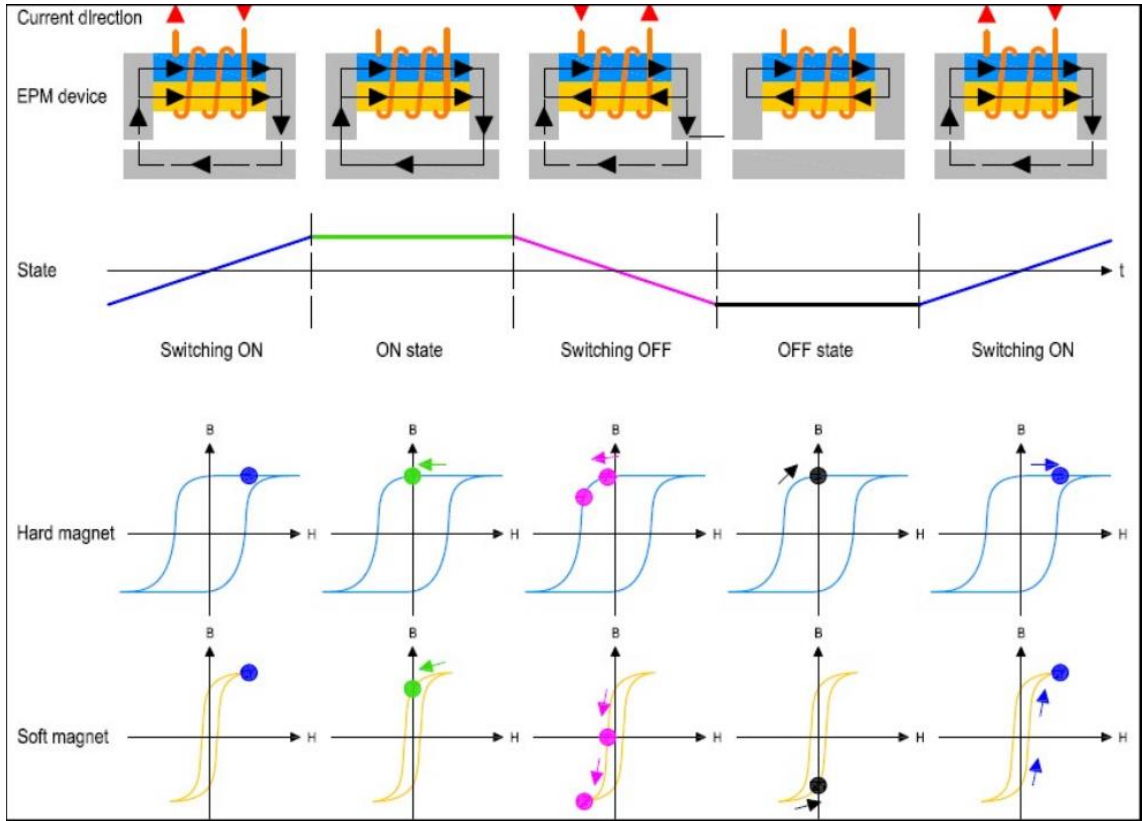
Şekil 2.41'de bir sürekli elektromanyetik mıknatıs cihazının açık ve kapalı durumunu gösteren görseller verilmiştir. Sarı renk yumuşak mıknatısı, mavi renk sert mıknatısı temsil etmektedir. Yumuşak ve sert ifadeleriyle kastedilen bu malzemelerin kutuplanabilmeye karşı gösterdikleri dirençleridir.



Şekil 2.41 Bir EPM cihazının açık ve kapalı konumunun görseli (M'artonov'a, 2019)

Şekil 2.41'de solda mıknatısların kutup yönleri birbirinin tersidir. Manyetik akı bu iki mıknatısın ve bunları birbirlerine bağlayan plakanın üzerinden akmaktadır. Bobin ve elektrik akımı yardımıyla yumuşak mıknatısın kutupları değiştirildiğinde iki mıknatısın kutup yönleri aynı olmaktadır ve manyetik akı sistem dışına çıkmaktadır. Bu mıknatısın çalışıyor olduğu durumdur ve bu durumda iş parçası tutucu kuvveti meydana gelmektedir (M'artonov'a, 2019).

Sürekli elektromanyetik mıknatıslar çoğunlukla kullanıldıkları yer nedeniyle küçük formu olmaktadır ve bobin her iki mıknatısın üzerine birlikte sarılmaktadır. Bu nedenle mıknatısların kutuplanma özellikleri farklı olmalıdır çünkü bir mıknatısın kutupları değiştiğinde diğerininkiler aynı kalmalıdır. Mıknatıslarda yumuşak ve sert olarak farklı seçim yapılmasının sebebi budur. Genelde yumuşak mıknatıs olarak alüminyum-nikel-kobalt alaşımı, sert mıknatıs olarak neodyum-demir-bor alaşımı kullanılmaktadır (M'artonov'a, 2019). Bir EPM cihazın çalıştırılıp durdurulması sırasında gerçekleşen manyetik durumlar şekil 2.42'de gösterilmektedir.

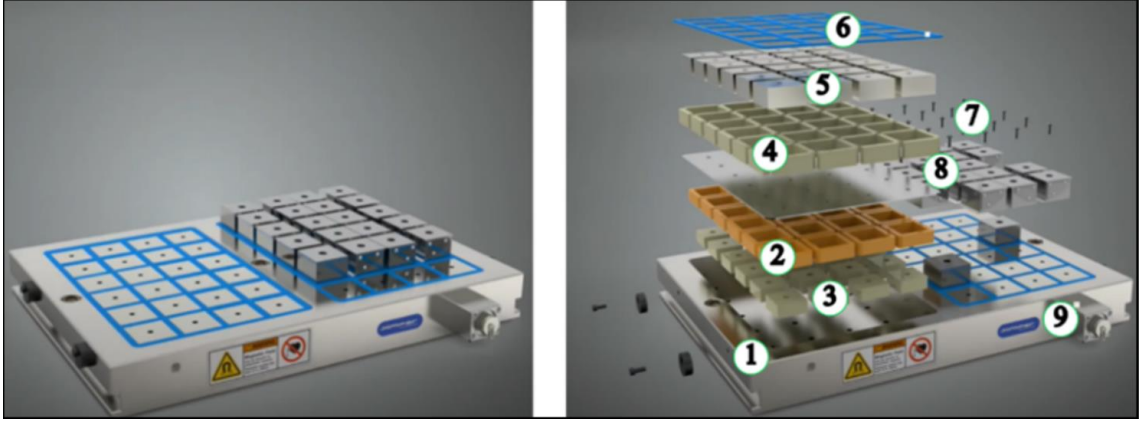


Şekil 2.42 Bir sürekli elektromıknatısın açılıp kapanması durumlarında cihaz bileşenlerdeki akım ve manyetik alan değişimleri (M´artonov´a, 2019)

2.2.8.4. Sürekli elektromanyetik tabla

Sürekli elektromanyetik tabla, elektromanyetik ve sürekli mıknatısların birleşiminden oluşur. Geleneksel elektromıknatısların iş parçasının bağlanması süresince sürekli enerji gereksinimleri varken, sürekli elektromanyetik tablalarda sadece tablanın çalışma durumunun değiştirilmesi sırasında enerjiye ihtiyaç duyulur. Bağlama kuvveti elektrik akımından değil, sadece sürekli mıknatıstan sağlanır. (Bydžovský vd., 2010).

Şekil 2.43’te bir sürekli elektromanyetik tablanın 3 boyutlu modeli gösterilmektedir. Burada “1” numara, tek parça olarak işlenmiş çelik gövdeyi, “2” numara bobinin sarıldığı kısmı, “3” numara orta sertlikteki mıknatısı, “4” numara kutupları, “5” numara sert manyetik mıknatısları, “6” numara epoksi sızdırmaz conta kısmını, “7” numara bağlantı cıvatalarını, “8” numara kutup ek aparatlarını, “9” numara kontrol ünitesi bağlantı bölümünü göstermektedir.



Şekil 2.43 Bir sürekli elektro manyetik tabla modeli ve bileşenleri (URL-11, 2017)

İş parçasının manyetik kuvvetle ne kadar iyi tutulabileceğini, iş parçasında indüklenen manyetik akı miktarı belirlemektedir. Çekme kuvveti, iş parçasının tabla ile temas yüzeyindeki manyetik akı yoğunluğunun karesiyle doğru orantılıdır. Eğer temas alanını iki katına çıkartırsak manyetik çekme kuvveti iki kat artar. Manyetik akı yoğunluğunu %10 azalttığımızda çekme kuvveti de %19 azalır. Akı yoğunluğu yarıya indirildiğinde çekme kuvveti %75 oranında azalır. Akı bir manyetik dirençle karşılaştığında akı yoğunluğunda düşüşler meydana gelebilir, buna relüktans denilmektedir. Temas yüzeylerindeki manyetik olmayan ve yüksek relüktansa neden olan hava boşlukları ve iş parçasının malzemesinin özellikleri bu dirence örnek olarak verilebilir. Akı yoğunluğunu ve çekme kuvvetini etkileyen beş ana faktör vardır. Bunlar temas yüzey alanı, yüzey finışı, iş parçası malzemesi, malzeme durumu ve iş parçası kalınlığıdır (Smith, 2013).

İşleme kuvvetlerine karşı en yüksek direnç, hava boşlukları minimumda tutulduğunda ve geniş ve sürekli bir temas alanı sağlandığında elde edilir. En kötü sonuçlar geniş hava boşlukları ve sınırlı temas alanı durumunda oluşur. Yüzey ne kadar pürüzsüz olursa, temas alanı o kadar büyük ve manyetik çekme kuvveti de o kadar yüksek olur (Smith, 2013).

Bazı malzemelerde yüksek manyetik akı indükleyerek daha büyük çekim kuvveti üretmek mümkündür. Çelik malzeme, yüksek bir manyetik akı sunmaktadır. Hiçbir akışın indüklenmediği pirinç ve alüminyum, manyetik olmayan malzemeler olarak adlandırılmaktadır (Smith, 2013).

Bir malzeme ısıtılma tabi tutulmuşsa, bu onun fiziksel yapısını ve manyetik akıyı absorbe etme yeteneğini etkilemektedir. Tavlanmış malzemeler bu bakımdan en iyi sonucu verirken sertleştirilmiş malzemeler akımı kolay absorbe edemezler ve manyetik tabla

İş parçası içindeki manyetik akı yolu, bir kutuptan diğerine doğru yarım daire şeklindedir. İş parçası kalınlığı optimum kalınlık değerinden daha küçükse akının bir kısmı iş parçasını aşar manyetik çekme düşer (Smith, 2013). Böyle durumlarda manyetik akı yarıçapı daha az küçük olan bir manyetik tabla kullanılabilir ancak bu durumda daha büyük iş parçalarının tutulması zor olacaktır.

Vakumlama, havanın atmosfer basıncı altındaki bir odaya emilmesi işlemidir. Maksimum vakum basıncı ortalama 1 bar kadardır. Vakum tutucu, düz yüzeyli veya plaka gibi ince malzemelerin tutulmasında kullanılan kavrama ekipmanlarından biridir (Yanel vd., 2019). Vakum tutucuyla sağlanabilecek efektif tutma kuvveti, çekme esnasında ortaya çıkan normal kuvvet ile sürtünme parametrelerinden kaynaklanan teğetsel kuvvetin bileşimine bağlıdır (Ayats vd., 2009). Vakum tutucu sistem bileşenlerinin bağlantı şeması genel olarak Şekil 2.44'teki gibidir. Vakum pompası yardımıyla oluşturulan vakum, ara iletim elemanlarından geçerek vakum tablaya iletilmektedir. Şekildeki örnekte tabla dört bölmeden oluşmaktadır. Bölmelere giden bağlantı elemanlarına vana eklendiğinde ve bölmelerin birbirleriyle olan bağlantıları kesildiğinde, her bölme birbirinden bağımsız olarak vakumlanabilecektir.



38

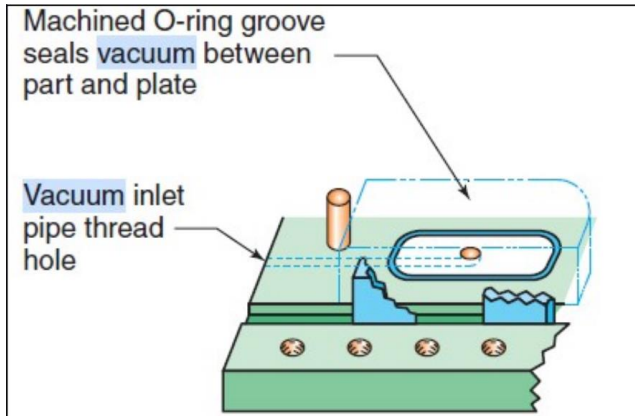
iş parçası ile kavrayıcı arasındaki bölgenin basıncı sürekli olarak atmosfer basıncından düşük seviyede tutulur. İş parçası alt ve üst yüzeyleri arasındaki basınç farkı nedeniyle parça kavrama düzlemine bastırılır. Tutucu kuvveti, direkt olarak vakumlamadan değil, atmosfer basıncının parçayı tutucuya doğru bastırmasından elde edilmektedir (Adli vd., 2021). Vakum tutucular, manyetik tutucular gibi tutma basıncını tüm tutma yüzeyi boyunca yayarlar ve hemen hemen her talaşlı imalat operasyonları için kullanılabilirler. Bu tutucular hem demir hem de demir dışı malzemelerin tutulmasında kullanılabilirler. Sistemde hareketli malzeme kullanılmadığından güvenilirdirler, bakımları kolaydır. Manuel ve otomatik sistemlere uygulanabilirler.

2.2.9.1. Havuz ve kanal tipi vakum tutucular

Havuz-kanal tipi tutucular, vakum kuvvetlerini tutucu üst yüzü boyunca taşıyıp dağıtmak için üst yüzeye açılmış bir dizi kanal veya havuza sahiptir. Bu tasarım genel olarak büyük, düzgün şekilli parçaları tutmak için kullanılmaktadır (E. Hoffman, 2012).

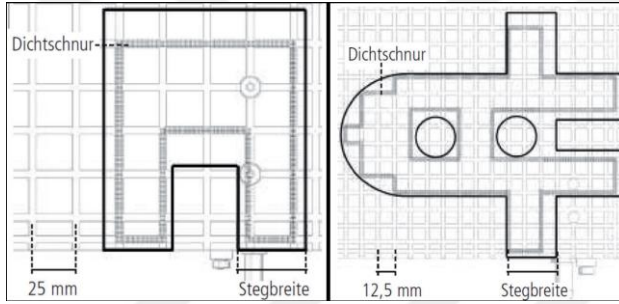
Havuz-kanal tipi vakum mengeneler genelde üst plaka ve gövde olmak üzere 2 ana kısımdan oluşurlar. Vakum kaynağı olarak pompa veya vakum jeneratörü kullanılmaktadır. Conta, pnömatik hortum, bağlantı elemanları, regülatör ve vana gibi yardımcı bileşenler tutucu sisteminde kullanılabilmektedir. Şekil 2.45'te bir havuz tipi vakum tutucu gösterilmektedir.

Üst plaka delikler vasıtasıyla gövdeye açılmaktadır. Gövde üzerinde bulunan delikler ve hortumlarla vakum kaynağıyla bağlantılıdır. Bu bağlantıyla, vakum kaynağındaki düşük basınç önce gövde içerisine, oradan üst plakaya, oradan da iş parçası alt yüzeyine iletilmektedir.



Şekil 2.45 Havuz tipi vakum tutucu (Fitzpatrick & Smith, 2005)

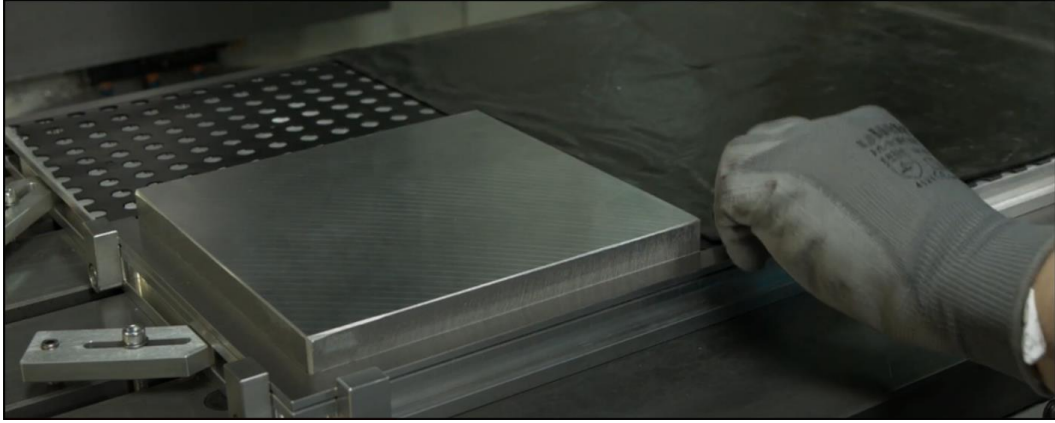
Çok küçük ve çok büyük boyutlu parçaların bağlanıp işlenmesi için uygundur. Contanın yeri ve şekli değiştirilerek farklı şekilli parçaların tutulması sağlanabilmektedir. Tutma öncesi conta üzerinde çapak, talaş ve toz kalmamalıdır. Bu tablalar iş parçasının belirli kısımlarının, tüm kalınlığı boyunca kesilmesine imkânı sunmaktadır. Vakum mengenalere arada conta kalacak şekilde iş parçası bağlantısının yapılmasının görseli Şekil 2.46’da gösterilmektedir. Kauçuk conta, tutma sırasında baskı etkisiyle kanala çekildiğinden iş parçası alt yüzeyi doğrudan tablaya temas eder, bu durum hassasiyeti artırır. Bu sistemlerde kaçaklar az olduğundan vakum pompasının sürekli yüksek performansta çalışmasına gerek yoktur (URL-7, t.y.). Vakum pompasının çalışmasının kontrolü için vakum kaynağı ve invertöre ihtiyaç vardır. Bu bileşenler vakum sisteminin maliyetini arttırmaktadır.



Şekil 2.46 Vakum mengenelerle conta kullanılarak iş parçası bağlanmasının görseli(URL-8, t.y.)

2.2.9.2. Delikli tip vakum tutucular

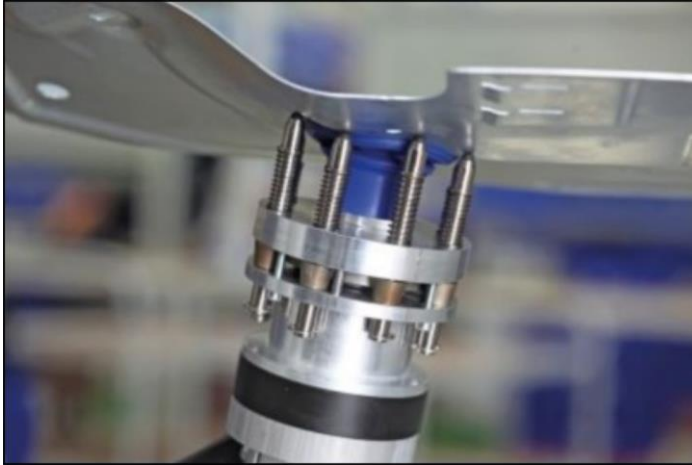
Delikli tip vakum mengenelerin çalışma prensibi havuz-kanal tipli vakum mengenelerle aynadır ancak üst plaka tasarımları farklılık göstermektedir zira burada üst plakaya çok sayıda delik açılmıştır. Delikler iki kademeli olmakla beraber en küçük delik çapı 0,2 mm’den küçük olabilmektedir. Bu tasarım sayesinde, plaka delikleri bir sebeple atmosfere açıldığında oluşacak vakum kaybı az olmaktadır. Küçük delik çapı hava akım debisini azalmaktadır. İş parçaları, tutucuya çok rahat ve hızlı bir şekilde bağlanabilmektedir. Tabla üst plakasının kullanılmayacak bölümleri, hava geçirmez mat ile kapatılmaktadır. Bu durum Şekil 47’de gösterilmektedir. İnce deliklerin kapatılmasıyla vakum kaybı engellenmektedir. Izgara tipli tutucularda işlenemeyen ince ve küçük parçalar gözenekli bir mat yardımıyla bu tutucularda tutulup işlenebilmektedir. Soğutma sıvısı kullanılan sistemlere uygun değildirler.



Şekil 2.47 Delik tipi vakum mengeneye iş parçası bağlanması (URL-9, 2023)

2.2.9.3. 3D Vakum tutucular

Vakumla tutmada kullanılan cihazlardan biri de 3D vakumlu tutuculardır. Tabanı düz olmayan parçaların bağlanmasında kullanılırlar, parçayı farklı yönlerde tutacak şekilde ayarlanabilirler. Tutucu kafalar tutulacak parçanın dış hattına uygun olarak döndürülebilir. Maliyetleri yüksektir (Gregory vd., 2018). Tutucu sistemlerinde birer eleman olarak, çok adetli bulunurlar. Maksimum tutucu kuvvetinin elde edilmesi için parçanın bağlanma oryantasyonunun optimum değerini belirleyen yazılımlar ile birlikte kullanılabilirler. Örnek bir 3D tutucu elemanı Şekil 2.48’de gösterilmektedir.

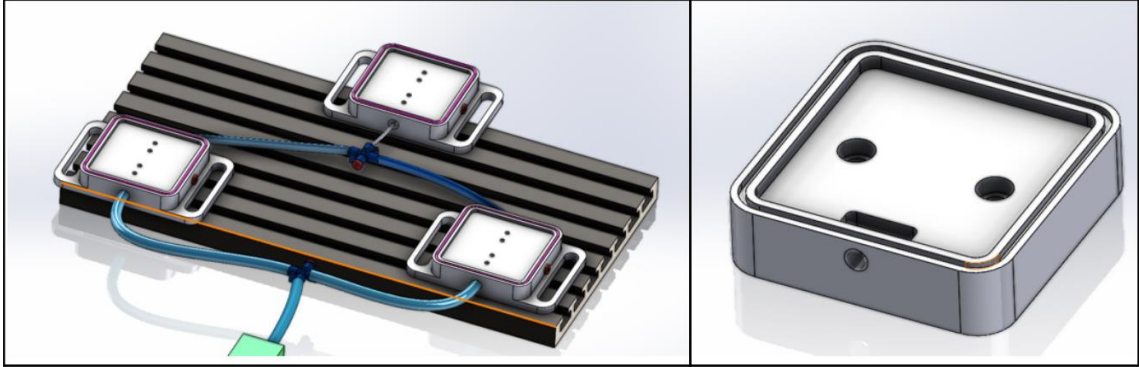


Şekil 2.48 Bir 3D tutucu elemanı (Gregory vd., 2018)

2.2.9.4. Vakum fincanlar

En basit vakumlu tutucu cihazlarından biri vakum fincanlardır. Vakumlu fincanların kurulumu son derece kolaydır. Genelde düz tabanlı parçaların bağlanmasında kullanılmaktadırlar (Gregory vd., 2018). Tezgâh tablasına bağlanmış vakum fincanların

3 boyutlu görsel Şekil 2.49’da verilmiştir.



Şekil 2.49 Vakum fincanlar

Vakum fincanlar, esnek uygulamalar için iyi bir çözümdür. İşlenecek iş parçasının yüzey özelliklerine göre yerleri değiştirilebilir. İstenen tutma şekline veya kuvvetine göre sayıları ve konumları değiştirilebilir. Diğer vakum tutucular genelde düz yüzeyli parçaların tutulmasında kullanılırken, vakum fincanlar açılı ve hatta küresel yüzeyli parçaların işlenmesi için özel olarak tasarlanabilmektedir. Monte edileceği tabla şekline ve tipine göre optimize edilmiş farklı türde vakum fincanları mevcuttur. Daire, kare veya dikdörtgen şekilli olabilirler. Alüminyum, plastik, ya da çelik malzemeden üretilmektedirler.

2.2.10. Yapışkanlı Tutucular

Hafif yüklere maruz kalan düz yüzeyli iş parçaları, ince bir yapıştırıcı filmi ile tutuculara yapıştırılabilir. Yapıştırıcının sertleşmesi için belli bir süre gereklidir. Ayrıca işlem tamamlandıktan sonra iş parçasının temizlenmesi ve yapışkanın çıkarılması gerekir ki bu da zaman alan bir işlemdir. Sonuç olarak, yapışkanlı tutucular yalnızca başka alternatif kalmadığında sadece hafif işleme yükleri altında kullanılabilirler (Joshi, 1998).

Çift taraflı bantla tutma, kesme kuvvetlerinin çok fazla olmadığı durumlarda öne çıkan hızlı ve basit bir sabitleme yöntemidir. Parça bant ile birleştirildiğinde bantı etkinleştirmek ve parçayı güvenli bir şekilde tutmak için bir kuvvet uygulanmalıdır. Bu tutucuların dezavantajı parçayı sökmenin basit bir yöntemi olmaması ve frezeleme işleminden sonra parçayı yapıştırıcıdan ayırmanın zor olmasıdır. Ayrıca çift taraflı bantlar yalnızca düz yüzeylerde etkili olmaktadır (Gregory vd., 2018).

Çift taraflı banda benzer şekilde, genellikle CA olarak kısaltılan siyanoakrilatlar da frezeleme işlemi için parçaları yapıştırmada kullanılabilmektedirler. Kırılgandırlar,

Üretim sırasında ısınan ve genişleyen metal parçaları yapıştırıcının kırılmasına neden olabilir. Ayrıca retim sonrasında, çıkarılması zor olan artık malzeme bırakabilirler (Gregory vd., 2018).

Yaygın olmayan bir diğerk yöntem olan mumlama iki şekilde uygulanmaktadır. İlki deformasyona engel olmak için parçayı mum ile kaplamaktır. Bu yöntem, hassas parçaların veya yumuşak malzemelerin nihai boyutları veya yüzey pürüzlüğü hakkında endişe duymadan işlenmesine olanak tanımaktadır. Diğerk yöntem ortası boş olan parçaların mum ile doldurulması yöntemidir (Gregory vd., 2018). Bal mumu yöntemi yalnızca başka bir bağlama yöntemi uygulanamadığında kullanılmaktadır.

2.3. Parça Tutmanın Prensipleri

Bir tutucu tasarımında, tutulacak iş parçası geometrisi ve imalat sürecinin dinamikleri önemli rol oynar. Tutucular, dış kuvvetlere maruz kaldığında iş parçasını yerinde tutabilmelidir. Dış kuvvetlerin en belirgin olduğı durumlar metal kesme operasyonlarıdır ve iş parçası bu kuvvetler karşısında uygun şekilde desteklenmediğı takdirde cihazından fırlayıp kendine ve çevresine zarar verebilirler (Benhabib, 2003). Bu nedenle konumlandırma ve kenetleme kavramları ayrıntılı olarak incelenmelidir.

2.3.1. Konumlandırma

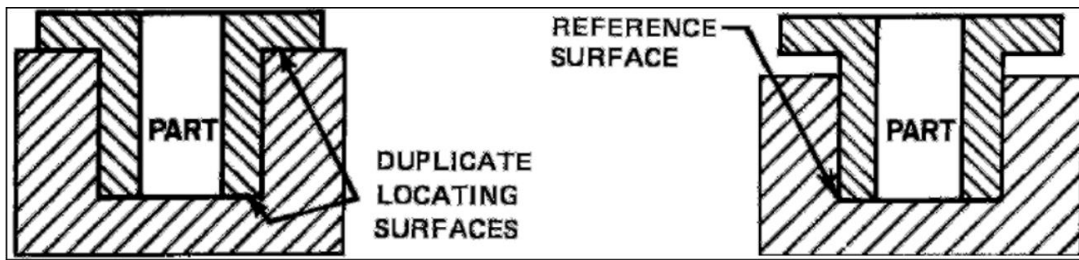
Bir katı cisim serbest üç boyutlu uzayda altı serbestlik derecesine sahiptir: üç öteleme (x, y, z eksenlerinde) ve üç dönme (x, y, z eksen etrafında) hareketi serbestliğı. Tutucu cihazın amacı, tüm bu hareketliliğı ortadan kaldırmak ve dış kuvvetlere karşı koyarak iş parçasına yeterli desteğı sağlamaktır (Benhabib, 2003).

Her işleme operasyonunda hassasiyeti sağlamak için iş parçası, kesici makineye uygun şekilde konumlandırılmalıdır. Tasarımcı, parçanın tutucuya tam oturmasını ve düzgün desteklenmesini garanti etmelidir. Konumlandırıcılar, parçayı doğru yerleştirmenin yanı sıra, cihazın kolayca yüklenip boşaltılmasını da sağlamalıdır. Tasarımcı, tutucu tasarımında şu hususlara dikkat etmelidir:

- Konumlandırıcıların yerleştirileceğı noktalar
- Parça toleransları
- Yön verme
- Gereksiz konumlandırıcı fazlalığından kaçınma (E. Hoffman, 2012).

Mümkün olduğu sürece konumlandırıcılar iş parçalarına işlenmiş yüzeylerinden temas ettirilmelidir. Bu, parçanın alete doğru yerleştirilmesine imkân verir ve ölçü hassasiyetini artırır. Konumlandırıcı noktalar birbirlerinden mümkün olduğunca uzağa yerleştirilmelidir. Bu sayede konumlandırıcı sayısında fazlalıktan kaçınılır (E. Hoffman, 2012).

Konumlandırıcı tasarlanırken parça toleransı göz önünde bulundurulmalıdır. Genel bir kural olarak konumlandırıcı parça yüzey toleransı parça toleransının %20'si ile %50'si arasında olmalıdır (E. Hoffman, 2012). Yön vericiler, parçanın doğru yönde bağlandığından emin olmak için kullanılır. Yön verme uygulandığında tutucu, iş parçasının sadece tek yönde bağlanmasına izin verecek şekilde tasarlanacaktır. Parçanın hatalı yönde bağlanması engellenmiş olacaktır. Yön verme, tutucunun belli kısımlarına pim eklenmesi ile gerçekleştirilebilir. Bu pimler iş parçasının deliklerine veya yan yüzeylerine denk gelecek şekilde yerleştirilir. Konumlandırma yüzeylerinde fazlalıktan kaçınılmalıdır. Fazla olması maliyeti arttırmakla kalmaz aynı zamanda iş parçasında ölçü hataları meydana getirebilir. Bu durum Şekil 2.50'de gösterilmektedir. Resimde solda iş parçası iki yüzeye birden oturtulmuştur. Yerleştirici yüzeyleri arasındaki tolerans farklılığı vb. etkenlerden kaynaklanan küçük ölçü farklılıkları, parçanın tam olarak oturmasına engel olabilmektedir. Oturtulmamış iş parçasında ölçü hataları meydana gelebilmektedir. Parça belirlenen referans yüzeyine oturtulmalıdır.



Şekil 2.50 Yerleştirmede doğru ve yanlış durumlar (E. Hoffman, 2012)

Konumlandırıcı ile iş parçası arasındaki temasın noktasal olması en iyi doğruluğu sağlayacaktır. Ancak noktasal temasta yüzey alanı çok küçük olduğu için basınç ve deformasyon artmakta ve parçada yüzey kusurları meydana gelmektedir. Bu nedenle daha çok yüzeysel temas tercih edilmektedir.

Konumlandırıcıların dağılımı ve konfigürasyonu bir mühendislik analizi konusudur. Konumlandırıcıların optimum yerleşimleri için mekanik gerilim analizi yapılmalıdır (Benhabib, 2003).

2.3.2. Sıkma

Bir tutucu cihazın görevi, iş parçasının konumunu üretim süreci boyunca korumak için yeterli sıkıştırma kuvvetini sağlamaktır. Sıkıştırma kuvvetleri, titreşimlerden dolayı gevşemeyi önleyecek kadar yüksek olmalı ve iş parçasının en sağlam bölgelerine yönlendirilmelidir. İmalat sırasında oluşan kuvvetler, sıkma elemanları yerine tutucu cihazın sabit parçaları (sabitleyiciler, taban plakası vb.) tarafından karşılanmalıdır. (Benhabib, 2003). Zayıf veya kırılğan iş parçalarını tutmak için, sıkıştırma kuvveti iş parçasının geniş bir alanına yayılmalıdır. Sıkma kuvveti iş parçasına zarar vermemeli veya onu ezmemelidir. Yumuşak iş parçalarını sıkıştırırken, parçasın hasar görmesini engellemek için kenetleme elemanlarına naylon veya fiber gibi yumuşak malzemelerden yapılmış ara elemanlar yerleştirilmelidir. Çok sayıda kavrayıcı elemanın tekrar tekrar sıkılıp gevşetilmesi gerekiyorsa, kurulum süresini kısaltan pnömatik veya hidrolik kenetleyici sistemleri kullanmak daha güvenli ve verimli olacaktır. Operasyon hızı, kolaylığı ve stratejik konumlandırma bir kenetleme sistemi tasarlanması için önemli olan diğer unsurlardır (Joshi, 1998). Hemen hemen tüm tutucu cihazlar, hidrolik, elektrik veya pnömatik güç kaynağı kullanılarak etkinleştirilebilmektedir. Güç aktivasyonunun otomasyon için kullanışlı olması önemli bir avantajdır (Benhabib, 2003).

2.4. İş Parçası Tutucusu Tasarımı

2.4.1. Alet tasarımının önemi ve tasarım kriterleri

Bir tutucunun mekanik tasarımı, geleneksel tasarım sürecinin tüm genel adımlarını içeren karmaşık bir mühendislik işidir. Bu adımlar, sentez, analiz ve prototip oluşturmaktır (Benhabib, 2003).

Ekipman tasarımı, üretim verimliliğini arttırmak için gerekli olan araçların, yöntemlerin ve işlemlerin analizini, planlamasını, tasarımını, yapımını ve uygulanmasını içeren imalat mühendisliğinin özel bir alanıdır. Tasarımda amaç kaliteyi koruyarak üretimi arttırırken masrafları aşağı çekmektir. Bu amaçla şunlar yapılmalıdır:

- a) Parçalar en düşük maliyette hazırlanmalı, toplam üretim maliyeti azaltılmalıdır.
- b) Parçaların mümkün olan en hızlı şekilde üretilmesi için gerekli olan araçların tasarımı yapılmalı, üretim oranları arttırılmalıdır.
- c) Parçaların gerekli hassasiyette uygun bir şekilde üretilebilmesi için gerekli araçlar

tasarlanmalı, kalite korunmalıdır.

- d) Bütün tasarımlar uygun maliyette ve olabildiğince verimli bir şekilde yapılmalı, özel araç maliyeti azaltılmalıdır.
- e) Araçlar güvenli ve kullanımı kolay olacak şekilde tasarlanmalıdır (J. G. Nee vd., 2010).

Bir aletin verimliliği ne kadar yüksek olursa olsun, üretim maliyetinin kazançları aşması durumunda kullanılabilirliği sorgulanabilir. Tasarımcı, tasarımının yeterliliğini değerlendirmek için aşağıdaki kontrol listesini kullanmalıdır:

- a) Tasarım operatörün döner parçalara yakın bir şekilde çalışmasını gerekli kılıyor mu?
- b) Araç tezgâh tablasına sabitlenebilmek için gerekli olan parçalara sahip mi?
- c) Tutucunun parçaları tezgâh tablasına uyumlu mu?
- d) Araç yüksek derecede tekrarlanabilirlik için uygun mu?
- e) Operatörü her türlü yaralanmadan koruyacak tüm çalışmalar yapıldı mı?
- f) Tüm keskin kenarlar ortadan kaldırıldı mı?
- g) Kavramanın ortadan kalkması veya işin tutucudan ayrılması olasılığı var mı?
- h) Tasarımda ergonomi dikkate alındı mı?
- i) Soğutucular ve kesme sıvıları alet üzerinde birikecek mi?
- j) Alet kolay bir şekilde temizlenebilir mi?
- k) Soğutma sıvısı akışı ve talaşların yönelimi operatörden uzağa doğru mu?
- l) Serbest parçalar kullanılacağı makineye bağlı mı veya güvenli bir şekilde sabitlenmiş mi?
- m) Alet hızlı bir şekilde devreye alınıp devreden çıkartılabiliyor mu (J. G. Nee vd., 2010)

2.4.2. Tasarım İşlemi

Bir tasarım süreci beş temel adımdan oluşmaktadır.

- a) Problemin analizi ve tanımlanması,

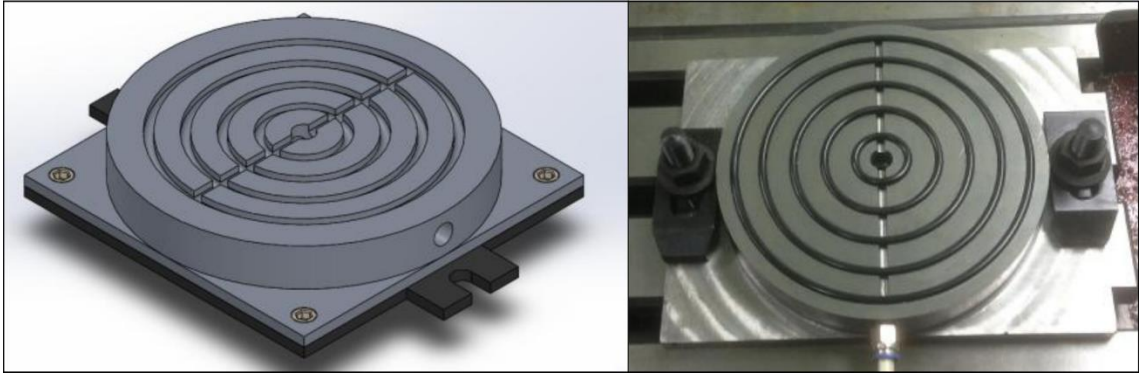
- b) Gerekliklerin analizi,
- c) İlk fikirlerin geliştirilmesi,
- d) Olası tasarım alternatiflerinin geliştirilmesi,
- e) Tasarım fikirlerinin sonuçlandırılması.

Yukarıda adımlar birbirinden bağımsız olarak ayrılmış olsa da aslında her biri birbirleriyle yakından ilişkilidir. Tasarımdaki ilk adım problemi veya hedefi, olduğu gibi basit bir şekilde tanımlamaktır. Problemin kapsamı belirlendikten sonra tasarım sürecinin geri kalan adımları takip edildiğinde, sorun analiz edilip çözülebilir. Problem kısmı geçildikten sonra fonksiyon, üretim gereksinimleri, kalite, maliyet, bitirme tarihi gibi gereksinimler, tasarımcının üzerinde çalışması gereken parametrelerin belirlenmesinde kullanılabilir. Tasarlanan her araç şunları yapabilmelidir:

- a) Belirli işlemleri yerine getirmek,
- b) Belirlenen minimum hassasiyet gereksinimlerini karşılamak,
- c) Masrafları minimumda tutmak,
- d) İhtiyaç duyulduğunda kullanılabilir olmak,
- e) Güvenli bir şekilde kullanılabilir olmak,
- f) Kullanılacağı makinaya uyarlanabilir olmak,
- g) Kabul edilebilir bir çalışma imkânı sağlamak. (J. G. Nee vd., 2010).

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ab Wahab vd., (2018) çalışmalarında bir vakum tutucusu tasarımını, üretimini ve optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Önce Catia V5 programında üç boyutlu bir tutucu modellenmesi yapılmıştır. Modellenen ve imalatı yapılan vakum tutucunun görüntüsü Şekil 3.1’de gösterilmektedir. İşleme kolaylığı ve tokluk özelliği göz önüne alınarak, ürün malzemesi olarak yumuşak çelik malzeme seçilmiştir. İş parçası parmak freze kullanılarak işlenmiş ardından işlenen yüzeylerin dört farklı noktasındaki pürüzlülük değerleri SJ-401 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Geleneksel mengene ile elde edilen ortalama pürüzlülük değeri 2,421 μm iken vakum mengene ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1,696 μm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, vakum mengene ile tutmada daha iyi bir stabilite ve daha az titreşimin elde edildiğini göstermiştir.



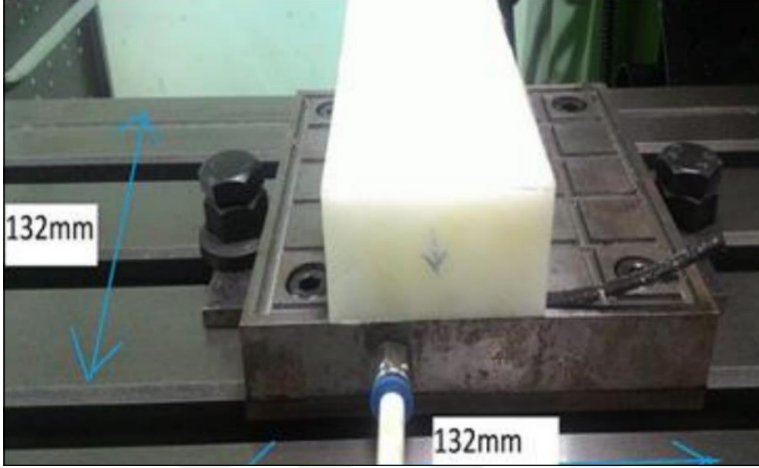
Şekil 3.1 Vakum fincan 3D çizimi ve gerçekleştirilmiş ürün (Ab Wahab vd., 2018)

Teorik dikey basma kuvveti eşitlik (3.1)’ deki formül yardımıyla hesaplanmıştır

$$F \text{ (N)} = P \text{ (N/mm}^2\text{)} \times A \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.1)$$

Burada P emme basıncını, A aktif yüzey alanını temsil etmektedir. Vakum kaynağı olarak 0,47 bar emme basıncı sağlayan VE115N model vakum pompası kullanılmıştır. Elde edilebilecek maksimum dikey basma kuvveti 0,6725 kN olarak hesaplanmıştır. Üretilen tutucunun vakumlama yüzeyi çapı 138 mm’dir. Vakum tutucu ve normal mengene kullanılarak işlenen iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında, vakum tutucu kullanılarak işlenen parçanın ortalama yüzey pürüzlük değerinin %29,6 daha az olduğu görülmüştür.

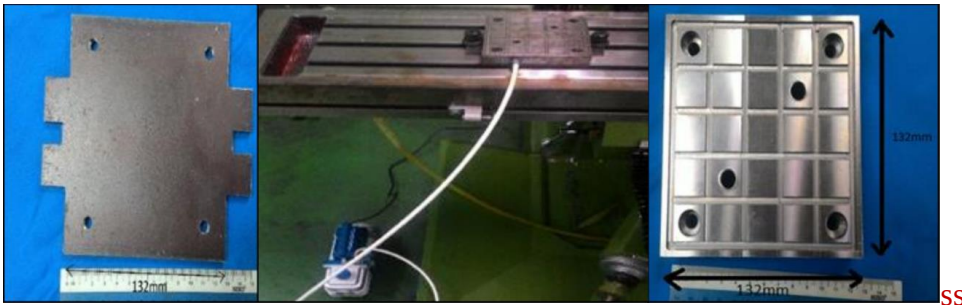
Ab Wahab vd., (2020)' çalışmalarında bir vakumlu mengene imalatı yapmıştır. Bu ürünün geliştirilmesindeki amaç iş parçası bağlama süresini kısaltmak ve ince parçaların tezgahlara bağlanmasını kolaylaştırmaktır. İmalat sürecinde frezeleme ve delme tezgâhları kullanılmıştır. Ürün geliştirildikten sonra yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Üretilen iş parçasının resmi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Alüminyum vakum tutucu ve iş parçası (Ab Wahab vd., 2020)

Üretimde işleme kolaylığı sağladığı için alüminyum malzeme tercih edilmiştir. Pürüzlülük testleri delrin ve alüminyum iş parçalarına uygulanmıştır.

Ürün, alt kısım ve üst kısım olmak üzere iki parça halinde üretilmiştir. Alt kısım, üzerine açılan dört delikle üst kısma cıvatalarla bağlanmaktadır. Sızdırmazlığı sağlamak için üst plaka üzerindeki kanallara conta yerleştirilmiştir. Vakum pompası çalıştırıldığında iş parçası tablaya doğru çekilmiş ve kavrama gerçekleştirilmiştir. İş parçası yüzey işleme frezesiyle işlenmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri portatif yüzey pürüzlülük ölçme cihazı SJ-401 kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.3'te imalatı yapılan vakum tutucu sistemi gösterilmektedir. Solda kanallı alt plaka, ortada tablaya bağlanmış vakum tutucu ve vakum pompası, sağda kanallı ve bağlantı delikli üst plaka gösterilmektedir.



Şekil 3.3 İmalatı yapılan vakum tutucu ve yardımcı elemanlar (Ab Wahab vd., 2020)

Aynı testler geleneksel mengene kullanılarak tekrarlanmıştır. Geleneksel mengenede işlenen delrin iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülük değeri 1,943 μm olarak ölçülmüştür. Tasarlanan vakum mengene ile işlenen üründe ise pürüzlülük değeri %40 oranında düşmüştür. Alüminyum iş parçası testlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Harini vd., (2014)' çalışmalarında bir vakum tutucunun kavrama kuvvetinin ölçümünü yapmıştır. Çalışmanın amacı bir vakum mengenenin vakum yüzey alanını geliştirerek, kavrama kuvvetini arttırmaktır. Kesici frezenin teğetsel ve eksenel kuvvetlerinin ölçümünde ISCAR online hesaplayıcı kullanılmıştır. İş parçası olarak Al 7075-T7351 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Tablo 3.1'de tercih edilen kesme parametreleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Al 7075-T7351 iş parçasının kesilmesi işleminde kesme kuvvetlerinin hesabında kullanılmış parametreler (Harini vd., 2014)

NO	PARAMETRE	DEĞER
1	Kesici takım çapı	50 mm
2	Ağız sayısı	4
3	İş mili hızı	6000 rpm
4	Besleme hızı	4064 mm/dk
5	Radyal derinlik (takım çapının %65' i)	32,5 mm
6	Eksenel derinlik	4,826 mm
7	Helis açısı	35°
8	Radyal talaş açısı	2°
9	Kesici takım türü	Takma uçlu

Bu parametrelere kullanıldığında iş parçasının maruz kalacağı kuvvet literatürdeki uygulamalar yardımıyla hesaplanmıştır. Bu kuvvete göre de gerekli tutucu kuvvet (3.2) formülüne göre hesaplanabilmektedir:

$$F = (\text{Kesme kuvveti} / \text{statik sürtünme katsayısı}) \times \text{Güvenlik Katsayısı} \quad (3.2)$$

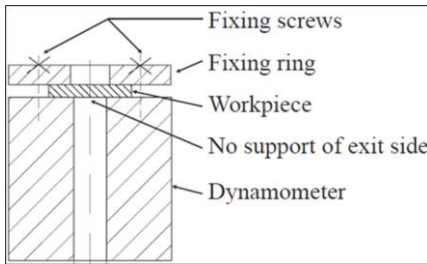
Teğetsel ve eksenel kesme kuvvetleri sırasıyla 103,67 N ve 197,23 N iken, vakum alanı 9149 mm² den 45038 mm² ye çıkarıldığında kavrama kuvveti 772,59 N dan 3715,48 N' a yükselmektedir. Bu değerlere dikkate alındığında tutma kuvvetinin kesici kuvvetler

karşısında yeterli olduğu görülmüştür.

Çalışmanın statik analiz kısmında, talaşlı imalat sırasında parça yüzeyine etkiyecek Von-Mises gerilmelerinin ve parçadaki bozulmaların tespiti için sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmıştır. Malzeme üzerine etkiyen gerilmeler akma gerilmesi değerinden düşük olduğu için malzeme bütünlüğünde herhangi bir bozulma meydana gelmeyeceği sonucuna varılmıştır.

Pilný, (2011)' alüminyum plakaların yüksek hızda delinmesi sırasında meydana gelen çapak oluşumunun minimize edilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Bu amaçla bir vakum tutucu tasarımı yapılmıştır. Çalışmada vakum tutucunun avantajlarını daha iyi görmek ve geleneksel sistemlerle karşılaştırmak amacıyla, ilk olarak geleneksel bir bağlama metodu ile bağlanan iş parçası, delme testlerine tabi tutulmuştur. Daha sonra aynı testler özdeş şartlar altında vakum mengenenin kullanıldığı düzeneklerde tekrarlanmıştır.

Testlerde yüksek hızlı iş miline sahip CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri, iki bileşenli piezo-elektrik dönüştürücü kistler tipi 9271A, SN 76766 ile ölçülmüştür. Kesici takım olarak 16 mm çapında HSS kaplamasız 2 ağızlı DIXI 1138/18652.04 V2 matkap kullanılmıştır. İş parçası olarak 50x50x2 mm alüminyum malzeme kullanılmıştır. İş parçası ilk testte Şekil 3.4'te görüldüğü gibi bir rondela ve cıvatalar yardımı ile dinamometreye direkt bağlanmıştır.



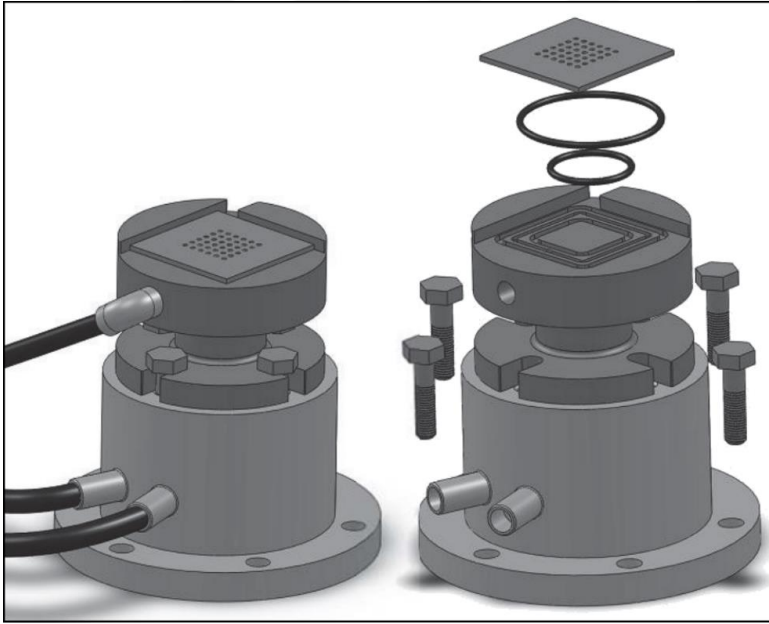
Şekil 3.4 İş parçasının geleneksel yöntemle bağlanması ve işlemeye hazır hale getirilmesi (PILNÝ, 2011)

İkinci testte ise bağlama ekipmanı olarak vakum tutucu kullanılmıştır. Şekil 3.5'te vakum tutucunun montaj ve demontaj görüntüsü verilmiştir. Vakum kaçağını önlemek için iki adet O-ring kullanılmıştır. Bunlar tutucu üzerindeki kanallara yerleştirilmiştir. İki o-ring arasına, iş parçasının alt yüzeyine düzgün basınç dağılımı sağlayacak vakum kanalları açılmıştır. En üstte 50 x 50 mm boyutlarında 2 mm kalınlığında iş parçası, iki o-ring üzerine doğrudan yerleştirilmiştir. İş parçasının iki yan yüzeyi tutucu üst parçasının

ardışık iki yüzeyi tarafından desteklenmektedir. Bu sayede iş parçası hareketi 2 yönde sınırlandırılmaktadır ve dönme engellenmektedir. Tutucu, cıvatalar ile dinamometreye bağlanmıştır.

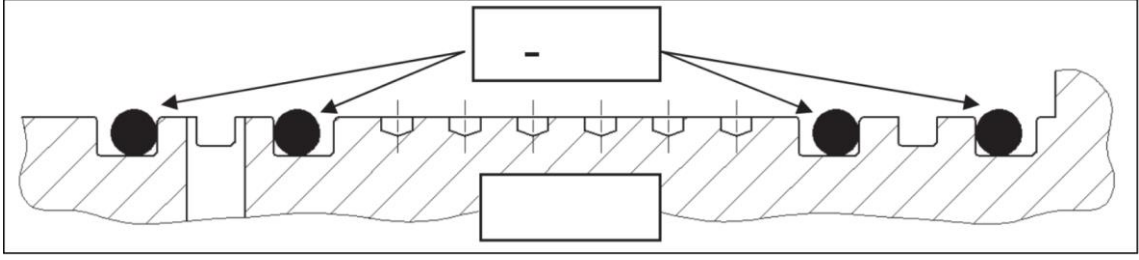
Test için dinamometre freze tablasına cıvatalarla bağlanmıştır. Dinamometre ayrıca şarj amplifikatörleri ve Labview 8.0 ile donatılmış PC toplama kartı ile bağlantılıdır. İş parçasının yerleştirilmesinin ardından sistem çalıştırılmış ve testlere başlanmıştır. Tutucuya bağlı iş parçası üzerine 1 mm çapında 30 adet delik delinmiştir. Devir sayısı 16000, 23000 30000, 37000, 44000 rpm ve diş başı ilerlemeler 0,121 mm ile 0,035 mm arasında seçilerek testler tekrarlanmıştır

O-ring malzemesi olarak nitril kauçuk (NBR) tercih edilmiştir. Bu malzemenin vakum uygulamalarında en uygun malzeme olduğu belirtilmiştir. Bu kauçuk, -40 ila 100 °C aralığında çalışmaya uygundur. Sızdırmazlık elemanının 40 Shore sertlik değerine sahip olması yeterli görülmektedir.



Şekil 3.5 Çalışmada kullanılan vakum tutucu sisteminin montaj görüntüsü (PILNÝ, 2011)

Şekil 3.6’da tutucu üst kısmının kesit görüntüsü verilmiştir. Kesitin üst orta kısmında görülen 6 adet küçük delik, matkabın plakayı deldikten sonra tutucuyu 1mm derinliğinde kestiği kısımları göstermektedir.



Şekil 3.6 Tutucu üst kısmı kesit görüntüsü (PILNÝ, 2011)ss

Tutma kuvveti hesabında eşitlik 3.1 kullanılmıştır. Burada basınç, atmosfer basıncı ile iş parçası alt yüzeyi arasındaki basınç farkını, yüzey alanı ise vakumun etkidiği alanı temsil etmektedir. Vakum pompasından 0,8 bar vakum basıncı elde edilebileceği kabul edilmiştir. Vakum yüzey alanı 1070 mm² olarak hesaplanmıştır. Bu durumda 85,6 N bir dikey basma kuvveti elde edileceği varsayılmıştır. Alüminyum parçaya 1,6 mm’lik delik açma sırasında oluşacak torkun yalnızca 6 N.cm olabileceği hesap edilmiştir.

Speedyvac ES100 vakum pompası kullanılmıştır. İş parçasını hızlıca bağlamak ve parçacıkların sisteme girmesini önlemek için bir vakum regülasyon sistemi eklenmiştir. Bu sistemde vakum göstergesi, vakum filtresi, shut off valfi, itmeli bağlantı parçaları ve konektörler bulunmaktadır.

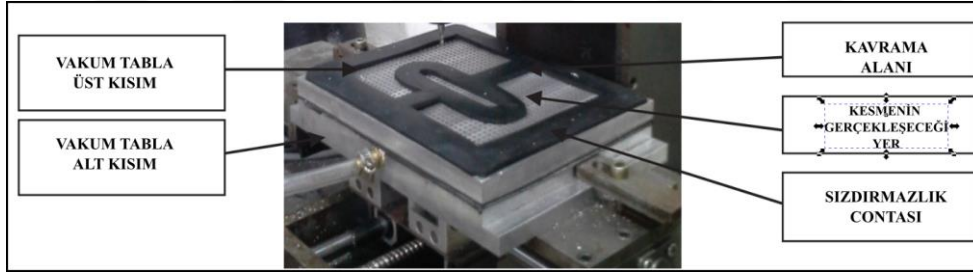
Vakum pompasının kullanılmadığı durumdaki testlerde kesme kuvveti değerleri iki bileşenli piezo elektrik dönüştürücü kullanılarak ölçülmüştür. Çapak yüksekliği ölçümü otomatik odaklanabilir optik ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. Çapak genişliği optik CMM makinesi ile ölçülmüştür. Kesme işlemlerinde 3 eksen Cincinnati Miacron Sabre 750 marka CNC freze tezgâhı kullanılmıştır.

Testler sonucunda şu bilgilere ulaşılmıştır;

- Vakum mengene kullanılması sayesinde çapak boyunda 35% azalma meydana gelmektedir. Kesme hızı arttıkça çapak yüksekliği azalmaktadır.
- Vakum mengene kullanılması durumunda çapak genişliği değeri %16 oranında azalmaktadır. Kesme hızı arttıkça genişlik azalmaktadır.
- Vakum mengene kullanılması durumunda devir başına ilerleme değeri arttıkça çapak yüksekliğinde önemli bir değişim gözlemlenmemiştir.
- Kesme hızı çapak oluşumunu etkileyen en önemli faktördür

Yanel vd., (2019)’ çalışmalarında, alüminyum plakaların PC tabanlı CNC frezeleme

ekipmanı kullanılarak kesilmesi işleminde vakumlu mengenerlerin etkisini araştırmıştır. Optimum emme basıncı ve bunun yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Kesme işlemleri PC tabanlı CNC freze tezgahında yapılmıştır. Kavrama ekipmanı olarak vakum tutucu kullanılmıştır. Kesici olarak 3 mm çapında HSS parmak freze kullanılmıştır. İş parçası olarak 1,7 mm kalınlığında alüminyum (Al110) plaka kullanılmıştır. Sızdırmazlık sağlamak için 1,7 mm kalınlığında kauçuk mat kullanılmıştır. Kesme işlemi 2650 dev/dk dönme hızında, 32 mm/dk besleme hızında, 0,2 kesme derinliğinde 0,007 mm diş başı ilerleme değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzsüzlüğü profilometre ile ölçülmüştür. Vakum pompasının emme basıncı bir valf ve kontrol tüpü ile kontrol edilmiştir. Bu sayede sabit bir emme basıncı sağlanmıştır. Testlerde farklı vakum basınç değerlerindeki sonuçlar incelenmiştir. En iyi pürüzlülük değeri, en yüksek emme basıncında elde edilmiştir. Testlerde kullanılan tutucu Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Vakum tabla ve bileşenleri (Yanel vd., 2019)

Vakum tutucu, alt kısım ve üst kısım olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır. Alt kısım yan vakum deliğiyle vakum pompasına bağlıdır. Üst kısım üzerine açılan 3 mm çapındaki deliklerle iş parçasının tutulmasını sağlamaktadır. Her delik arası 5 mm mesafe bulunmaktadır. Vakum kaynağı olarak 0,25 kW döner kanatlı bir pompa kullanılmıştır. Tutma kuvveti Şekil 3.8’de görüldüğü gibi iş parçasının çekilmesi ile ölçülmüştür.



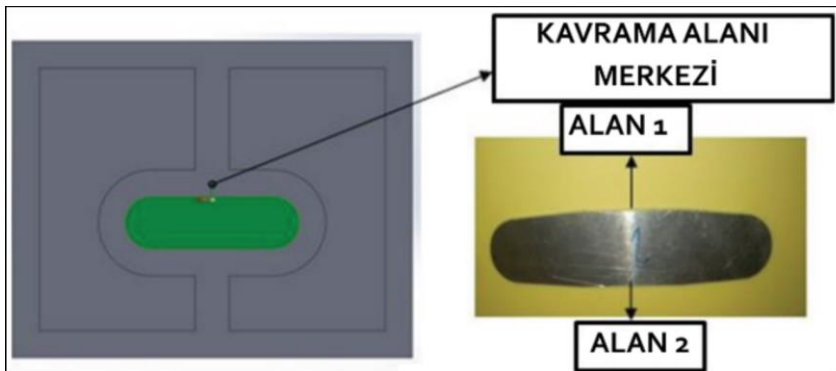
Şekil 3.8 Vakum tabla tutma kuvveti ölçüm testi (Yanel vd., 2019)

Kullanılan matın teknik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Vakum tutucuda kullanılan mat teknik özellikleri (Yanel vd., 2019)

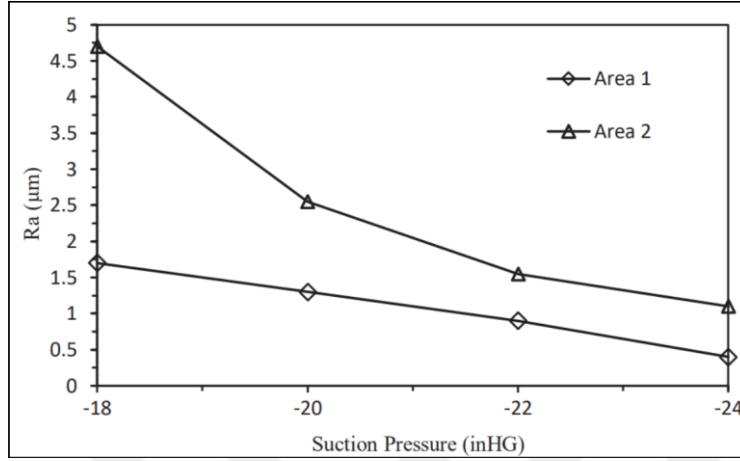
NO	Uygulanan Test	Test Sonuçları	Test Metodu
1	Çekme dayanımı testi, N/mm^2	2,07; 2,12; 2,12	ISO 37
2	Uzama %	52; 56; 52	ISO 37
3	Yüzey gerilimi	2,09; 2,11; 2,1	ISO 34 – 1
4	Sertlik, IRHD	85; 84; 84,1	ISO – 48

Emme basıncı -18, -20, -22, -24 inHg olarak testler gerçekleştirilmiştir. İş parçası tablanın ortasına yerleştirilmiştir. Ancak iş parçasının kesilen kenarlarından bir tanesi merkeze yakın iken diğer kenarı ise daha uzakta kalmıştır. Bu durum Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Burada kavrama pozisyonunun pürüzlülüğe etkisi gözlemlenmek istenmiştir.



Şekil 3.9 Pürüzlülük testi için kesilen parça (Yanel vd., 2019)

Şekil 3.9’da solda gösterilen kesilmiş iş parçasının iki farklı alanındaki yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüş ve Şekil 3.10’ da gösterilen grafikteki sonuçlar elde edilmiştir.



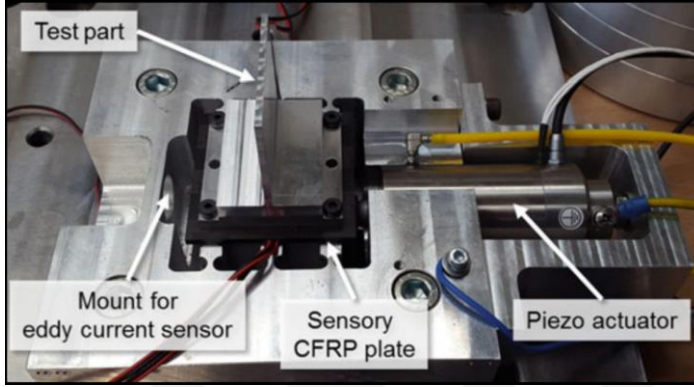
Şekil 3.10 Alan 1 ve Alan 2’nin yüzey pürüzlülük değerleri (Yanel vd., 2019)

Şekil 3.10’ da gösterildiği üzere, vakum basıncının artması yüzey pürüzlülük değerinde önemli bir etkiye sahiptir. Vakum basıncı dolayısıyla da tutma kuvveti arttıkça pürüzlülük değerleri azalmaktadır. Parça tutucunun orta noktasının yüzey pürüzlülük değeri pürüzlülük açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

Moehring vd., (2018)’ ince kanat şeklindeki bölümlere sahip iş parçalarının CNC tezgahlarında işlenmesi sırasında ortaya çıkan titreşimi sönümleme üzerine çalışmalar yapmıştır. Kritik iş parçası titreşimlerinin tanımlanmasında CFRP transdüserler kullanılmıştır. Piezo aktüatörlerin entegrasyonu ile titreşimlere karşı kontra titreşimler uygulanarak, titreşimin sönümlenmesiyle iş parçası yüzey kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Bu mekatronik sistemin geliştirilmesinde yenilikçi simülasyon yaklaşımlarından da yararlanılmıştır.

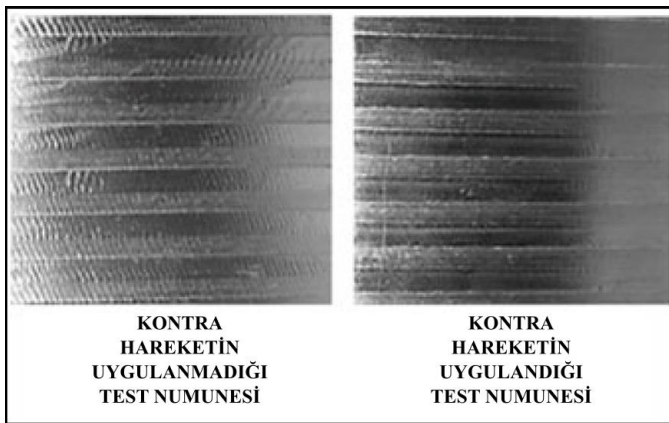
Yüksek titreşimler özellikle düşük dinamik sertliğe sahip iş parçalarında ve ince uzun freze takımları kullanıldığında meydana gelmektedir. İş parçası olarak 200 mm çapında 65 mm yüksekliğinde Al7075 alüminyum malzeme kullanılmıştır. Farklı kesici takımlarla kaba, ara kaba ve finiş işlemleri uygulanmıştır. İlk olarak titreşimlerin tespiti için iş parçası alt yüzeyine sensör görevi gören CFRP plaka yerleştirilmiştir. Titreşimlerin sönümlenmesi amacıyla da sisteme aktüatörler entegre edilmiştir.

Titreşim ölçümü ve karşı uyarım stratejileri hakkında araştırma yapılmasını sağlayan Şekil 3.11’de gösterilen tek serbestlik dereceli test düzeneği kurulmuştur. İşleme sırasında iş parçasındaki titreşimlerinin ölçülmesi için sensör görevi gören CFRP plaka, iş parçası ile tutucu tablası arasına yerleştirilmiştir. Tutucu tablasının hareketi girdap akım sensörleri ile ölçülmüştür. Lazer sensörler yardımı ile iş parçası üst kısmındaki titreşimler tespit edilmektedir.



Şekil 3.11 Tek serbestlik dereceli, titreşim analizi ve kontra titreşim testi (Moehring vd., 2018)

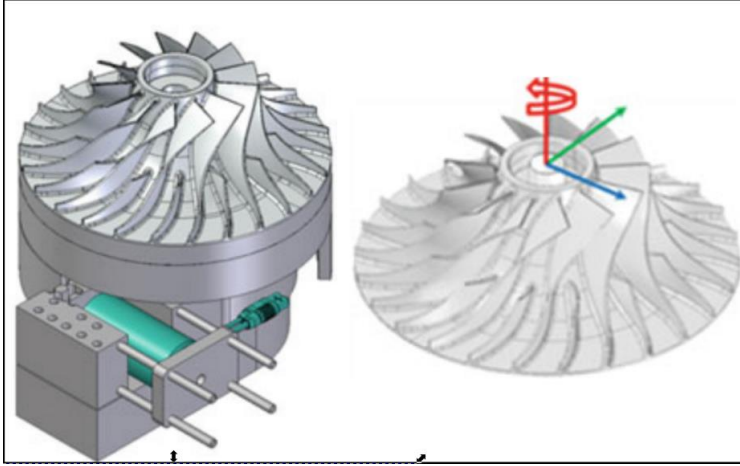
Testler kontra hareketlendirmenin olduğu ve olmadığı durumlarda ayrı ayrı yapıldığında, pürüzlülük değerleri sırasıyla 3,35 ve 0,68 μm olmuştur. Şekil 3.12’de sol da kontra hareket verilmeden işlenmiş iş parçasının yüzeyi, sağ da kontra hareket verilerek işlenmiş iş parçasının yüzeyi gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Kontra darbenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Moehring vd., 2018)

Sönümleyici sistemin üç boyutlu görseli Şekil 3.13’te gösterilmektedir. İş parçasına gelen titreşimlere karşı kontra titreşimler Şekil 3.13’te solda yeşil renkle gösterilen aktüatörler vasıtasıyla elde edilmektedir. Aktüatörlerin etkisiyle iş parçası dönme hareketini

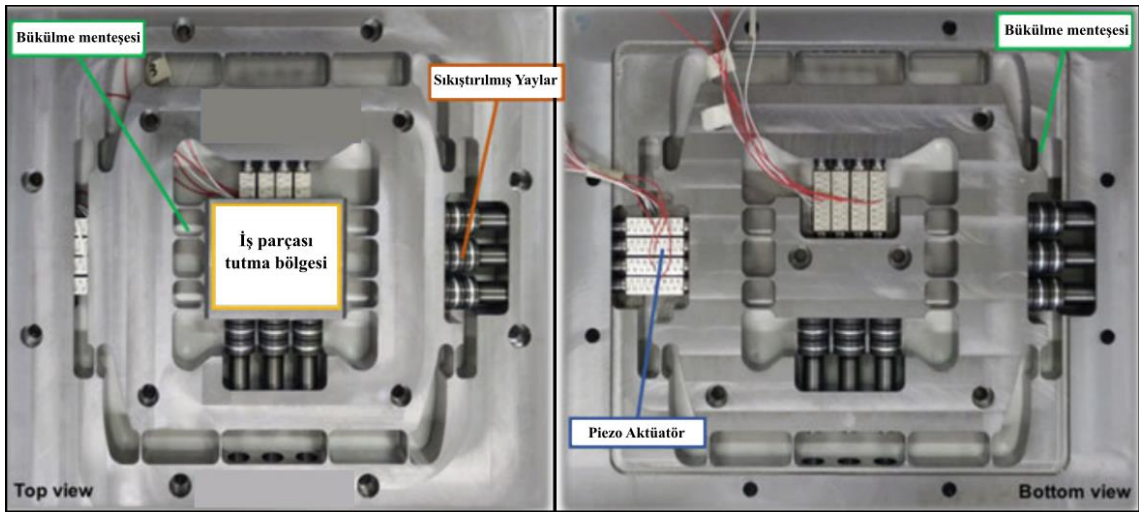
yapmaktadır.



Şekil 3.13 Tutucu 3 boyutlu görseli ve sistemin kontra hareketi (Moehring vd., 2018)

Sallese vd., (2018) çalışmalarında, iş parçasına gelen titreşimleri sönmölemek amacıyla, titreşime zıt yönde titreşimler uygulayan bir tutucu tasarlamışlardır. Bu tasarımda tutucu çerçevesinin önemi büyüktür. Tutucu, ölçüm hassasiyeti için gerekli rijitliği sağlarken, aynı zamanda aktüatörlerin etkisiyle küçük yer değıştirmelere izin verecek esnekliğe de sahip olmalıdır. Bu çelişkili gereksinimler, genellikle çerçeveye monolitik tutucu menteşelerin eklenmesi ve eksenel hareketlerin ayrıştırılması yoluyla karşılanmaktadır.

Çalışmada hazırlanan prototipin ön ve arka görünüşü Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Siyah renkli aktüatörler karşı yöndeki ön gerilmeli yaylarla denge halindedir. X ve Y yönündeki hareketler birbirlerini etkilememektedir.



Şekil 3.14 Titreşim sönmöleme kabiliyeti olan tutucu prototipi ön ve arka görünüşü (Sallese vd., 2018)

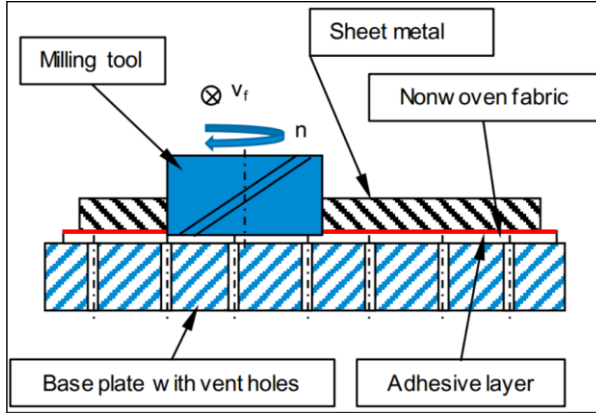
Hareketlendirme sistemi olarak, yüksek enerji yoğunluğu ve bant genişliği nedeniyle, piezoelektrik teknolojisi tercih edilmiştir. Bu bileşenler yüksek sıkıştırma baskılarına dayanabilmektedirler, ancak çekme ve eğilme gerilmelerine karşı hassas olduklarından bu tip etkilere karşı ayrı önlem alınmıştır. Aktüatörler ayrıca uzun bir çalışma süresi boyunca kontra gerilmeler üretebilme kabiliyetinde olmalıdırlar. Bu gereksinimleri karşılayabilecek Noliac marka hareketlendiriciler tercih edilmiştir.

Azaltılmak istenen titreşim frekansını ve bu amaçla gerekli optimum kontrol sinyallerini belirlemek için Aktif Titreşim Kontrol uygulaması kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, X ve Y eksenlerindeki titreşimler ortalama %70 oranında azaltılmıştır.

Teicher vd., (2019)' vakum ve yapıştırıcı kuvvetini birleştiren hibrit bir kavrama sistemi üzerine ayrıntılı bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, ısıya duyarlı yapıştırıcı ile kaplanmış sentetik kumaşla birleştirilen vakum sisteminin çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Farklı pompalarla yapılan testlerin analizinde, döner kanatlı pompanın en verimli olduğu belirlenmiştir. Sistemin optimizasyonu için frezeleme testleri yapılmış, kullanılan kesici takımın fiziksel özelliklerine uygun devir, ilerleme ve diş başı ilerleme değerleri seçildiğinde hedeflenen optimum sonuca ulaşıldığı görülmüştür.

Bu hibrit kavrama sistemi, üzerinde hava delikleri bulunan bir ana plaka ve bunun üstünde kaplanmış sentetik kumaştan oluşur. Sentetik kumaş iki tabakalıdır ve üst katmanda ısıya duyarlı EVA yapıştırıcı bulunmaktadır. İş parçası bu yapıştırıcı tabaka üzerine yerleştirilir. Talaşlı imalat sırasında iş parçası ısındığında, yapıştırıcı erir ve iş parçası ile yapıştırıcı arasında bir bağ oluşur. Bu mekanizma, iş parçasını güvenli bir şekilde sabitlemeyi amaçlar. Sistemin şematik gösterimi Şekil 3.15'te yer almaktadır.

Tutma kuvvetinin büyük bir kısmı, negatif basınç ve ısıya duyarlı yapıştırıcı ile sağlanır. Ayrıca, ince plakaların kenarlarında oluşan çapaklar kumaşa saplanarak iş parçası ile kumaş arasında istenmeyen bir bağ oluşmasına neden olabilir. Ancak, uygun devir ve ilerleme ayarlarıyla bu çapakların önlenemediği görülmüştür. Kumaşın ana amacı, kesici takımın kumaşa kadar girerek talaşlı imalat sırasında iş parçası kenarlarında çapak oluşumunu engellemektir. Bu sayede kesici takım kumaşı keser, ancak tutucu zarar görmez.



Şekil 3.15 Hibrit tutucu sisteminin bileşenleri (Teicher vd., 2019)

Pilný vd., (2012)' hoparlör ızgara deliklerinin matkapla delinmesi sırasında çapak oluşumunu minimize etmek üzerine bir araştırma yapmıştır. Çapak oluşumunu etkileyen üç temel parametreyi incelemişlerdir: delme işlem parametreleri (dönme hızı, ilerleme, dış başı ilerleme, kesme hızı), parça tutucu sistemi ve matkap geometrisi.

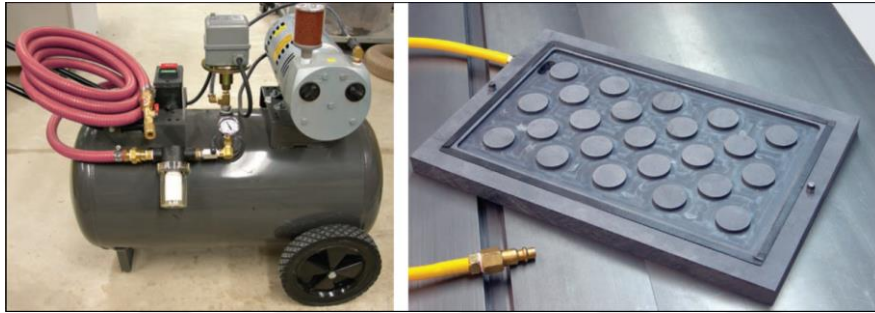
Araştırmada, sac levha şeklindeki iş parçaları vakum mengene ile tutulmuştur. Sızdırmazlık elemanı olarak 70 Shore sertliğe sahip iki adet NBR vakum conta kullanılmış, vakum kaynağı olarak ise Speedyvac ES100 vakum pompası kullanılmıştır. İş parçası, conta üzerine yerleştirilmiş ve vakum verildiğinde sabitlenmiştir. Conta, deliklerin hizasına denk getirilmiş, delme sırasında conta vakum etkisiyle iş parçası deliğini doldurarak çapak oluşumunu önemli ölçüde engellemiştir. Bu sistemin kullanılmadığı testlerle karşılaştırıldığında, çapak boyunun %50 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

Reith, (2009)' makalesinde, vakum ile tutma prensibi hakkında temel bilgiler sunmuştur. Çalışmada, kullanılan pompanın verimi %83,5 olarak kabul edilmiştir. Doğru pompa seçiminin, işlenecek parçanın özelliklerine bağlı olduğunu belirtmiştir. Gözenekli malzemelerde vakum kaybı fazla olabileceği için, saatte 2300 m³ havayı çekebilen blower tipi pompaların tercih edilebileceğini ifade etmiştir. Yoğun veya dolu malzemeler için ise daha sessiz ve verimli olan döner kanatlı pompalar önerilmektedir; bu pompalar saatte 192 m³ hava çekme kapasitesine sahiptir.

Her iki pompa türü de ortalama 635 mmHg emme gücü sağlar, ancak bazı özel pompalar 749 mmHg'ye kadar çıkabilmektedir. Sızıntılar nedeniyle mutlak bir vakum sağlamak mümkün olmasa da, pompa verimini artırmak için sisteme hava tankı eklenebilir. Hava tankı, ani güç kaybı veya conta hasarı durumunda kısa süreli ek vakum gücü sağlar.

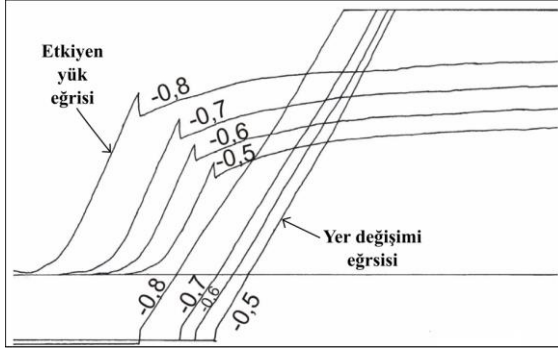
Tipik bir vakum sisteminde bulunması gerekenler bileşenler; bir vakum tankı, vakum pompası, vakum basınç ayar düğmesi (yüksek – düşük ayarlanabilir), hava giriş çıkış hattı filtrasyonu, vakum hortumları ve bağlantı parçalarıdır. Sistem bileşenleri ve tutucu plaka Şekil 3.16’da gösterilmiştir.

Vakum mengene sistemlerinde, sürtünme kuvvetinin artırılması için temas yüzeylerinin pürüzlü olması tercih edilir. Ayrıca, tespit pimleri hem hızlı konumlandırma sağlar hem de iş parçalarının dış kuvvetlere karşı sabit kalmasına yardımcı olur.



Şekil 3.16 Bir vakum tutucu sistemi elemanları (Reith, 2009)

Csanady vd., (2007)’ çalışmasında, ahşap işleme endüstrisinde kullanılan vakum tutucu sistemlerinde iş parçası hareketlerini analiz etmiştir. Verimliliği artırmak için devir ve ilerleme hızlarının yükseltildiği yüksek kayma ve titreşimli şartlarda iş parçasının stabilitesi incelenmiştir. İş parçası üzerindeki hareketler, 0,2 ila 0,9 bar arasında 0,1 bar aralıklarla yapılan yandan çekme testleriyle değerlendirilmiştir. Statik sürtünme kuvvetini geçmediği sürece iş parçasında hareket gözlemlenmemiştir. Sistem, mikrometre mertebesinde hareketleri ölçen ve statik ile kinetik sürtünme kuvvetlerini teorik olarak hesaplayan bir devre ile donatılmıştır. Yükler, devrenin yerleştirildiği parçanın deformasyonu aracılığıyla ölçülmüş ve eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Başlangıçta yük lineer olarak artarken, ani kayma sonucu yükte ani bir düşüş yaşanmıştır. Kayma sonrası artan çekme kuvveti nedeniyle parça hareket etmeye devam etmiştir. Yük ve yer değişim grafiği Şekil 3.17’de gösterilmiştir; grafikte vakum basıncı arttıkça çekme kuvvetinin de arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.17 Farklı basınçlarda yük artışı yer değiştirme grafiği (Csanady vd., 2007)

İkinci testte, vakum basıncı yerine yer çekimi kuvveti kullanılmıştır. İş parçası vakumla çekilmemiş, üzerine konulan bir ağırlıkla çekme kuvveti taklit edilmiştir. Testler, sızdırmazlığı sağlayan kauçuk profilin varlığı ve yokluğu durumlarında iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, kauçuk profilin sürtünme teorisine etkisini incelemek amacıyla uygulanmıştır. Testin uygulanma resmi Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Ağırlık uygulanarak yapılan çekme testi (Csanady vd., 2007)

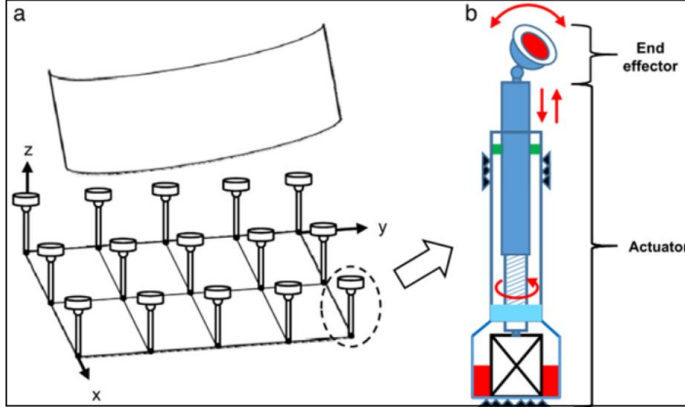
Üçüncü testte, vakumla çekilen iş parçası tabladan dikey doğrultuda çekilmiştir. Bu test, kauçukla sınırlandırılmış vakum alanının etkin kısmının ne kadar olduğunu incelemek amacıyla yapılmıştır. Dikey çekme işlemi Şekil 3.19’da gösterilmektedir.



Şekil 3.19 İş parçasının dikey çekilmesi testi (Csanady vd., 2007)

İlk test sonucunda, vakum alanı sabit tutulduğunda, basınç ile statik ve kinetik sürtünme katsayıları arasında ters orantı olduğu bulunmuştur. Bu, yüzey tabakasının deformasyonundan kaynaklanmaktadır. Statik sürtünme katsayısı basınçla az değişirken, kinetik sürtünme katsayısındaki değişim belirgin olmuştur. İkinci testte benzer sonuçlar elde edilmiştir. Üçüncü testlerde, kauçukla sınırlandırılan alanın tamamının vakum alanı olarak değerlendirilmemesi gerektiği anlaşılmıştır. Vakum alanının verimi, malzeme türüne bağlı olarak değişmektedir; örneğin, suntada vakum alanının %70-90'ı, MDF'de ise %40-50'si etkili olmaktadır.

Do vd., (2018), çoklu vakum tutucu elemanlarından oluşan bir kavrama sisteminde iş parçasının bağlanma pozisyonu ve açısının optimum değerlerini hesaplamış ve uygulamıştır. Tutucu elemanlar eşit aralıklarla yerleştirilmiş olup, her eleman konumlandırıcı yüzey ve vakum vantuzundan oluşmaktadır. Sistemin yüksekliği bilyeli vida mekanizması ile ayarlanabilir ve kafa kısmı bilyeli bağlantı ile merkez nokta etrafında dönebilir. İstenen yükseklik ve açı ayarlandıktan sonra sistem kilitlenir ve sabitlenir. İş parçası geometrisine göre gerekli sayıda tutucu eleman kullanılabilir. Şekil 3.20'de sistemin ve bir tutucu elemanın görseli gösterilmiştir.



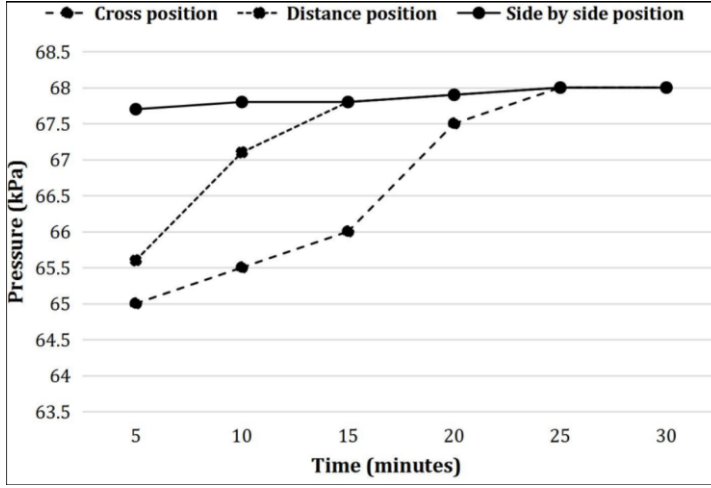
Şekil 3.20 Tutucu sistemindeki elemanlar ve bir tutucu elemanın görseli (Do vd., 2018)

İş parçası, kavrama ve işleme kuvvetleri nedeniyle deformasyona uğrayabilmektedir. Aktif eleman sayısının fazla tutulması deformasyonun azaltılması konusunda fayda sağlayacaktır.

Adli vd., (2021) ince iş parçalarını hasarsız bir şekilde tutabilecek bir tutucu tasarımı üzerine çalışma yapmıştır. Tasarım, 153x153x52 mm boyutlarında, delrin ve poliamid olmak üzere iki farklı malzemeden üretilmiş ve 70 kPa sızdırmazlık malzemesi kullanılmıştır. Vakum yeterlilik testinde, vakum kaynağının sürekli çalıştığı ve başlangıçta çalışıp sonrasında durdurulduğu durumlarda basınç değişimleri gözlemlenmiştir. Vakum kaynağı çalışırken, 30 dakika boyunca vakum basıncında bir azalma gözlemlenmemiştir. Ancak, vakum kesildikten sonra 10 dakika içinde basıncın sıfıra düştüğü görülmüştür. Çoklu tutucuların etkisini incelemek için üç yerleşim türü test edilmiştir: çapraz, yan yana ve bitişik (Şekil 3.21). Her üç durumda da vakum basıncının zamana göre değişimi Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Testler sonucunda, 25. dakikadan sonra vakum basıncının 68 kPa’ya ulaştığı görülmüştür. Çapraz ve yan yana yerleşimlerde basıncın maksimum seviyeye gelmesi zaman alırken, bitişik yerleşimde maksimum basınç kısa sürede elde edilmiştir.



Şekil 3.21 Üç farklı tutucu yerleşimi testi düzeni (Adli vd., 2021)



Şekil 3.22 Üç farklı tutucu yerleşiminde talaşlı imalatın ilk 30 dakikasındaki vakum basıncı değişimi grafiği (Adli vd., 2021)

Tutucu yerleşim düzeninin ölçü doğruluğuna etkisi CMM teknolojisi ile test edilmiştir. Testte, bir plaka dikey doğrultuda kesici takımla işlenmiş ve kesme derinlikleri CMM ile ölçülmüştür. Titreşim nedeniyle derinlik farklılıkları gözlemlenmiş; titreşimin fazla olduğu bölgelerde derinlik ölçüleri yüksek, az olduğu bölgelerde ise düşük olmuştur.

Yüzey pürüzlük deneylerinde, çapraz bağlanan tutucu düzeninde en fazla pürüzlülüğün oluştuğu belirlenmiştir. Diğer düzenlerde ise pürüzlük değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Ayats vd., (2009) yedi farklı malzemeden üretilmiş iş parçalarını vakum mengeneyle bağlayarak tutucu kuvvetleri karakterize etmek için deneyler yapmıştır. Kullanılan malzemeler; çelik, alüminyum, enjekte poliamid, ahşap, lazer sinterlenmiş poliamid, düşük yoğunluklu polistiren ve poliüretan reçinedir. Normal ve teğetsel kuvvetler dinamometre ile ölçülüp kaydedilmiştir. Teorik hesaplamalar için ortogonal kesme modeli denklemleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

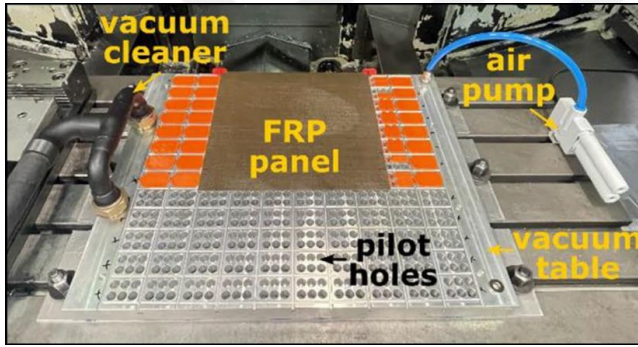
Deneylerde kullanılan test düzenekleri, normal ve teğetsel kuvvet uygulayabilen test kolu içermekteydi. Dinamometre, iş parçası ile tutucu arasındaki temas kesilene kadar maksimum kuvveti ölçmüştür. Çelik, ahşap, lazer sinterlenmiş poliamid ve düşük yoğunluklu polistiren malzemeleri, daha düşük tutucu normal kuvvetleri sağlamıştır. Alüminyumda maksimum kuvvet 1009,2 N, düşük yoğunluklu polistirende ise 336,8 N olarak ölçülmüştür. Teğetsel kuvvetlerde, en düşük değerler enjekte poliamid, ahşap, lazer sinterlenmiş poliamid ve düşük yoğunluklu polistiren malzemelerinde bulunmuştur; alüminyumda 3012 N, düşük yoğunluklu polistirende 203,6 N olarak ölçülmüştür.

4130 AISI çelik için kopma gerilimi 670 N/mm², brinell sertlik değeri ise 197 HB olarak

kabul edilmiştir. Merchant denklemleri kullanılarak teorik kesme kuvveti 984,2 N hesaplanmıştır. 3005-H18 alüminyum için kesme kuvveti ise 204,28 N olarak belirlenmiştir.

Sonuçlara göre, mevcut sistem çelik parçaların işlenmesi için yeterli bulunmamıştır. Çelik malzemelerin işlenmesi için eksenel kesme kuvvetini karşılayacak ek bileşenlerin gerektiği belirtilmiştir.

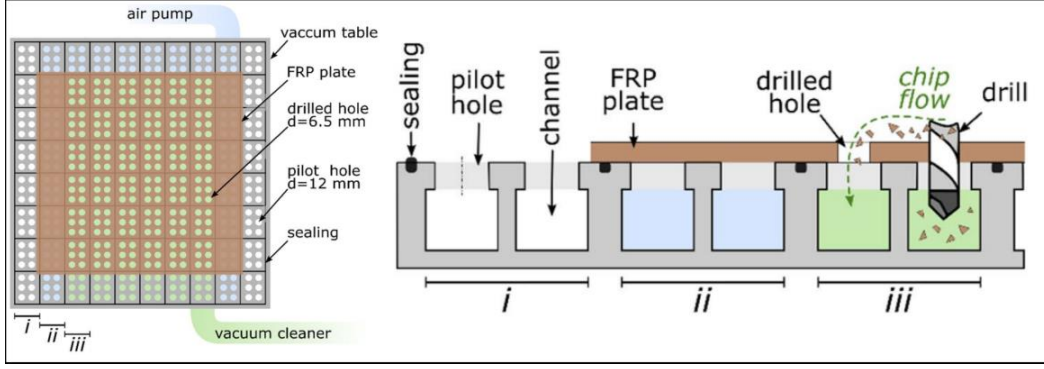
Hrechuk vd., (2023), otomotiv ve havacılık endüstrisinde kullanılan fiber takviyeli polimer malzemelerin delinmesinde delik kalitesini otomatik olarak analiz edebilme yöntemleri üzerine çalışmıştır. Delik kalitesinin analizini hızlandırmak amacıyla vakum tabanlı çözüm yöntemleri önermiştir. Bu vakum tablanın fotoğrafı Şekil 3.23'te gösterilmektedir. Vakum tablası, delinen kısmın alttan desteklenmesine gerek duyulmadan delik kalitesini iyileştirir, talaş ve tozun hızlı bir şekilde tasfiyesini sağlar ve farklı boyutlardaki iş parçalarının bağlanabilmesine olanak tanır.



Şekil 3.23 Vakum tutucu (Hrechuk vd., 2023)

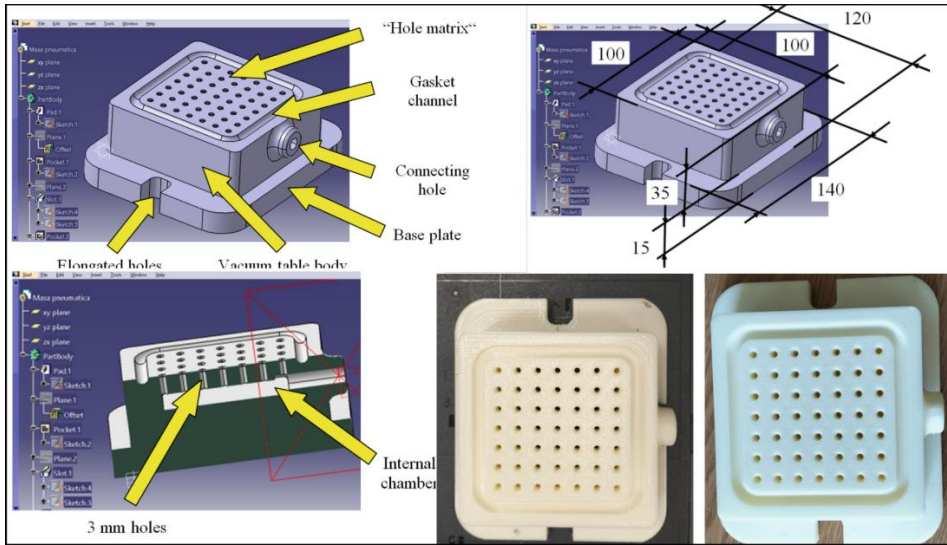
Tabla üst plakasına 12 mm çapında delikler açılmış ve bu delikler tablaya yan tarafından açılan kanallarla birleştirilmiştir. Kullanılan tıkaç sistemi, kanallı yapıyı iki bağımsız bölüme ayırmıştır. Birinci bölme, vakum temizleyiciye bağlıdır ve delinen plakadaki talaşları emerek ortamdan uzaklaştırır, çapakları çekerek koparır. İkinci bölme ise vakum jeneratöründen gelen vakum ile iş parçasını çekip sabitler.

Şekil 3.24'te, kompozit malzemenin delinmesi sırasında talaş ve çapakların nasıl uzaklaştırıldığı şematik olarak gösterilmiştir. İş parçasına açılan delik, tabla delik çapından küçük olduğu için tablaya zarar vermez. Delinen kısım, vakum temizleyicinin bağlı olduğu bölmede bulunur, bu nedenle parça tutulmasında güç kaybı yaşanmaz. Şekil 3.24'te görüldüğü gibi talaşlar, iş parçasının hem alt hem de üst yüzeyinden temizlenebilir.



Şekil 3.24 Kompozit malzeme talaşının vakum tablada emilim işlemi (Hrechuk vd., 2023)

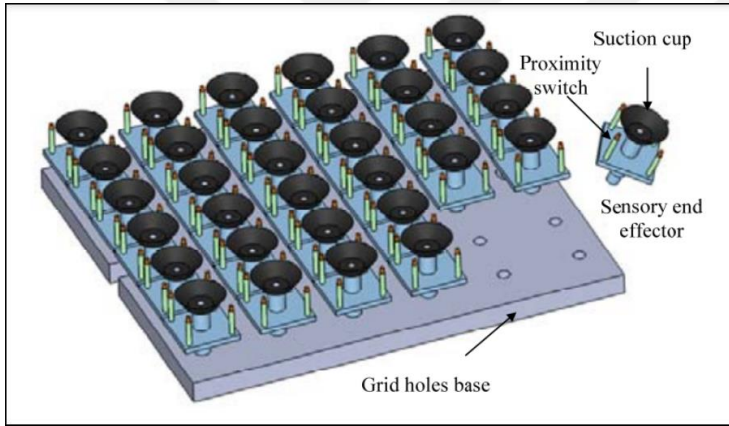
Ciurezu-Gherghe vd., (2023)' çalışmalarında, küçük boyutlu ve ince parçaların bağlanması için vakum mengene tasarımı ve imalatı gerçekleştirmiştir. Bu tasarım, geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor detaylara sahip olduğundan, FDM hızlı prototipleme tekniği kullanılmıştır. Ürün, Dimension SST 1200 es 3D yazıcı ile üretilmiştir. Tutma kuvveti, temas yüzeyine, vakum haznesine açılan deliklerin çapına ve dağılımına, ayrıca kullanılan contanın malzeme cinsine bağlı olarak hesaplanmıştır. Parça boyutu tabla aktif yüzeyinden küçük olduğunda, vakum kartları kullanılabilir. Vakum kartları, vakumun iş parçası yüzeyine düzgün şekilde dağılmasını sağlar, bu da iyi bir tutma ve vakum kaybının minimize edilmesini sağlar. Şekil 3.25'te tasarlanan vakum tutucunun 3 boyutlu görseli, kesit görünüşü, ölçüleri ve 3D yazıcıda üretilmiş görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.25 Tasarlanan vakum tutucunun 3D görselleri, kesit görünüşü, ölçülendirilmesi ve 3D yazıcıda imal edilen ürünler (Ciurezu-Gherghe vd., 2023)

Vakum odası, iş parçasının alt yüzeyi ile tutucunun üst yüzeyi arasında yer alacak şekilde tasarlanmıştır. Conta, oda çevresindeki kanala yerleştirilecektir. İç vakum odasının boyutları 80x80x6 mm olarak belirlenmiştir. Üst vakum odasındaki hava bu iç vakum odasına emilecektir. İç odanın vakum kaynağına bağlantısı, 6 mm çapındaki bir delik aracılığıyla sağlanmıştır. Ürün, tezgâh tablasına monte edilebilmesi için en alt kısmında karşılıklı açılan 2 kanal içerir. Üst deliklerin çapı ise 3 mm olarak seçilmiştir.

Fuwen, (2014)' iş parçasının sensörler aracılığıyla algılanıp yüklendiğini tespit edebilen ve M kodu ile çağırılabilen bir vakum tutucu sistemi geliştirmiştir. Çalışmalar, kavramsal tasarımın oluşturulmasıyla başlamış, ardından tutucunun tezgâha entegrasyonu için gerekli kontrol yöntemleri araştırılmıştır. Prototip üretimi ve statik analiz ile dinamik simülasyonlar gerçekleştirilmiş, tutma kabiliyeti incelenmiştir. Son olarak, tasarlanan akıllı vakum tutucunun bir CNC tezgahında işleme deneyi yapılmıştır. Akıllı vakum tutucunun 3D çizimi Şekil 3.26'da gösterilmektedir.



Şekil 3.26 Tasarımı yapılan akıllı vakum tutucu (Fuwen, 2014)

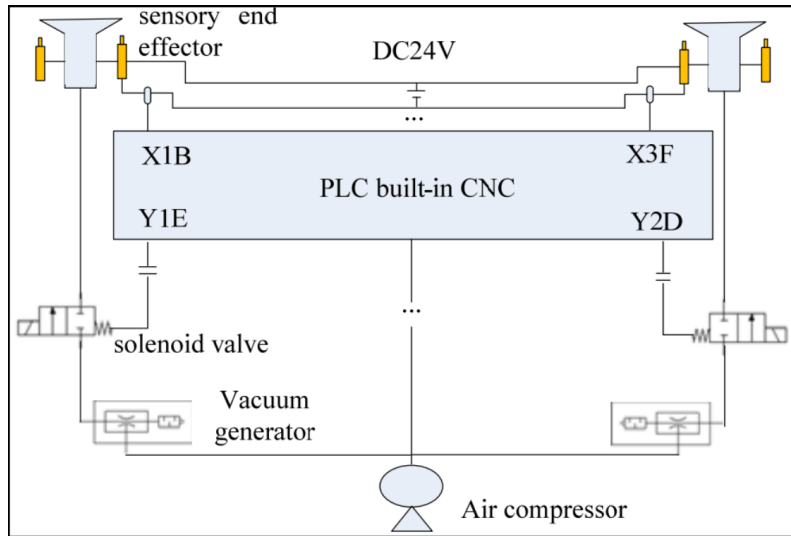
Araştırmacı tarafından geliştirilen akıllı vakum tutucu sistemi, delikli bir plaka ve kare matris deseninde yerleştirilmiş sensörler ve efektörlerden oluşmaktadır. Sistemin tasarımı aşağıdaki özellikleri içermektedir:

Bu sistem, dört yakınlık sensörüyle merkezlenmiş vantuzlardan oluşan efektörler kullanır. Sensörler, iş parçasının varlığını algılamak için tasarlanmıştır ve bu algılamaya göre efektörlerin otomatik olarak kontrol edilmesini sağlar. Tüm dört sensör iş parçasını algıladığında, efektör iş parçasını çekmek üzere otomatik olarak aktive edilir. Eğer sensörler iş parçasını algılamazsa, efektörler etkisiz kalır ve sistem sinyal göndermez.

Bu akıllı vakum tutucu sistem, delme ve benzeri işlemler için uygundur. Modüler yapısı,

programlanabilir olması ve hızlı kurulum imkânı sunması, onu çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir. Ancak, bu tür tutucuların kullanımı için iş parçalarının düz bir yüzeye sahip olması gerekmektedir.

Kontrol diyagramı, sistemin işleyişini şu şekilde özetler: Kompresör, temiz hava sağlayarak vakum jeneratörüne destek olur. Vakum jeneratörü, vakum üretir ve bu süreç selenoid valf ile kontrol edilir. Selenoid valf, PLC çıkışına bağlı olarak çalışır ve PLC girişine bağlı sensörlerin verdiği sinyallere göre kontrol edilir. Bu kontrol diyagramı Şekil 3.27’de gösterilmiştir.



Şekil 3.27 Akıllı vakum tutucu kontrol diyagram (Fuwen, 2014)

Akıllı vakum tutucu sisteminin tutma kabiliyeti çeşitli analizlerle değerlendirilmiştir. Statik analiz, sistemin maksimum tutma kuvvetini belirlemekte kullanılmıştır. Bu analizde, vakum vantuzlarının boyutları, vakum basıncı ve yükün yönü gibi faktörler dikkate alınmıştır. Dikey tutma kuvveti, esas olarak temas yüzey alanına bağlıdır ve büyük, düz parçalarda daha etkili bir şekilde çalışmaktadır. Yanal tutma kuvveti ise her zaman düşey tutma kuvvetinden daha azdır ve sürtünme kuvvetiyle düşey kuvvetin çarpımıyla hesaplanır. Örneğin, vantuz çapı 30 mm, vakum basıncı 0,095 MPa ve sürtünme katsayısı 0,6 olarak seçildiğinde, düşey kuvvet 60 N, yatay kuvvet ise 47 N olarak belirlenmiştir. Bu kuvvetler, tutucu eleman sayısı ile çarpıldığında toplam tutma kuvveti hesaplanmaktadır. Frezeleme kuvvetlerinin hesaplanmasında ise çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır: doğrudan haritalama yöntemi, mekanik model, sayısal simülasyon modeli ve besleme sürücüsü veya iş mili motoru akımına dayalı tahmin modeli. Statik analizde, frezeleme kuvvetlerinin tahmininde mekanik model, üç boyutlu

sonlu elemanlar yöntemi simülasyonu ve destek vektörü regresyon metodu kombinasyonu kullanılmıştır. Bu yöntemler, deneysel işleme çalışmalarını önemli ölçüde azaltırken, kesme kuvvetinin doğruluğunu artırmayı hedeflemiştir. Dinamik analiz kısmında ise fiktür sisteminin öz frekansları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Bu analiz, sistemin titreşimleri sönümleme kabiliyetini ve tezgâh otomasyon kabiliyetini artırma amacını taşımaktadır. Deneysel sonuçlar, kullanılan yöntemlerin doğruluğunu desteklemiş ve iş parçası bağlama sürecini kısaltmıştır. Bu sonuçlar, akıllı vakum tutucunun tezgâh otomasyonunda sağladığı avantajları ve performansı göstermektedir.

Rubio-Mateos vd., (2020)' çalışmalarında alüminyum parçaların finiş işleminde, parça altına yerleştirilen elastomer katmanların pasif sönümleme elemanı olarak kullanılmasının uygunluğunu analiz etmiştir. Bu amaçla NBR malzeme özelliklerinden yararlanılarak uygun, esnek bir vakum tutucu geliştirilmiştir.

Pasif sönümleme, sıra dışı sönümleme özellikleri olan katı veya akışkan malzemelerin, bir sistemi dinamik olarak stabilize etmesi amacıyla uygulanması temeline dayanmaktadır. Pasif sönümleme sistemleri eddy akımlı, pivot mekanizmalı ve piezoelektrik sönümleyici sistemlere göre daha ucuzdular.

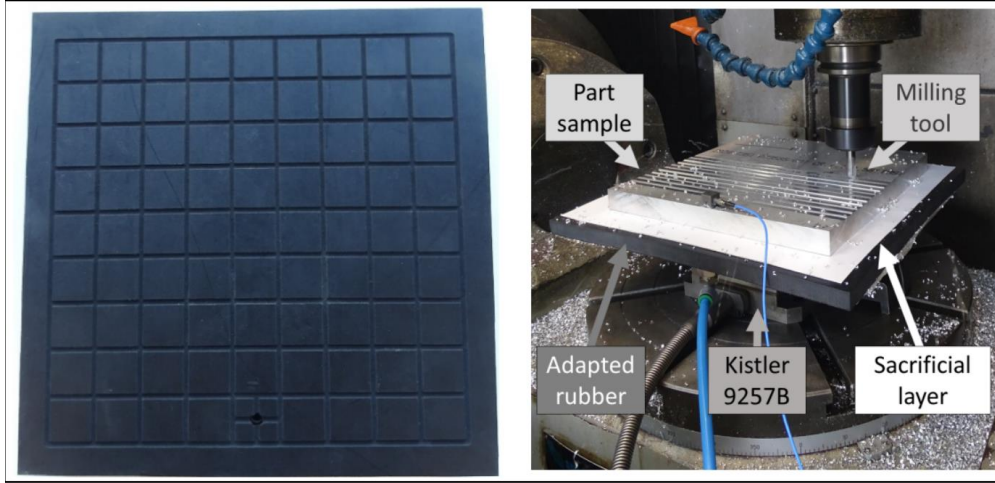
Analizi için biri 65 shore diğeri 90 shore sertlik değerine sahip iki farklı kauçuk malzeme seçilmiştir. Seçilen malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 3.3'te gösterilmektedir.

Kauçuğun mekanik davranışı, uygulanan yükün genliğine, besleme hızına, frekansına ve malzemenin sıcaklığına bağlıdır (Olsson, 2007). Frezeleme işlemlerinde uygulanan kuvvetlerin genliği ve besleme hızı, işleme koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Parçanın maruz kalacağı yük frekansları freze takımının dönüşü ve iş parçası temel modları tarafından üretilir. Malzemenin sıcaklığı kesme bölgesinde üretilen ısıdan ve oda sıcaklığından etkilenir.

Tablo 3.3 Vakum tutucuda kullanılan matların teknik özellikleri (Yanel vd., 2019)

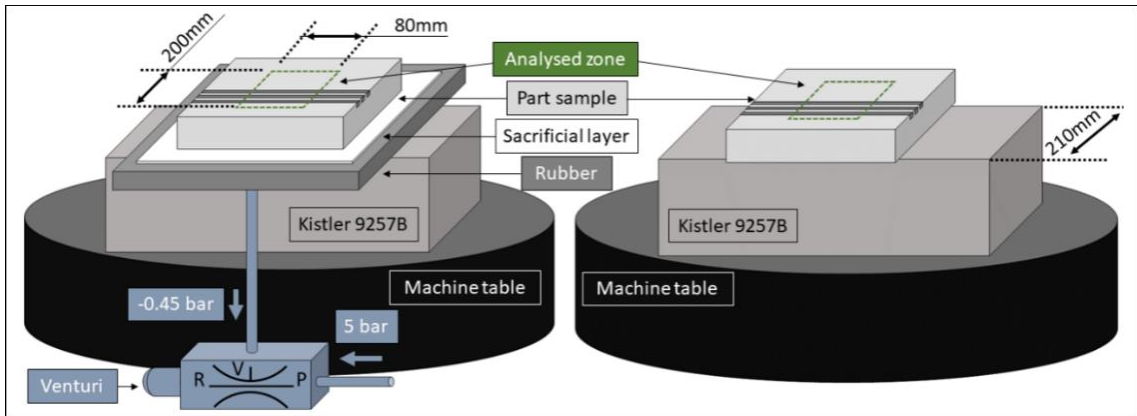
Özellikler	Kauçuk A	Kauçuk B
Sertlik (Sh. A)	65	90
Yoğunluk (g/cm ³)	1,45	1,43
Polimer (%)	37,3	54,6
Karbon Siyahı (%)	3,5	14,4
Diğer Organik Yükler (%)	59,2	31,0

Testler standart 5 eksen CNC işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Tutucu boyutları 300x300x14,2 mm'dir. Tutucu üzerine Şekil 3.29'da gösterildiği gibi vakumun düzgün bir şekilde yayılabilmesi, düzgün bir temas ve sıkıştırma elde edilebilmesi için kanallar açılmıştır. Vakumun sağlanmasıyla parça tutulması sağlıklı bir şekilde gerçekleşmiştir.



Şekil 3.29 Tasarlanan kauçuk malzeme, üzerindeki kanallar ve uygulanan test (Rubio-Mateos vd., 2020)

Sıkıştırma testlerinde her testten önce ve sonra iş parçasının ve kauçuğun sıkıştırılması GT1000 tipi LVDT ölçüm dönüştürücüsü ile izlendi. Frezeleme testlerinde kauçuk malzemelerin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda ölçümler yapılmıştır. Frezeleme testinin görseli Şekil 3.30'da gösterilmektedir.

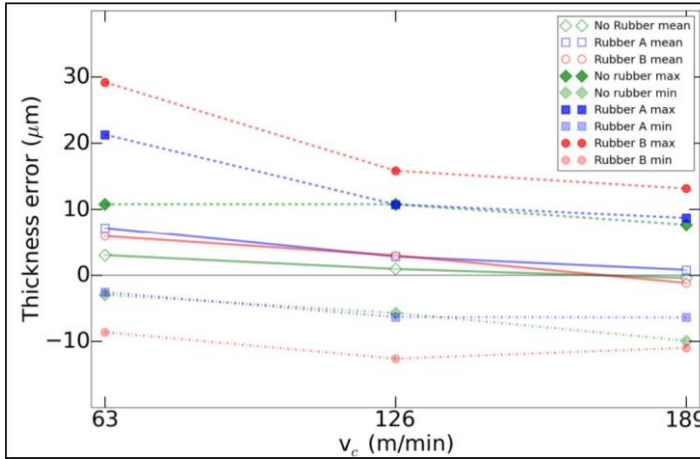


Şekil 3.30 Kauçuk malzemelere uygulanan frezeleme testlerinin görseli (Rubio-Mateos vd., 2020)

Testler sonucunda B kauçuğunun A'ya göre daha lineer bir gerilim davranışı sergilediği görülmüştür. Takım besleme hızı arttıkça kauçuk malzemelerin elastisite modülü

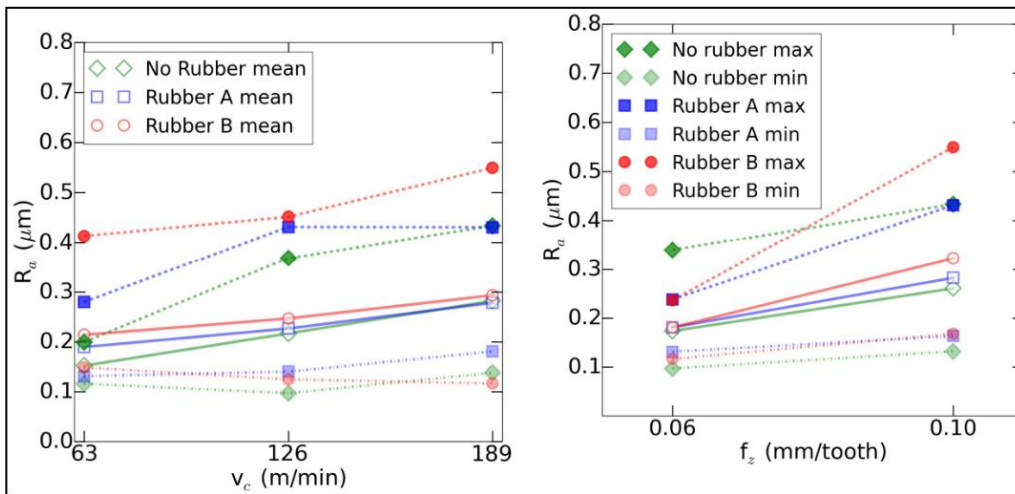
artmıştır. Besleme hızının artırılması sonucu oluşan gerilmeler, frezeleme işlemleri için çalışma aralığında olan değerlerle eşleşmektedir.

İş parçası kalınlık hataları grafiği Şekil 3.31’de gösterilmektedir. Grafiğe göre B numunesinin kalınlık hatasının A dan daha fazla olduğu görülmektedir. Kesme hızı arttıkça hata değerleri birbirlerine yaklaşmıştır.



Şekil 3.31 Kalınlık hatalarının kesme hızına göre değişimi grafiği (Rubio-Mateos vd., 2020)

Test sonunda oluşan yüzey pürüzlülüğü grafiği Şekil 3.32’de verilmiştir. Sonuçlar, kauçuk A ile elde edilen pürüzlülük değerlerinin, kauçuk kullanılmadan elde edilen değerlere yakın olduğunu göstermektedir. Öte yandan kauçuk B’den elde edilen pürüzlülük değerleri daha fazla çıkmıştır.



Şekil 3.32 Yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızına ve diş başı ilerlemeye göre değişimi grafiği (Rubio-Mateos vd., 2020)

Cao & Shi, (2016)' ince ve büyük boyutlu bakır iş parçalarının işlenmesinde yüksek hızlı işleme ve vakum mengene kullanarak deformasyon ve ölçü hatalarının önlenmesini hedeflemiştir. Araştırmada, parçanın işleme kalitesinin ve ölçü hassasiyetinin artırılması amaçlanmıştır.

Testler sırasında, 1500x700x4 mm boyutlarındaki bakır malzeme kullanılmıştır. Parçaya 3 mm derinliğinde cepler açılmıştır. İş parçası, düzgün bir şekilde oturması için kenarlarından şeritlerle bastırılarak bakır plaka tutucu üzerine yerleştirilmiştir. Vakum mengene çalıştırılarak parçanın aşağıya doğru çekilmesi sağlanmıştır. Kesme parametreleri, kullanılan karbür parmak frezenin kataloglarından elde edilmiştir.

Sıradan yöntemlerle işleme sırasında sistemde biriken gerilmeler, deformasyonu önlemek için sık sık giderilmelidir. Yüksek hızlı işleme, uygun takım yolu belirlendiğinde bu sorunları minimize edebilir. EZ-CAM programı kullanılarak parça yapısı analiz edilmiş ve uygun takım yolu oluşturulmuştur. Takım yolu, istenilen şekilde düzenlenmiştir. Kesici takımın diş sayısı olabildiğince az seçilerek kesme kuvveti değeri sınırlandırılmıştır. Helis açısı 30 - 45 derece arasında belirlenmiştir. Parçanın yapısal özelliklerine uygun bir kesici takım tasarlanmıştır. Deneyler, iş milinin 6500 devir/dakikada en az sese neden olduğunu ve bu hızda takımın kırılmaya eğilimli olmadığını göstermiştir.

Sonuçlar, vakum mengenenin kullanılmasıyla parça deformasyonunun 1 mm'den 0,4 mm'ye düştüğünü ortaya koymuştur. Ayrıca işleme süresi kısalmış ve yüzey kalitesi artmıştır.

3.1. Literatür Değerlendirmesi

- Endüstride ürünlerin verimli, kaliteli ve güvenli bir şekilde işlenmesinde tutucuların rolü büyüktür. Bu tutuculardan istenen temel özellikler, hızlı kurulum, bağlama ve sökme imkânı, esneklik ve stabil işleme sağlamalarıdır. Vakum tutucular ve manyetik tutucular bu özellikleri karşılamaktadır. Ancak manyetik tutucular yalnızca demir içeren malzemeleri tutabilirken, vakum tutucular daha geniş bir malzeme yelpazesıyla uyumludur.
- Vakum tutucu sistemlerinde genellikle vakum basıncı 0,8 – 0,95 bar arasında olup, teorik maksimum vakum basıncı 1 bar ile sınırlıdır. Bu bağlamda, iyi bir vakum basıncı elde edilmesi durumunda, önemli olan parametre vakum

değerinden çok, aktif vakum alanıdır.

- İmalat çeliği ve benzeri metallerin işlenmesinde metallerin işlenmesinde yüksek kesme kuvvetlerini karşılayacak güçlü tutucu kuvvetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Vakum alanı yeterli değilse, farklı yöntemlerle bu kuvvet artırılabilir. Mekanik destek elemanları veya yan yüzeylerden destek sağlayan tasarımlar kullanılabilir. Hibrit tutucu sistemler, vakum kuvvetinin yanı sıra yapışkan bant gibi alternatif yöntemlerle de tutma kuvvetini artırabilir.
- İş parçasına tutma yüzeyinden yeterli desteğin sağlanması önemlidir; çünkü ince parçalar desteklenmediğinde vakum etkisiyle deformasyon yaşanabilir. Vakum fincanlarının üst yüzeyindeki kanalların boyutları ve şekilleri, tutucu kuvvet üzerinde etkili olabilir. Bu konuda literatürde bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca, tutucu vakum alanının şekli de farklı seçeneklerde test edilmelidir.
- Basit parçaların işlenmesinde vakum mengenelerin kullanılması, iş parçasındaki pürüz değerini %40 oranında azaltmıştır. İşleme sırasında titreşimlerin kontrolü, bu pürüzlüğü azaltmada kritik bir rol oynamaktadır. Frezeleme işlemlerinde çapak oluşumu, malzeme kalınlığı ve tutucu arasındaki malzeme kullanımı ile azaltılabilir.
- Yüksek yüzey kalitesi ve hassasiyet gerektiren durumlarda aktif sönümleme teknolojileri, titreşimi azaltabilir. Ancak bu sistemler kurulması zahmetli ve maliyetli olabilir. Pasif sönümleme yöntemleri, NBR kauçuk gibi malzemeler kullanılarak daha basit ve ucuz çözümler sunabilir. Bu malzemeler, titreşimin sönümlenmesinde etkili olabilir.
- Vakum tutucularda, tutucular arasındaki mesafe ve konumları titreşim sönümlenmesi ve yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tutucunun özelliklerine göre testler yapılarak uygun konum ve mesafe değerleri belirlenmelidir.
- Delik delme işlemlerinde vakum tutucular çapak oluşumunu büyük ölçüde engelleyebilir ve çapak boyutlarını %30 oranında azaltabilir. Çapak oluşumunu etkileyen en önemli faktör kesme hızıdır.
- Vakum odasının üst kısmında delikler bulunan vakum tutucuların tutma kabiliyeti, deliklerin büyüklüğü, şekli ve dağılımına göre değişir. En iyi tutma

kabiliyetini sağlamak için çeşitli testler ve analizler yapılmalıdır.

- Alüminyum ve bakır malzemeden oluşan ince plakaların işlenmesinde vakum tutucular, deformasyon oranını azaltabilir. Uçak ve uzay endüstrisinde kullanılan ince parçaların vakum tutucularla işlenmesi, yüzey kalitesini artırmakta ve kalınlık hatalarını azaltmaktadır.
- Vakum tutucularda tutma kuvvetini etkileyen bir diğer parametre de kullanılan conta türüdür. Genellikle 40 – 50 shore sertlik değerine sahip contalar tercih edilir. Ancak farklı türde ve sertlikte contalarla testler yapılarak en verimli tutma özelliklerinin belirlenmesi araştırmanın verimliliği açısından faydalı olacaktır.
- Çalışmalarda, kesme parametreleri belirlendikten sonra testler yapılmıştır. Tutucuların verimliliği bu parametrelerle ilişkilidir. Bu nedenle, tutuculardan maksimum verim elde edilmesi için uygun kullanım parametreleri hakkında kullanıcıya bilgi verilmesi yararlı olacaktır.
- Havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan çoklu vakum tutucu elemanları, ince ve büyük iş parçalarını tutmada akıllı sistemlerle en verimli konum ve açı ayarlarını yapabilir. Benzer çalışmalar, CNC iş merkezlerinde kullanılacak tutucuların geliştirilmesine yönelik olarak da yapılabilir.
- Literatür araştırmasında CNC tezgahlarında yükseklik veya tutma açısını değiştirebilen vakum tutucular hakkında bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak açılı mengenerlerdeki mekanizmalara benzer basit mekanizmalar vakum tutuculara uygulanabilir.

Mevcut literatür dikkate alınarak bu tezde, parça tutma eylemini güvenli bir şekilde gerçekleştirecek ve kaliteli ürünlerin yüksek verimde üretilmesini sağlayacak özelliklere sahip bir vakum mengenesinin tasarımı ve imalatı yapılacaktır. Tutma esnasında parçaya yeterli desteği sağlayarak deformasyona engel olması, vakum kaçaklarını en aza indirmesi ve kullanım kolaylığı özelliklerinden dolayı kanal tipi vakum mengenenin üretilmesi tercih edilmiştir. Tasarımın ölçülerine sektörlerin ihtiyacı, piyasada genel olarak kullanılan tutucu boyutları ve üretim masrafları göz önünde bulundurularak karar verilecektir. Vakum mengenesinin imalatında, titreşim sönümleme kabiliyeti bakımından, geleneksel ürünlere kıyasla daha üstün özelliklere sahip olmasını sağlayacak bir hammadde kullanılacaktır. Korozyon ve aşınma direncini arttırmak amacıyla eloksallama işlemi uygulanacaktır.

Çeliklerin hızlı işlenmesi durumunda oluşacak yüksek kesme kuvvetleri parçanın stabilitesini zorlaştırmaktadır. Bu gibi durumlarda parçaya destek sağlamak amacıyla, yardımcı sabitleme parçaları tasarıma ilave edilecektir. Tutma kabiliyeti açısından kritik öneme sahip olan conta türünün belirlenmesine yönelik tutma testleri gerçekleştirilecek ve en iyi tutma kuvvetin elde edileceği conta türü belirlenecektir. Vakum mengenesi CNC tezgahının tablasına kolaylıkla bağlanacak şekilde dizayn edilecektir. Vakum mengenesinin bağlantı ölçüleri, bağlantı parçaları ile uyum sorununa neden olmayacak şekilde seçilecektir.

Tasarım ve imal edilen ürün testlere tabi tutulacaktır. Testlerde arzu edilen sonuçlar elde edilmediği takdirde revizyonların yapılması ile, hedeflenen vakum mengenesi özellikleri elde edilecektir.



4. MATERYAL VE METOD

Tezin bu bölümünde, mıknatısla çekilemeyen veya standart dışı şekil ve ölçülere sahip parçaların düz bir şekilde tutulmasının önemine değinilmiştir. Bu tür durumlar, üretim süreçlerinde sıklıkla karşılaşılan bir zorluk olup, vakumla tutma yöntemi çoğu zaman en pratik ve etkili çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır (J. G. Nee vd., 2010). Karmaşık şekilli iş parçalarının güvenilir ve yüksek performansla tutulabilmesi için, vakum mengene tasarımı öncesinde ayrıntılı bir araştırma yapılması gerekmektedir. Bu gereklilik, tasarlanan ürünün kapasitesini gözler önüne serecek kapsamlı testlerin uygulanmasını da zorunlu kılmaktadır.

Bu bölümde, vakum mengenesi tasarımı ve üretim süreci detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Tasarım süreci, piyasadaki benzer ürünlerin incelenmesiyle başlamış ve ardından bilgisayar ortamında yapılan analizlerle devam etmiştir. Analiz sonuçları doğrultusunda, gövde ve sabitleyicilerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim tamamlandıktan sonra, vakum mengenesi sistemi monte edilerek tutma denemeleri yapılmıştır. İlk denemelerin ardından iyileştirmeler yapılmış ve bu süreç tekrar edilmiştir. Son aşamada, ürünün performans özelliklerinin belirlenmesi ve diğer tutucu sistemlerle karşılaştırılması amacıyla testler gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda, tezin Materyal ve Metot bölümünde; kullanılan materyaller, izlenen yöntemler, verilerin elde edilme süreci ve uygulanan testlerin her biri, üretim adımlarına göre sistematik bir şekilde açıklanmıştır. Her adımda kullanılan materyaller, ilgili üretim aşamasının hemen öncesinde ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

4.1. Vakum Mengene Sistemleri

Vakum mengene sistemleri üzerine yapılan araştırmalar sonucunda, bu sistemlerin temel bileşenleri, her bir bileşenin görevleri ve kullanım amaçları belirlenmiştir. Vakum mengenesi sistemlerinde kullanılabilecek tüm parçalar tespit edilerek, kanal tipi bir vakum mengenesinin genel olarak iki ana kısımdan oluştuğu saptanmıştır: vakum mengene gövdesi ve vakum kaynağı. Bunlara ek olarak, bağlantı parçaları ve diğer yardımcı aksesuarlar da sistemin iş parçasını güvenli bir şekilde tutmasını sağlamak amacıyla kullanılabilmektedir.

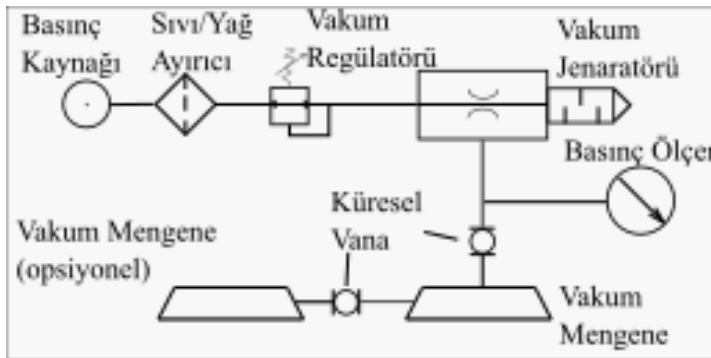
Vakum kaynağından elde edilen vakum, vakum hortumları aracılığıyla vakum mengenesi gövdesinin yan tarafındaki ana vakum deliğine (veya deliklerine) iletilir. Buradan, vakum gövdenin üst yüzeyine aktarılır. İş parçası, bu üst yüzeye yerleştirildiğinde tutma işlemi gerçekleşir. Gövde üst yüzeyi kanallı bir yapıya sahiptir. Bu kanallar, vakumun kaçmasını önlemek amacıyla, vakum deliğini tamamen çevreleyecek şekilde yerleştirilen bir conta ile kapatılır. Şekil 2.46'da gösterilen bu işlemde, sürekli siyah çizgi iş parçasını, silik kalın çizgi contayı, silik kare bölmeler ise iş parçası ve gövdenin temas edeceği yüzeyleri temsil eder. Kanalların arasında kalan kare şekilli yükseltilere ise "ada" denir. İş parçasının conta ve tabla üzerine yerleştirilmesiyle vakum hattı kapanır. Vakum kaynağı devreye girdiğinde, vakum basıncı iş parçasının alt yüzeyine kadar iletilir ve parça, üst yüzeyindeki atmosfer basıncı sayesinde tabla üzerine sıkıca bastırılır. Bu işlem, parça ile tabla arasındaki sürtünme kuvveti sayesinde parçanın yatay hareketini engeller.

Vakum mengenerde vakum kaynakları iki ana kategoriye ayrılmaktadır: vakum jeneratörleri ve vakum pompaları. Vakum pompasının kullanıldığı bir sistemin pnömatik devre şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, vakum mengenerinin tekli veya çoklu olarak kullanılabilmesidir.



Şekil 4.1 Vakum pompasının kullanıldığı vakum mengene sistemi

Vakum jeneratörünün kullanıldığı sistemin pnömatik diyagramı da şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Vakum jeneratörünün kullanıldığı vakum mengene sistemi

4.2. Endüstride Kullanılan Çeşitli Ürünlerin İncelenmesi

Vakum mengene sektöründe yurt dışı piyasasında lider konumda olan Schunk, Witte, Schmalz, Datron Dynamics, Brallion Magnetics gibi firmaların yanı sıra, diğer benzer firmaların ürünleri de web ortamında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda, her bir firmanın ürün özellikleri toplanmış ve derlenmiştir. Elde edilen veriler, ürünlerin karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla Tablo 4.1'de listelenmiştir. Bu tabloda yer alan değerler, ana tasarım parametrelerinin belirlenmesinde temel bir referans olarak kullanılmıştır.

Tablo 4.1 Çeşitli fir ürünleri ve özellikleri tablosu (Schunk / Schmalz, Magna Lock USA, Pierson. Workholding, Witte Barskamp, Braillon Magnetics SA, Spreßter GmbH)

Üretici	SCHUNK SE & Co. KG, / J. Schmalz GmbH Almanya	MAGNA LOCK USA, ABD	Pierson Workholding, ABD
Ürün resmi			
Gövde malzemesi	Alüminyum	Karbon çeliği / Alüminyum	6061 Alüminyum
Ürün boyutu (mm)	*300 x 200 x 28 *400 x 300 x 28 *600 x 300 x 28	*152 x 203 *203 x 304 *305 x 450	*240 x 355 x 25 *343 x 343 x 25 *343 x 508 x 25
Ada ölçüsü (mm)	*12,5 x 12,5 *25 x 25	*13 x 13 *19 x 19 *25 x 25	-
Kanal ölçüsü (mm)	3 x 3	3,2 mm genişlik	Genişlik x Derinlik *1,49- 1,57 x 1,16- 1,27 *3 x 2,54 *4,52 x 3,55 *6 x 4,82 *7,54 x 5,96
Conta ölçüsü (mm)	Ø3,5	Dikdörtgen kesitli conta. Gövde üzerinden 0,8 mm taşmalıdır.	Kanal ölçüne göre değerler *Ø1,6- Ø1,9 *Ø3,1- Ø3,6 *Ø4,6- Ø5,4 *Ø6,6- Ø7,9 *Ø7,6- Ø8,5
Conta malzemesi	Sünger kauçuk, Chloroprene CR	Sünger kauçuk şerit	Sünger conta- Dış kısmı düz. Özel üretim
Kullanılan hortum özellikleri	Malzeme: PVC, Tür: Şeffaf örgülü Dış çap: 21 mm İç ap: 12 mm	Ağır hizmet türü vakum hortumu Hortum bağlantı ölçüleri: 1/4" - 1/2" - 1/8"	-
Gövde üst vakum delik çapı	1/8"		

Tablo 4.1'in devamı

Gövde giriş vakum bağlantı çapı	3/8"	1/4" NPT	1/8-27 NPT
Önerilen vakum kaynağı debisi	*300x200 => 6m ³ /s ya da 100 l/dk *300x300 => 12m ³ /s => 18m ³ /s ya da 300 l/dk	7,1m ³ /s (Maksimum)	1,36m ³ /s Basıncılı hava debisi kullanılıyor. 0,95 bar basınç elde ediliyor
Vakum kaynağı	Vakum jeneratörü ya da Vakum pompası	Vakum jeneratörü ya da Vakum pompası	Özel üretim vakum jeneratörü
Ürünlerde kullanılabilen aparatlar	Sabitleyici, sürtünme adası, sürtünme matı	Müşteri isteğine göre düzenlenmektedir.	Silisyum karbür zımpara kâğıdı
Üretici	Witte Barskamp GmbH & Co. KG, Almanya	Braillon Mangetics SA, Fransa	Spreitzer GmbH & Co. KG
Ürün resmi			
Gövde malzemesi	Alüminyum	Alüminyum	Alüminyum
Ürün boyutu (mm)	300 x 200 x 32	*250 x 150 x 30 *300 x 200 x 30 *600 x 300 x 30	*180 x 180 x 30 *316 x 216 x 20 *416 x 316 x 20
Ada ölçüsü (mm)	12,5 x 12,5	*12,5 x 12,5 *25 x 25	10 x 10; 12,5 x 12,5; 25 x 25; 30 x 30
Kanal ölçüsü (mm)			3X3; 4X4; 5X5
Conta ölçüsü (mm)	Ø2- Ø10 arası değerlerde	Ø2- Ø10 arası değerlerde	Ø3; Ø3,5; Ø4; Ø5; Ø5,5
Conta malzemesi	Kauçuk	Kauçuk	Kauçuk, Neopren / Silikon
Kullanılan hortum özellikleri	Spiral telli vakum hortumu 18/12 Hortum bağlantı parçası: 23/14 mm	Spiral telli vakum hortumu Ø12- Ø21 iç çap değerlerinde	Standart PVC mavi vakum hortumu Ø12- Ø21 iç çap değerlerinde Hortum bağlantı parçası: G1/4, Ø 12 mm
Önerilen vakum kaynağı debisi	*Vakum alanı<1200cm ² => 5m ³ /s *Vakum alanı<1500cm ² => 10m ³ /s *Vakum alanı<1m ² => 21m ³ /s 0,85 bar vakum basıncı	26m ³ /s (önerilen)	*Vakum alanı<0,12 m ² => 5 *Vakum alanı <0,5 m ² => 16 *Vakum alanı <1 m ² => 21
Vakum kaynağı	Vakum jeneratörü ya da vakum pompası	-	Vakum jeneratörü ya da vakum pompası
Ürünlerde kullanılabilen aparatlar	Vakum matı, tanklı vakum pompası, sabitleyiciler	-	Vakum matı, tanklı vakum pompası, sabitleyiciler, sürtünme adası

4.3. Tasarım

Tablo 4.1'de yer alan özellikler incelendikten sonra, vakum mengene sisteminin tasarım parametreleri Tablo 4.2'de belirlenmiştir. Bu parametrelerin seçiminde, daha geniş bir tüketici kitlesine ulaşma, ürünün hafif olması, uzun süreli kullanım ömrü, sarf malzemelerin tekrar kullanılabilirliği, kolay ve hızlı üretim süreçleri gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Bu sayede, ürünün maliyetinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu bölümün alt başlıklarında, önemli tasarım parametrelerinin neden ve nasıl seçildiği ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Tablo 4.2 Tasarım parametreleri

Parametre	Değer (mm)
Gövde malzemesi:	7000 Serisi Alüminyum
Boyutlar:	300 x 200 x 30
Ada boyutları:	12 x 12
Kanal boyutları:	3,5 (derinlik) x 4 (genişlik)
Conta boyutları:	Ø4
Conta malzemesi:	Sünger kauçuk conta / EPDM conta
Hortum özellikleri:	Standart PVC mavi ve şeffaf vakum hortumu. Ø12, Ø10, Ø8 mm çaplarında.
Gövde üst vakum deliği çapı:	12 mm delik 16 mm şapka G 3/8 dış
Gövde vakum girişi deliği çapı:	12 mm delik 16 mm şapka G 3/8 dış.
Vakum kaynağı ve özellikleri:	Vakum Pompası => $3,06 \frac{m^3}{s}$ Vakum Jeneratörü (8 – 10 Bar basınç gerekiyor)
Aparatlar:	Sabitleyiciler.

4.3.1. Gövde

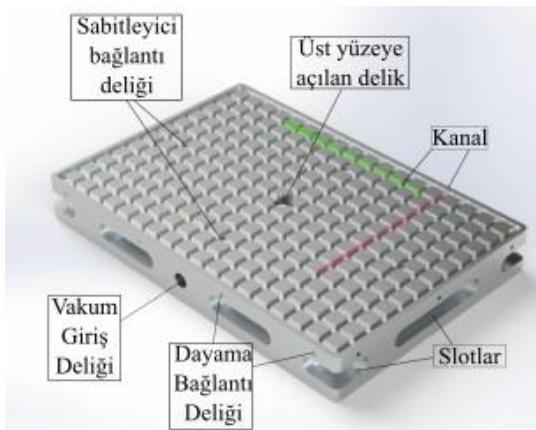
Vakum mengenesi gövdesinin boyutu, taşınabilirlik, tezgâh tablalarına uyum, kolay montaj ve sektörlerin genellikle ihtiyaç duyduğu parça boyutları dikkate alınarak 300 x 200 x 30 mm olarak belirlenmiştir. Gövde malzemesi olarak 7000 serisi alüminyum seçilmiştir, çünkü bu malzeme manyetik etkilenmezlik, yüksek ısıl iletkenlik, korozyon direnci, hafiflik ve kolay işlenebilirlik gibi avantajlar sunmaktadır.

Kanal ve ada boyutları ile yan ve üst vakum deliklerinin ölçüleri, piyasadaki benzer

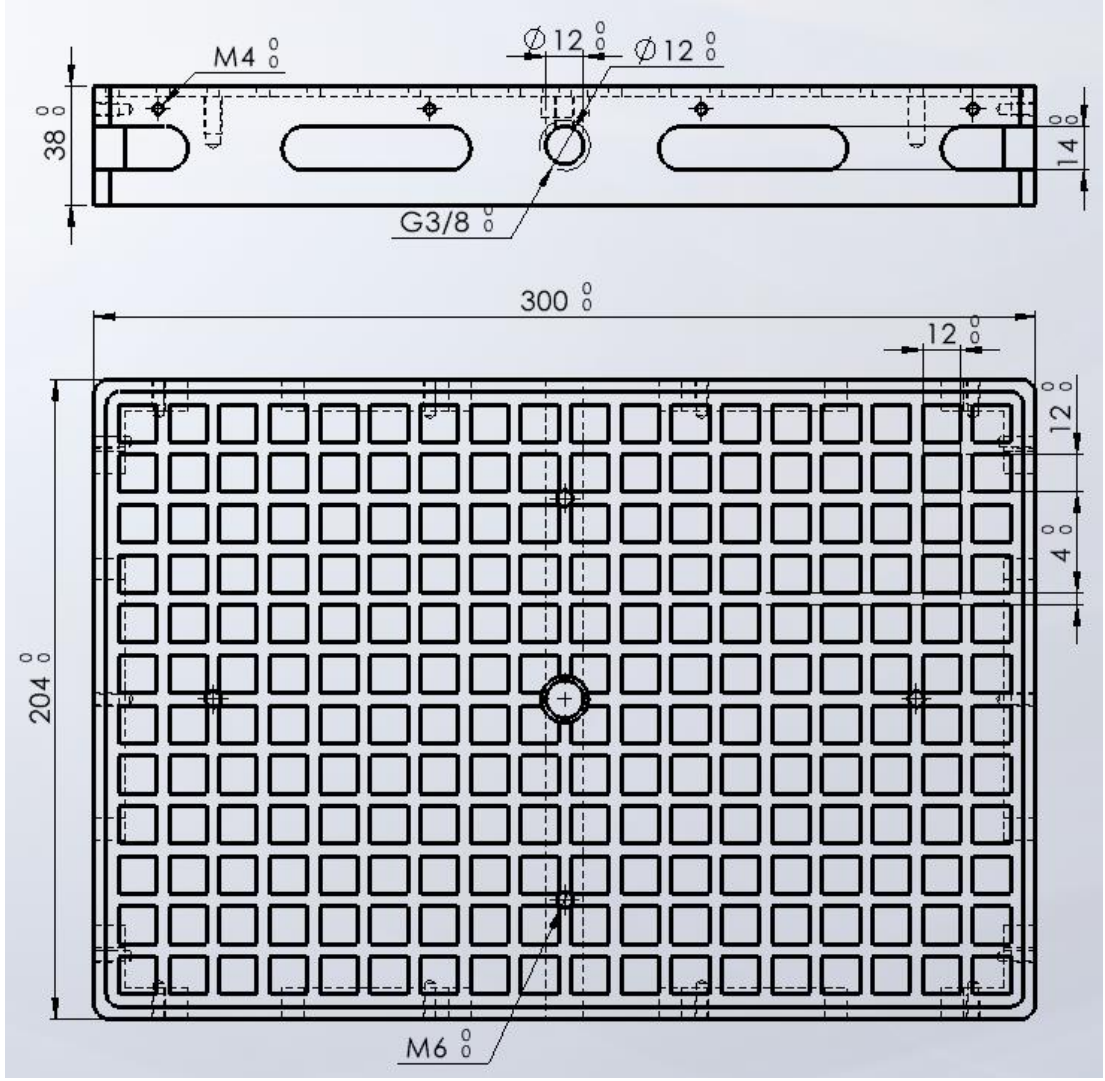
ürünler dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu ölçülerin piyasadaki tabla aksesuarlarıyla uyumluluğu kontrol edilmiştir. Tasarımda, yan sabitleme aparatlarının montajını sağlayacak 10 mm derinliğinde M4 cıvata delikleri eklenmiştir. Uzun kenarlarda dört, kısa kenarlarda üçer adet yan sabitleme elemanı bulunur. Bu sabitleyiciler, bağlanacak iş parçasının CNC tezgâh referansına göre hızlı bir şekilde konumlandırılmasını sağlar. Ayrıca, vakum mengene gövdesinin tezgâh tablasına bağlanmasını kolaylaştıracak cepler gövdenin dört bir yanına açılmıştır.

Tutma kuvveti, bağlanacak iş parçasının mengeneye temas ettiği alanla doğru orantılıdır. Küçük boyutlu iş parçaları, büyük parçalara kıyasla daha az tutma kuvvetine sahiptir. Bu tür parçaların yüksek ilerleme hızı veya derin pasolarla işlenmesi gerektiğinde, parçanın yatay kesme kuvvetlerine karşı hareketini engellemek için yardımcı sabitleyici parçalara ihtiyaç duyulabilir. Bu aparatların gövdeye monte edilebilmesi için dört adet 7 mm derinliğinde M6 bağlama deliği eklenmiştir. Vakum giriş deliği hizasındaki iki delik, vakum deliğine patlamaması için 9,5 mm, diğer iki delik ise 18 mm derinliğinde tasarlanmıştır. Cepler, normal boyutlu pabuçların sığabileceği şekilde, mengene tabanından 11 mm mesafede ve 14 mm yükseklikte olacak şekilde; uzun yan yüzeylerde 60 mm genişliğinde iki adet, kısa yan yüzeylerde 90 mm genişliğinde birer adet olarak tasarlanmıştır. Ayrıca, tutucunun köşelerden bağlanabilmesi için her yüzeyde iki adet olmak üzere 30 mm genişliğinde cepler tasarıma eklenmiştir.

Tüm 3 boyutlu tasarımlar, Solidworks 2023 programı kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede, gövdenin tüm geometrik özellikleri imalat öncesinde detaylı bir şekilde incelenebilmiştir. Modelin görsel kalitesi, Solidworks Visualize programı kullanılarak artırılmıştır. Gövdenin 3 boyutlu görseli Şekil 4.3'te, teknik resmi ise Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



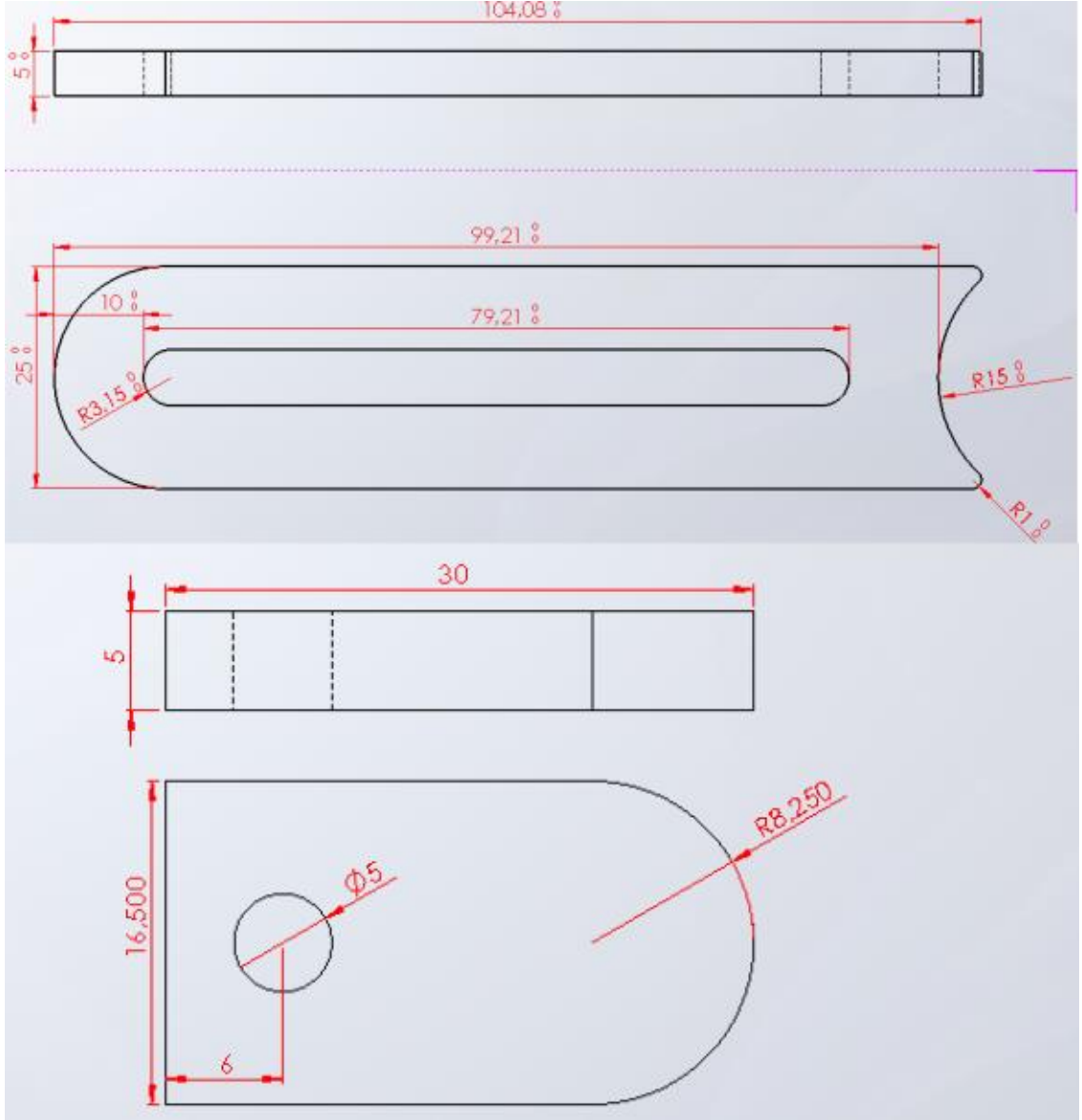
Şekil 4.3 Vakum mengene gövdesinin 3 boyutlu tasarımı



Şekil 4.4 Vakum mengene gövdesinin yapım resmi

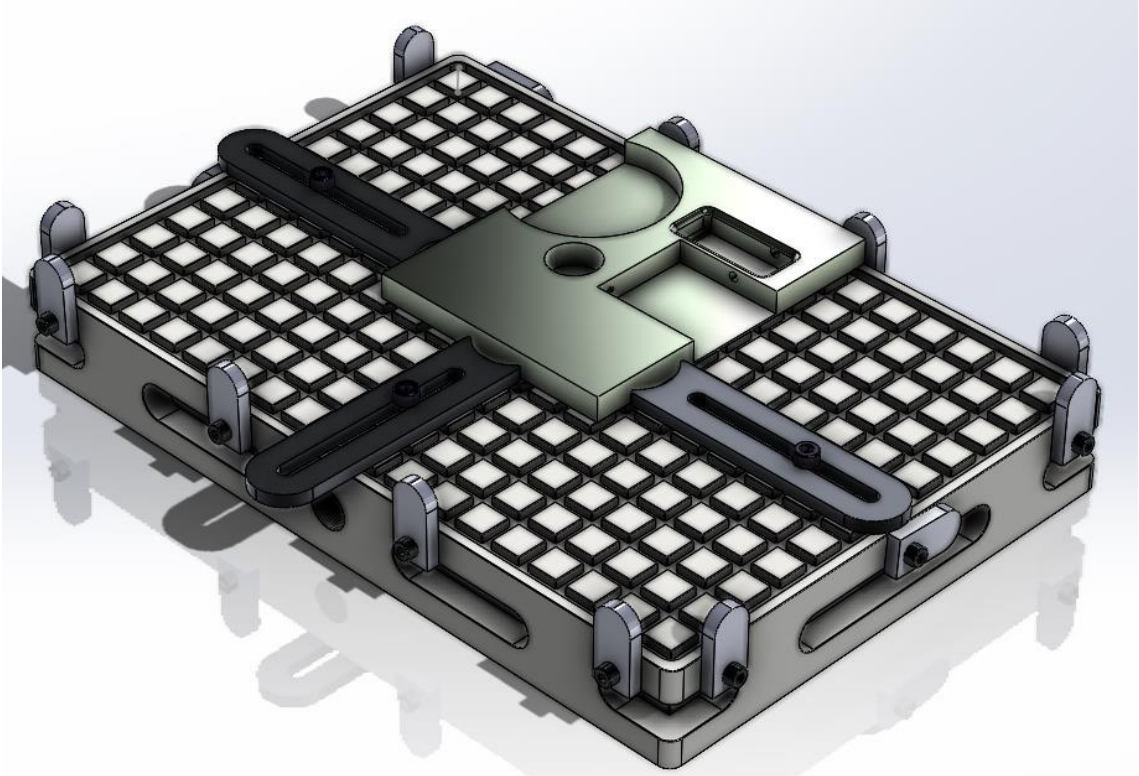
4.3.2. Sabitleyiciler

Sabitleyiciler, malzemenin doğru konumlandırılması ve güvenli bir şekilde sabitlenmesi için kullanılır. Bu parçaların yüksek direnç gerektiren koşullarda aşınmaya ve deformasyona karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu amaçla, sabitleyici malzeme olarak Diaver çeliği tercih edilmiştir. Diaver çeliği, yüksek sıcaklıklarda sertliğini ve mukavemetini korur, ayrıca termal yorulma, erozyon ve aşınmaya karşı yüksek dayanım sağlar. Parça ölçüleri belirlendikten sonra, Şekil 4.4'te gösterilen ölçülendirmelere uygun olarak 3 boyutlu tasarımlar yapılmıştır.



Şekil 4.5 Sabitleyicilerin teknik çizimi

Sabitleyiciler, mengene üst yüzeyinde ve yan yüzeyinde kullanılanlar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Yan yüzeyde kullanılan sabitleyiciler, daha çok parça sıfırlama amacıyla kullanılırken, üst yüzeyde kullanılanlar parçaya destek sağlamaktadır. Şekil 4.6'da, sabitleyicilerin kullanıldığı bir iş parçası bağlama işlemi gösterilmektedir. Şekilde işaretlenen iki adet yan sabitleyicinin iç yüzeylerinin "Y" eksenindeki koordinatları tezgâh eksenine göre belirlenmişse, bu sabitleyicilere ittirilen iş parçasının temas yüzeyinin eksenini de otomatik olarak belirlenmiş olur. Bu sayede, parça sıfırlama süresinde önemli bir tasarruf sağlanır.



Şekil 4.6 Sabitleyicilerle iş parçasının desteklenmesi

Üst sabitleyiciler üzerlerindeki kanal sayesinde ileri geri hareket edebilmektedirler. Parçaya temas ettirilen sabitleyici, kanalından giren cıvata ile sıkıştırılarak sabitlenmekte ve parçayı desteklemektedir.

4.3.3. Vakum kaynağı

Vakum kaynağı olarak vakum jeneratörü veya vakum pompası kullanılabilir. Vakum pompası, elektrik kaynağından beslendikten sonra doğrudan çalıştırılabilen bir sistem iken, vakum jeneratörünün çalışması için basınçlı hava yeterlidir. Bu basınçlı hava, 8-10 bar basınç üretebilen bir kompresörden sağlanabilir.

Üretilen vakum mengeneyi her iki vakum kaynağıyla da test edebilmek için, her iki tür vakum kaynağı da temin edilmiştir. Piyasa araştırmaları, vakum alanı 1200 cm²'den küçük olan ürünlerde genellikle 5 m³/s veya üzeri debiye sahip vakum kaynaklarının kullanıldığını göstermiştir. Ancak, Pierson Workholding firması, tüm ürünlerinde 1,36 m³/s debide hava akımı sağlayan özel üretim bir vakum jeneratörü kullanmaktadır. Firma, ürünlerindeki hava kaçaklarının çok az olduğunu ve bu nedenle düşük debili jeneratörün gerekli vakum basıncına ulaştığını, ancak bunun biraz daha fazla zaman aldığını belirtmiştir (URL-12, 2018).

Bu bilgilerin ışığında, 600 cm² vakum alanına sahip vakum mengenesi için, mevcut olan 3 m³/s debide hava akımı sağlayan Artico marka VE 115 model vakum pompası kullanılmıştır. Pompanın tüm özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3 Artico VE 115 vakum pompasının teknik özellikleri

Mutlak vakum	5 Pa
Voltaj	220V – 50 Hz
Güç	1/4 BG
Yağ kapasitesi	310 ml
Debi	3,0 m ³ /s

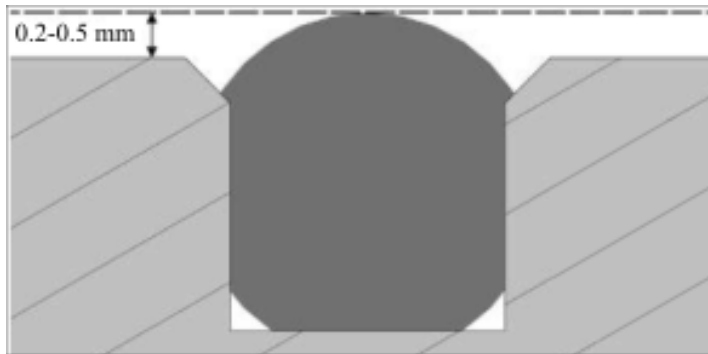
Vakum jeneratörü olarak Festo marka VN-30-L-T6-PI5-VI6-RO2 vakum jeneratörü kullanılmıştır. Ürünün teknik özellikleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Festo VN-30-L-T6-PI5-VI6-RO2 vakum jeneratörünün teknik özellikleri

Çalışma basıncı	1 bar... 8 bar
Maksimum emiş debisi için çalışma basıncı	6 bar
Atmosfere karşı maksimum emiş debisi	339 l/dak = 20,34 m ³ /s
Hortum bağlantıları	G1/4 – G3/8 (tek üründe)
Maksimum vakum basıncı	-0,93 bar

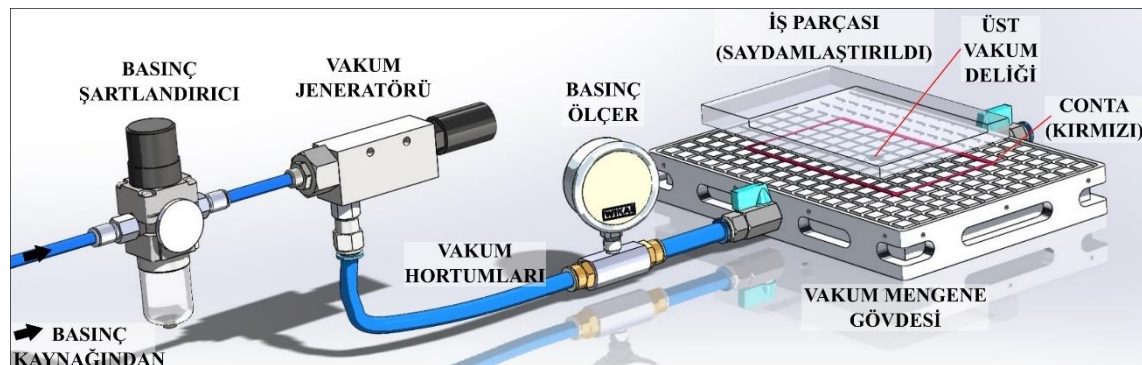
4.3.4. Diğer sistem bileşenleri ve montaj

Conta çapı, gövde kanal derinliği göz önüne alınarak 4 mm olarak seçilmiştir. Firma dokümanlarına göre, contanın gövde kanalından 0,2–0,5 mm arasında taşması gerektiği belirtilmiştir (Şekil 4.7). Conta malzemesi olarak, sünger ve içi dolu kauçuk malzemeler tercih edilmiştir.



Şekil 4.7 Bir conta ve vakum gövdesi kanalının kesit görüntüsü

Vakum pompası ile 0,95 bar vakum basıncı elde edilirken, vakum jeneratörü ile en fazla 0,8 bar basınç sağlanabilmektedir. Analizler, tutma denemeleri ve diğer çalışmalar vakum jeneratörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayede vakum pompasının performansı da dolaylı olarak test edilmiştir. Testlerde sabitleme elemanları kullanılmamış ve vakum mengene en zorlu koşullarda değerlendirilmiştir. Tasarlanan vakum mengene sisteminin toplanmış 3 boyutlu görseli Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Vakum mengene sistemi tasarımı

4.4. Teorik Analiz

Bu bölümde, tasarlanan vakum mengenin tutma kabiliyeti analiz programları kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizlerde kullanılan parametreler, seçilen ekipmanların özellikleri ve literatürdeki talaşlı imalat çalışmalarından elde edilen verilere dayanarak belirlenmiştir. Vakum mengeneyle etki eden dış kuvvetler simüle edilmiş ve bu kuvvetler sonucunda mengene temas yüzeyinde oluşan kuvvetler ile bu kuvvetlerdeki değişimler gözlemlenmiştir.

4.4.1. Statik analiz

Statik analiz, bir bileşenin belirli bir yüke veya dış etkiye maruz kaldığında sergilediği davranışı incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu analizde, yük sabit veya kademeli olarak arttırılır ve bileşenin bu yükler altında dengede olduğu varsayılır. Analiz sırasında, bileşen üzerindeki gerilme, yer değiştirme, deformasyon ve kuvvetler hesaplanır.

Sonlu elemanlar yöntemi (FEA) kullanılarak yapılan statik analizde, bileşen seçilen boyutlarda sonlu sayıda parçaya bölünür. Bu yöntemde, bileşene etki eden yükler ve bu yüklerin yönleri tanımlanır, bileşenin yüzey özellikleri belirlenir, ardından analiz gerçekleştirilir.

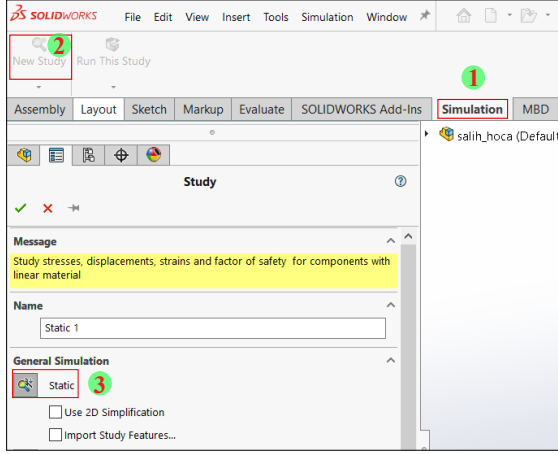
Analiz çalışmalarına başlamadan önce, literatürdeki ilgili araştırmalar incelenmiş ve imalat çeliğinden yapılmış bir iş parçasından talaş kaldırılması sırasında ortaya çıkabilecek maksimum kesme kuvveti değerleri belirlenmiştir. Bu değerlere Tablo 4.5'te yer verilmiştir.

Tablo 4.5 Literatürde çeşitli frezeleme işlemi sırasında oluşan kesme kuvveti değerleri

Referans	Takım çapı (mm)	Kesme hızı (m/dk)	İlerleme hızı (dev/dk)	Kesme derinliği (mm)	Diş başı ilerleme (mm)	$F_r(N)$	$F_t(N)$	$F_x(N)$	$F_y(N)$	$F(N)$
(Daud vd., 2009)	10	-	1000	3	-	-	-	952	920	1324
(Subramanian vd., 2013)	-	100	-	2,5	0,1	1400	800	-	-	1612
(Ayats vd., 2009)						-	-	-	-	785
(Yılmaz vd., 2014)						-	-	-	-	960

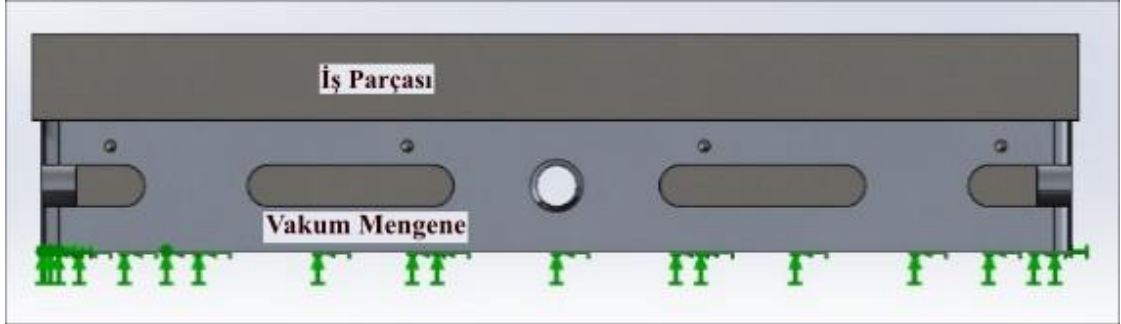
Daud vd., (2009)Subramanian vd., (2013)Ayats vd., (2009)Yılmaz vd.,(2014)Tablo 4.5, çeşitli akademik çalışmalardan elde edilen maksimum kesme kuvveti değerlerini içermektedir. Bu tabloya göre, en büyük bileşke kuvvet değeri 1612,45 N olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada, vakum mengenenin bu büyüklükteki bir yatay kuvvete maruz kalan iş parçasını tutma kapasitesi test edilmiştir. Statik analiz, SolidWorks Simulations programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Analiz sırasında modeli basitleştirmek amacıyla, kesme kuvvetinin yalnızca tek bir yüzeye ve tek yönde etki ettiği, ayrıca bu kuvvetin sabit olduğu varsayılmıştır. Analiz için, SolidWorks programında bir montaj dosyası oluşturulmuş ve vakum mengene ile iş parçası modelleri montaja yüklenmiştir. Montaj aşamasında iş parçası, vakum mengenesi üzerine yerleştirilmiş ve ardından Simulations modülünde yeni bir çalışma açılarak, Şekil 4.9'da gösterildiği gibi statik analiz seçilmiştir.



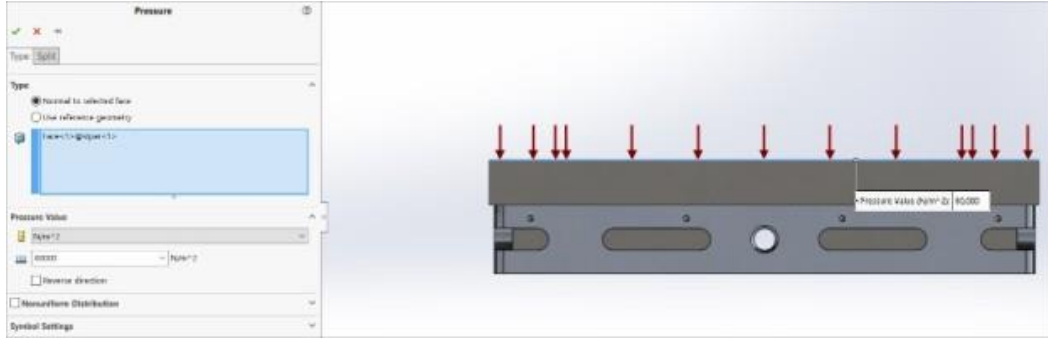
Şekil 4.9 Solidworks Simulations ile statik analize başlanması

İş parçası ve vakum mengene için malzeme atamaları yapılmıştır. İş parçası olarak AISI 1020 çelik, vakum mengene olarak ise Al-7075 alüminyum seçilmiştir. Bu malzeme seçimlerine göre, sürtünme katsayısı ve diğer teknik malzeme özellikleri simülasyon programı tarafından otomatik olarak atanmıştır. Şekil 4.10'da, vakum mengene ve iş parçasının üst üste durduğu yan görünüş gösterilmektedir. Vakum mengenesi simülasyonda yeşil oklarla gösterildiği gibi yere sabitlenmiştir. Bu durumda, vakum mengenesi analiz süresince hareket etmeyecek şekilde konumlandırılmıştır ve yalnızca iş parçası üzerindeki kuvvetlerin etkisi analiz edilmiştir.



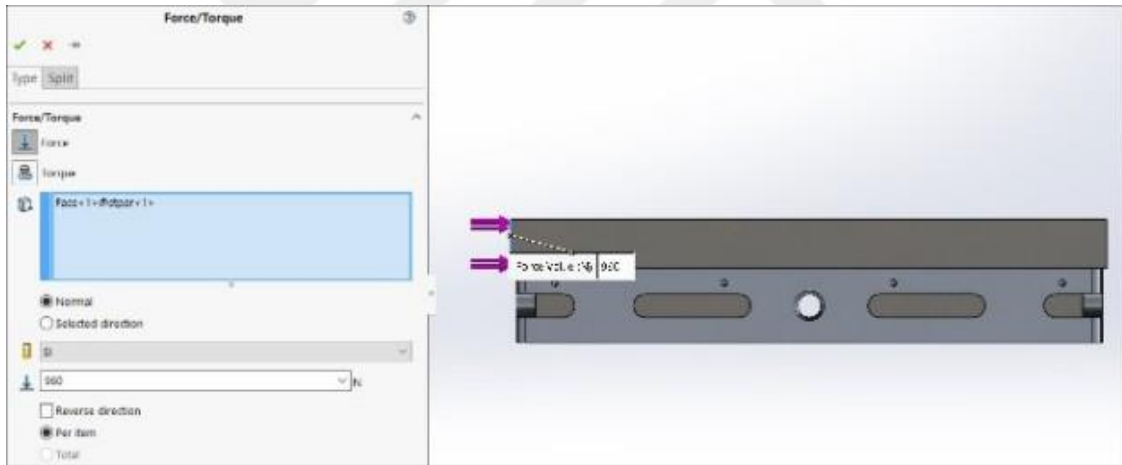
Şekil 4.10 Vakum mengenenin sabitlenmesi

Vakum kaynağının uygulayacağı vakum basıncı 0,8 bar yani 8000 N/mm²'dir. Bu basıncın iş parçasına üstten dikey olarak uygulanması Şekil 4.11' de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 İş parçasına basma kuvvetinin etki ettirilmesi

Son aşamada, iş parçasına 500 N ile 3000 N arasında değişen yatay kesme kuvvetleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Şekil 4.12'de bu işlemin nasıl gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Her bir kuvvet değeri için analizler teker teker gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları kaydedilmiştir. Bir analiz tamamlandığında elde edilen veriler saklanmış ve bir sonraki kuvvet değeri için analiz süreci başlatılmıştır. Bu şekilde, vakum mengenin farklı kuvvet değerlerine nasıl tepki verdiği kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.12 İş parçasına yatay kesme kuvvetinin etki etmesi

4.4.2. Yarı statik analiz

Yarı statik analiz, parçaların çok küçük hareketlerinin olduğu bir durumun incelenmesi için kullanılır; burada ivme sıfır kabul edilir. Bu yöntem, dinamik yüklere maruz kalan yapıların analizinde yaygın olarak kullanılır. Analizde, parçaların bu küçük hareketler sırasında nasıl tepki verdiği incelenir.

Bu çalışmada, Solidworks programında oluşturulan ve statik analizde kullanılan model, yarı statik analiz için de aynı şekilde kullanılmıştır. Yarı statik analiz, Abaqus Finite

Element Analysis | SIMULIA programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İş parçasına etkiyebilecek maksimum yatay kesme kuvveti 1620 N olarak belirlenmiştir ve Abaqus'un SI (mm) birim sistemi kullanılmıştır.

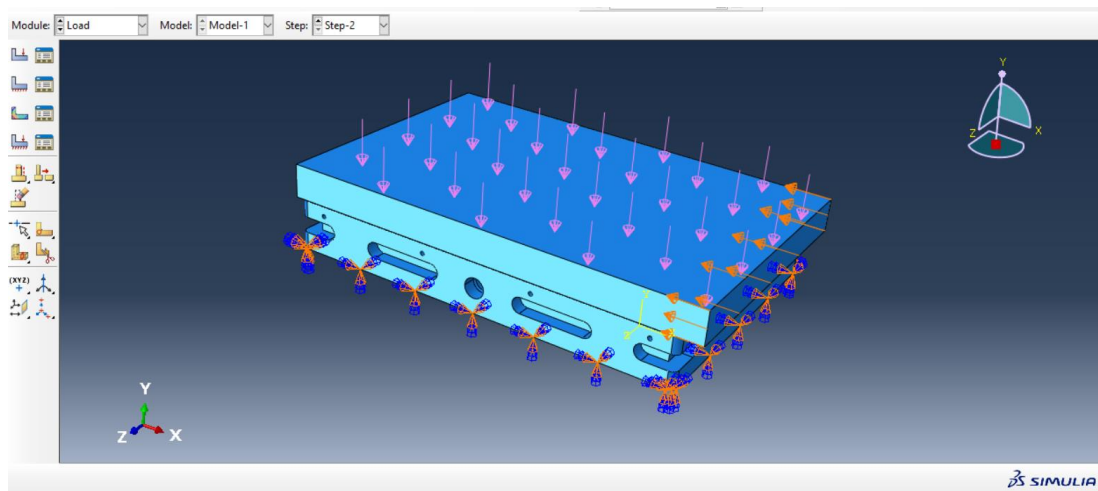
Analiz sürecinde ilk olarak üç boyutlu montaj modeli Abaqus programına aktarıldı. Alüminyum malzeme için elastisite modülü 70000 N/mm^2 ve Poisson oranı 0,33 olarak, çelik parça için elastisite modülü 205000 N/mm^2 ve Poisson oranı 0,29 olarak seçildi. Parçalara mesh işlemi uygulandı ve bu meshler programa tanımlandı.

Analiz iki adımda gerçekleştirildi:

Step 1: Bu adımda, parçalar arasındaki sürtünme kuvvetini oluşturacak yüzeyler belirlendi ve sürtünme katsayısı 0,45 olarak seçildi. Vakum mengersi alt yüzeyi sabit kabul edildi. İş parçası üst yüzeyine, 0,8 bar ($0,08 \text{ N/mm}^2$) hava basıncı etkisi uygulandı.

Step 2: Bu adımda, iş parçasına yatay yönde 0,05 mm hareket ettirme ayarı yapıldı. Simülasyon süresince etkiyecek kuvvetler ve yer değiştirme yönleri belirlendi. Şekil 4.13'te bu kuvvetler ve yönleri gösterilmiştir. Dikey yönde iş parçasına etkiyen basınç kuvveti pembe renkle, iş parçasının sol kenarındaki turuncu oklar ise yatay hareket yönünü göstermektedir. Mengene alt kenarlarında turuncu ve koyu mavi renkli şekiller ise bu kenarların sabitlendiğini belirtmektedir.

Simülasyon çalıştırıldıktan sonra, seçili yüzeylerdeki sürtünme kuvveti değişimlerinin grafiği oluşturulmuştur. Bu grafik, vakum mengersinin iş parçasını tutma kabiliyetini değerlendirmek için kullanılmıştır.



Şekil 4.13 Abaqus programında tutucu ve iş parçasına verilen dış etkilerin gösterilmesi

4.5. İmalat

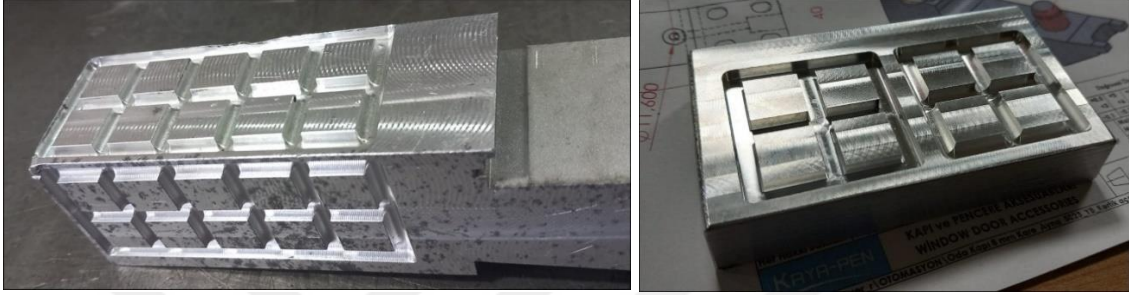
Bu bölümde, vakum mengene gövdesinin imalat süreci ele alınmıştır. Gövde malzemesi olarak 7000 serisi alüminyum tercih edilmiş ve siparişi verilmiştir. İmalat sürecinde gövde, YCM-NSV106A CNC freze tezgahında işlenmiştir. Gerekli CAM programları WorkNC yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. İmalat sürecinde kesici takım olarak karbür parmak frezeler tercih edilmiştir.

Sabitleyicilerin kesimi ise HSG HS-G3015C lazer kesim tezgahında gerçekleştirilmiştir. İş parçası, kesici takımlar ve kullanılan tezgahların teknik özellikleri Tablo 4.6'da detaylı bir şekilde gösterilmektedir.

Tablo 4.6 Vakum mengene imalatında kullanılan malzeme, kesici takım ve makinaların teknik özellikleri

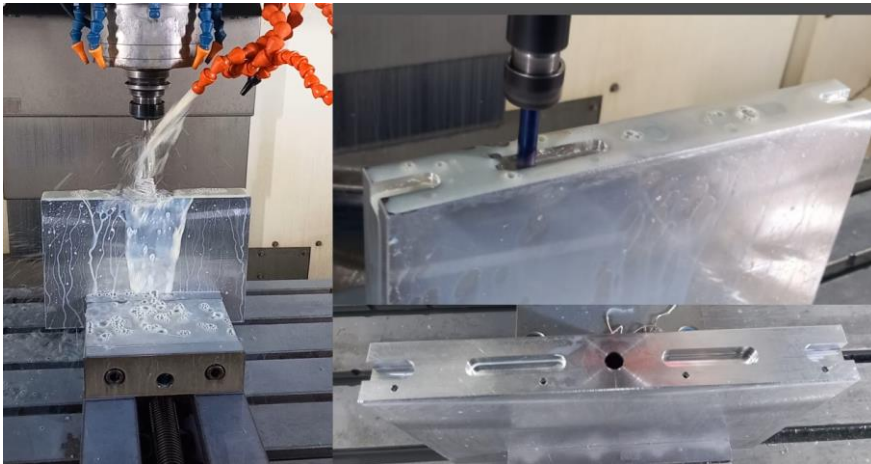
YCM-NSV106A CNC FREZE		HSG HS-G3015C LAZER KESİM TEZGAHI	
Tabla Boyutları (mm):	1120 x 650	Lazer kapasitesi	3000W
X hareketi (mm):	1020	Güç	25,5 kW
Y hareketi (mm):	600	Voltaj / Frekans	380 V 50 Hz
Z Hareketi (mm):	600	Faz sayısı	3
İş mili tipi ve devri:	BBT40 – 12.000 dev/dk. 22 kW		
7000 SERİSİ ALÜMİNYUM		HPMT KÖŞE RADIUSLU PARMAK FREZE	
Krom (Cr)	%0,10- 0,35	Toplam boy:	70 mm
Mangan (Mn)	%0,05- 0,50	Kesme uzunluğu:	22 mm
Bakır (Cu)	%0,00- 0,20	Köşe yarıçapı:	0,5 mm
Titanyum (Ti)	%0,00- 0,10	Ağız sayısı:	4
Demir (Fe)	%0,00- 0,40	Helis açısı:	40
Çinko (Zn)	%4,00- 5,00		
Alüminyum (Al)	%91- 94,8		
Yoğunluk	2,78 g/cm ³		
Erime sıcaklığı	605 °C	HPMT KÜRE PARMAK FREZE	
Isıl genleşme k.	23,3 x 10 ⁻⁶ /K	Toplam boy:	60 mm
Akma dayanımı	310 MPa	Kesme uzunluğu:	8 mm
Çekme dayanımı	380 MPa	Çap:	4 mm
Uzama	0,12	Ağız sayısı:	2
Elastisite	71 GPa	Helis açısı:	30

Vakum mengenesi gövdesinin üretiminde, tabla kanallarının işlenmesi kritik bir aşamadır. Bu işlemin doğruluğunu sağlamak ve malzemenin hasar görmesini önlemek amacıyla, benzer özelliklere sahip malzemeler üzerinde önceden vakum kanalları işleme denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sırasında, istenen vakum kanal genişliği ve derinliğine ulaşabilmek için optimal kesme parametreleri belirlenmiş ve kaydedilmiştir. Ardından, bu parametreler vakum mengenesi gövdesinin nihai işlenmesinde kullanılmıştır. Test parçalarının görselleri Şekil 4.14’te sunulmuştur.



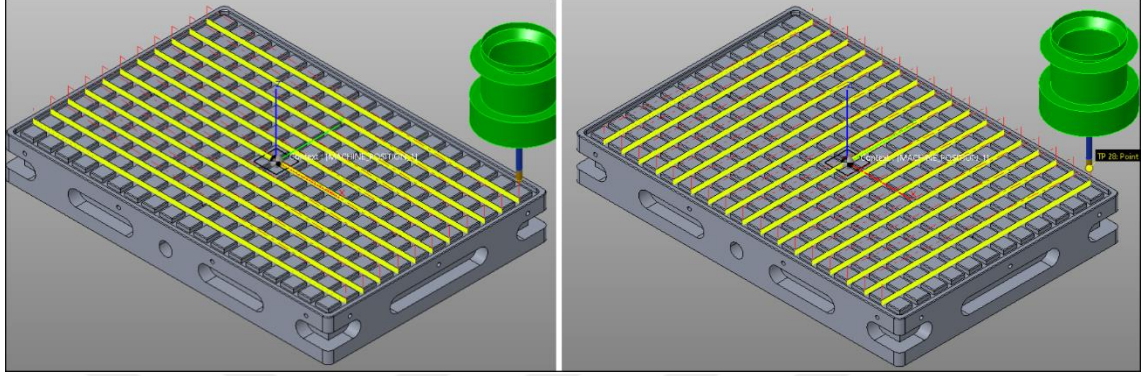
Şekil 4.14 Vakum kanallarının işlenmesi üzerinde ön çalışmalar

İlk olarak ana malzemenin boyutları şerit testere ile kesilerek ayarlanmıştır. Kesim işlemi tamamlandıktan sonra, malzeme King marka universal freze tezgahında ölçülere ve gönyeye uygun şekilde getirilmiştir. Bu iş parçası, CNC freze tezgahı tablasına dört kez mengeneyle bağlanarak her dört yanına cepler ve yan sabitleme bağlantı delikleri açılmıştır. Ayrıca, bir yanına yan vakum deliği delinmiştir. Cepler, 10 mm çapında karbür frezeyle, sırasıyla kaba ve duvar finiş stratejileri kullanılarak işlenmiştir. Ceplerin ve deliklerin açılma işlemi Şekil 4.15’te gösterilmiştir. İşlem sırasında soğutma sıvısı olarak bor yağı kullanılmıştır.



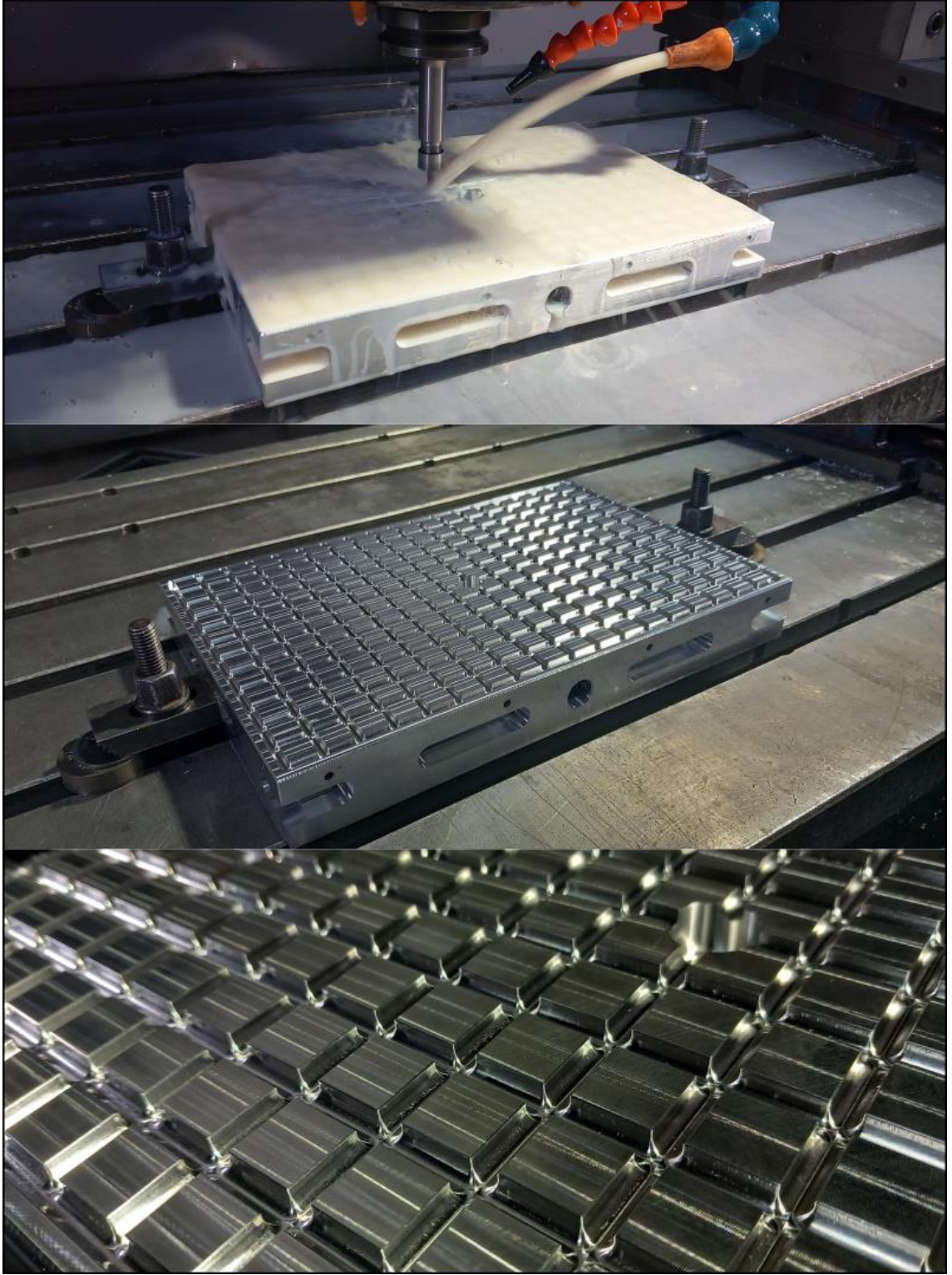
Şekil 4.15 Vakum mengenenin yan kanal ve deliklerinin işlenmesi

Şekil 4.14’te gösterilen deneme çalışmalarının ardından, vakum mengene üst yüzeyindeki kanalların, 4 mm çapındaki küre freze takımla işlenmiştir. İşlemede “On-curve Engraving” stratejisi kullanılmıştır. WorkNC ile yapılan programda küre karbür frezenin izleyeceği takım yolları Şekil 4.16’da sarı renkle gösterilmektedir. Parça tezgâh tablasına, cıvata ve somunlarla yan yüzeylere açılan ceplerden bağlanmıştır.



Şekil 4.16 Kesici takımın vakum kanallarının işlenmesinde izleyeceği takım yolları

Kanallar 4 mm çaplı küre frezeyle 6500 devir/dakika, 1200 mm/dk ilerleme hızı, 0,06 mm dikey adımda işlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için dikey adım ve ilerleme değerleri minimum düzeyde tutulmuştur. Bu sayede iyi bir sızdırmazlık sağlanması hedeflenmiştir. Kanalların tezgâhta işlenmesinin görüntüsü ve işlendikten sonraki kanal ve ada yapısı Şekil 4.17’de gösterilmektedir.



Şekil 4.17 Vakum mengene üst yüzeyinin CNC freze tezgahında işlenmesi

Talaş kaldırma işlemleri biten iş parçasına ölçü kontrolü yapılmıştır. Kanal derinlik ve genişlik ölçülerinin ortalama 0,02 – 0,03 mm hassasiyetle elde edildiği görülmüştür, ardından parça, tezgâh tablasından sökülmüştür.

4.5.1. Eloksal kaplama

Eloksal kaplama alüminyum ve alüminyum alaşımlarına uygulanan bir kaplama işlemidir. Bu işlemde alüminyum malzemenin yüzeyinde doğal olarak oluşan ince oksit tabakası kalınlaşmakta, sertleşmekte ve malzeme bu sert oksit tabakasıyla kaplanmış olmaktadır.

Eloksal kaplama işlemi elektrokimyasal bir prosestir ve bu işlem sonucunda alüminyumun üstünde oluşan tabakanın kimyasal formülü Al_2O_3 şeklindedir. Kaplanacak alüminyum malzeme elektroliz işleminin anodu olarak işlem görmektedir. Belirlenmiş ve kontrol edilebilen bir akım (genellikle doğru akım- DA) yoğunluğu, kaplanacak alüminyum malzeme ile uygun bir katot arasında belirli bir süre için geçirilir. Bu süre, eloksal tabakasının özellik ve kalınlığına göre belirlenmektedir (Tütün vd., 2017).

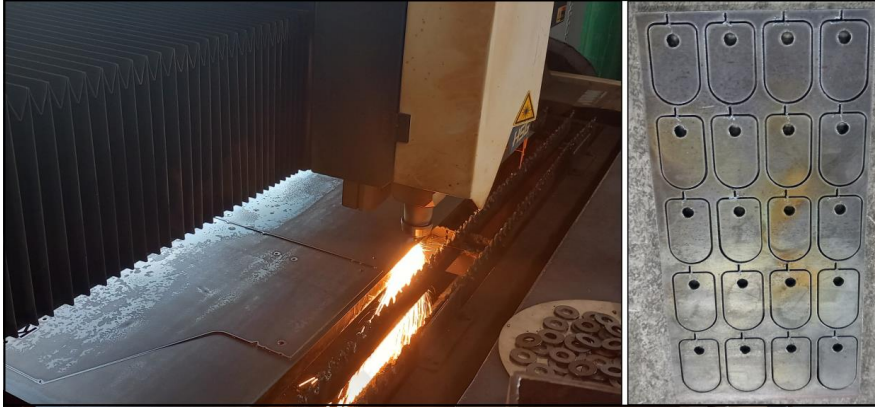
Vakum mengene gövdesi eloksal kaplama öncesinde 3 dakika boyunca $50^{\circ}C$ ' de deterjan bazlı havuzda yağ alma işlemine tabi tutulmuştur. Ardından kostik (Sodyum Hidroksit) ile matlaştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlemin amacı malzeme yüzeyini pürüzsüzleştirerek eloksal kaplamaya uygun hale getirmektir. Ardından sülfürik asit ile nötralizasyon işlemi yapılarak malzeme yüzeyleri kostik maddeden arındırılmıştır. Kaplama için ön hazırlıklar bu şekilde tamamlanmıştır. Malzeme $19^{\circ}C$ sıcaklıkta 16 Voltta sülfürik asit çözeltisi içerisinde eloksal kaplama işlemine tabi tutulmuştur. 30 dakika sonunda malzeme yüzeyi eloksal kaplanmıştır. Kaplamanın korunması ve ömrünün arttırılması için tespit (Mühürleme) işlemi uygulanmıştır. Kaplama işleminin yapılması sırasındaki görseller Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 Vakum mengenenin eloksal kaplama işlemine tabi tutulması

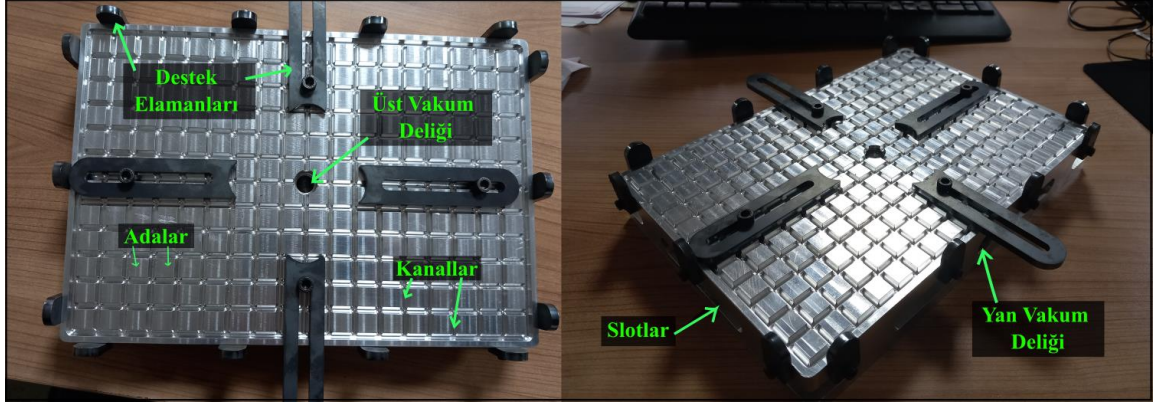
4.5.2. Destek elemanları

Destek elemanlarının üretiminde Diaver çeliği kullanılmıştır. Bu elemanlar, lazer kesim tezgahında üretilmiştir. SolidWorks'te modellenen destek elemanlarının CAD dosyaları, DXF formatına dönüştürülerek "Alpha T Bus Kontrol Sistemi"ne aktarılmıştır. Burada, kullanılacak gaz cinsi, miktarı, malzeme kalınlığı ve diğer parametreler ayarlanmıştır. Veriler makineye gönderilmiş ve operatör kontrolünde kesime başlanmıştır. Kesim sırasında argon gazı kullanılmıştır; argonun oksijenle reaksiyona girmemesi nedeniyle oksitlenme olmamış ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. Ürünler, son olarak püskürtme boya ile boyanmıştır. Lazer kesim tezgahında kesilen sabitleyicilerin görüntüsü Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



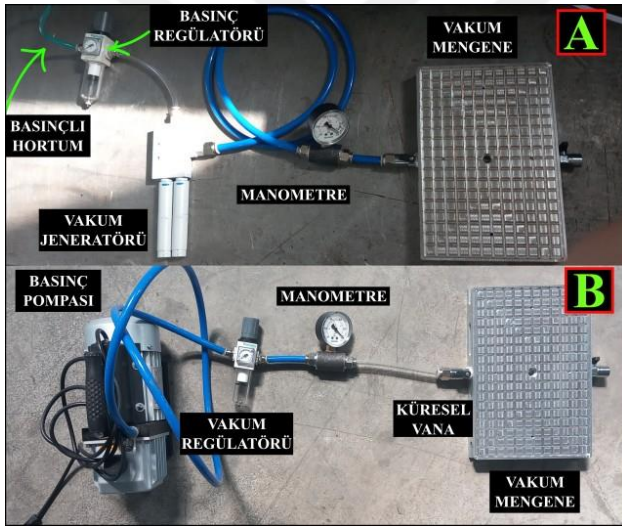
Şekil 4.19 Lazer kesim işlemi ve kesilen sabitleme parçaları

Destek parçalarının vakum mengeneyle monte edilmiş görüntüsü Şekil 4.20'de gösterilmektedir. Kanallı sabitleyiciler, kanallara giren cıvatalar gevşetildiğinde boylamasına ileri geri hareket edebilir ve parçaya temas ettiklerinde sabitlenir. Gövde kenarındaki küçük sabitleyiciler ise, deliklerden geçen cıvatalar gevşetildiğinde delik ekseninde hareket ederek gövde üst yüzeyinden aşağıya doğru dönebilir. Ancak, ileri geri veya sağa sola hareket edemezler; bu nedenle sayıları fazla tutulmuştur. Parçayı sabitleyebilmeleri için parçanın onlara doğru hareket edip temas etmesi gerekmektedir. Her iki tür sabitleyici de ihtiyaç duyulmadığı takdirde gövde üzerinden kolayca sökülebilir.



Şekil 4.20 Sabitleme parçalarının gövdeye bağlanması ve kullanılması.

Tüm sistem elemanları edinildikten ve gövdenin ilk etap üretimi gerçekleştirildikten sonra montaj aşamasına geçilmiştir. Vakum kaynaklarına göre 2 ayrı şekilde montajlanmış vakum mengene sistemlerinin görüntüsü Şekil 4.21’de gösterilmektedir.



Şekil 4.21 Vakum mengene sisteminin montaj görüntüsü

4.6. Deneyler

4.6.1. Yüzey teması ve basınç kontrolü

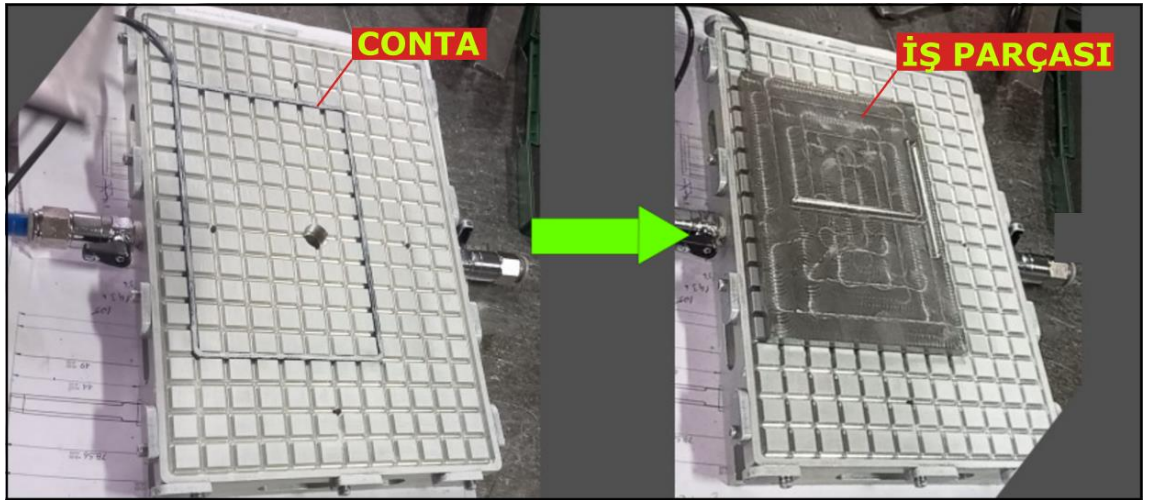
Vakum mengene ile iş parçasının tutulması işleminde iş parçasının hareketini engelleyen en büyük kuvvet, iki bileşenin arasında oluşan sürtünme kuvvetidir. Mengene ile iş parçası arasındaki temas ne kadar iyi olursa elde edilen sürtünme kuvveti o derece fazla olacaktır. Bu nedenle imalatı yapılan vakum mengene ile iş parçası arasındaki temas kontrolünün yapılması gerekmektedir.

Vakum mengenelerde yüzey temasına genel olarak aşağıda listelenmiş beş husus engel

olabilmektedir;

- a) Temas yüzeylerindeki toz, kir veya parçacıklar.
- b) Mengene imalatındaki hatalardan kaynaklanan üst yüzey gönyesi veya yüzeydeki çukur ve çıkıntılar.
- c) İş parçasındaki çarpıklıklar.
- d) Vakum kaçakları veya vakum kaynağının yetersiz kalması neticesinde yeterli dikey basma kuvvetinin elde edilememesi.
- e) İş parçası ve mengene arasında sıkıştırılan contanın, basma kuvveti altında yeterli kadar şekil değiştirememesi.

Yüzeyler arası temas kontrolü temas boyasıyla boyama yöntemiyle yapılmıştır. Kontrolde temas boyası olarak beyaz renkli MI-setral-9 B kolon gresi kullanılmıştır. İş parçasının temas edecek yüzeyi satıl taşlama tezgahında hassas bir şekilde taşlanmıştır. Mengene ada, kanal yüzeyleri ve iş parçasının yüzeyi temizlenmiş ardından kurulmuştur. Mengene çelik bir masanın kenarına yerleştirilmiş ve vakum pompasına bağlanmıştır. Vakum kanallarına 70 shore sertlik değerine sahip kauçuk conta yerleştirilmiştir. Conta mengene üst yüzeyinden dışarı taşmaktadır. Mengene yüzeyi kolon gresiyle bir fırça yardımıyla ince bir şekilde boyanmıştır. İş parçası, boyalı mengineenin üzerine bırakıldığında mengineye temas etmemiş ve contanın üzerinde kalmıştır. Pompa çalıştırılmış ve 1 dakika boyunca iş parçası mengineye doğru çekilmiştir. Vakum basıncı manometreden takip edilmiştir. Bu test Şekil 4.22’de gösterilmektedir.

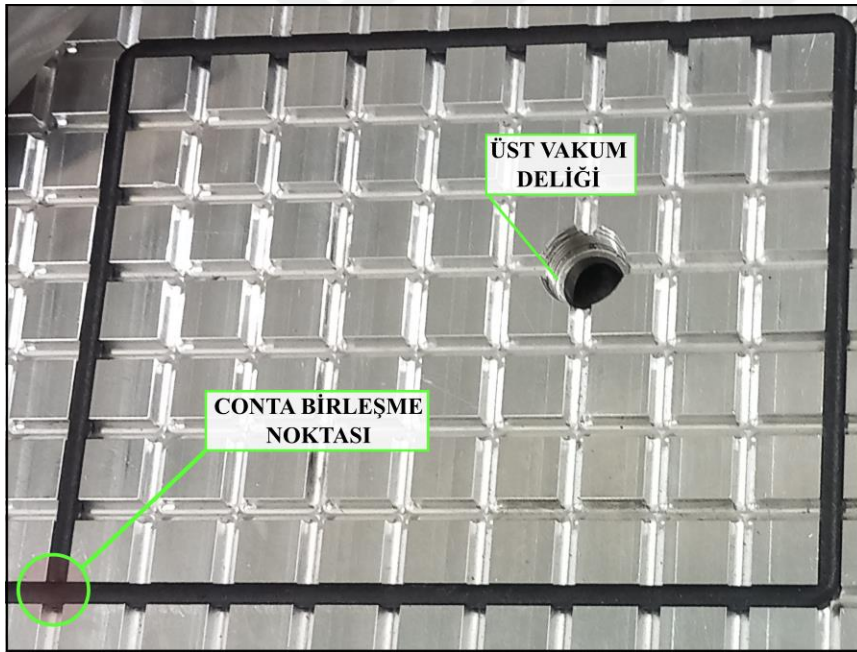


Şekil 4.22 Yüzey temas testi

4.6.2. Vakum mengene kullanılarak parça işlenmesi

Ürüne uygulanan tutma testleri, YCM-NSV106A CNC freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Testlerde, vakum mengene sisteminin Şekil 4.21'de gösterilen A konfigürasyonu kullanılmıştır. İş parçasının konumu, talaş kaldırma öncesinde ve sonrasında kontrol edilmiştir. Konum değerlerinde herhangi bir değişiklik olup olmadığı gözlemlenmiştir.

Vakum mengene, tezgâh tablasına sağ ve sol ceplerinden, cıvata ve somunlarla normal sıkılıkta bağlanmıştır. Ardından, vakum mengene sisteminin tüm parçaları yerleştirilmiş ve vakum hattı tamamlanmıştır. Başlangıçta, mengene yan vakum deliğine bağlı küresel vana kapalı tutulmuş ve vakumun üst yüzeye ulaşması engellenmiştir. Conta, kullanılacak iş parçası boyutuna uygun olarak yerleştirilmiştir. Conta, uç kısmının conta yan yüzeyi ile Şekil 4.23'te gösterildiği gibi boşluksuz bir şekilde ve sıkıca temas ettirilmiştir.



Şekil 4.23 Contanın kanallara uygun şekilde yerleştirilmesi

Yüzeyleri taşlanmış, gönyeye getirilmiş ve temizlenmiş iş parçası mengene üzerine tüm conta yüzeyini altına alacak şekilde yerleştirilmiştir. Düşey eksen etrafında hafifçe döndürülerek mengeneye göre göz kararı hizalanmıştır.

Komparatör ayarı Vertex marka komparatör kullanılarak Şekil 4.24' da solda gösterildiği gibi yapılmıştır. Konum ayarı Şekil 4.24'te sağda gösterildiği gibi Haimer marka sıfırlama saati kullanılarak, parçanın 4 kenarında kırmızı renkle gösterilen noktalara

dokunulmasıyla ve kenar konum değerlerinden parça merkez noktasının bulunmasıyla yapılmıştır. Serbest durumdaki parça, yan vakum deliğine bağlı küresel vananın açılmasıyla mengeneye çekilmiş ve tutma gerçekleşmiştir.



Şekil 4.24 İş parçasının test için komparatör ve sıfırlanma ayarının yapılması

Tutmadan sonra parça komparatörü tekrar kontrol edilmiştir. Ardından vakum mengeneyi tablaya bağlayan cıvatalar iyice sıkılmıştır. Tablaya bağlı bir şekilde teste hazır hale gelen sistem şekil 4.25’te gösterilmektedir.



Şekil 4.25 Test için tezgâh tablasına bağlanmış vakum mengene

WorkNC ile hazırlanan CAM programı hafıza kartı yardımıyla tezgâh hafızasına aktarılmıştır. Alüminyum ve imalat çeliği iş parçalarına uygulanması planlanan test parametreleri Tablo 4.7’de gösterilmektedir. Kesici takım olarak Tablo 4.6’ da belirtilen 10 mm çaplı, köşe radyuslu karbür parmak freze kullanılmıştır. Soğutma hava ile sağlanmıştır.

Tablo 4.7 İlk prototipin parça tutma kabiliyeti test parametreleri

İş parçası malzemesi	İş parçası boyutluları-mm	Vakum alanı	K.T. ilerleme değeri, mm/dk	K. T. Devri, dev/dk	Kesme derinliği, mm
81050 İmalat Çeliği	100 x 160	76 x 100	1000	5000	0,07- 0,1- 0,15- 0,2
1050 İmalat Çeliği	100 x 160	76 x 100	1500	5000	0,07- 0,1- 0,15- 0,2
1050 İmalat Çeliği	100 x 160	76 x 100	2000	5000	0,07- 0,1- 0,15- 0,2
1050 İmalat Çeliği	100 x 160	76 x 100	2500	5000	0,07- 0,1- 0,15- 0,2
Alüminyum	100 x 160	76 x 100	1500	3500	0,1- 0,13- 0,15- 0,2-0,25-0,3- 0,35-0,4
Alüminyum	100 x 160	76 x 100	2000	3500	0,1- 0,13- 0,15- 0,2-0,25-0,3- 0,35-0,4
Alüminyum	100 x 160	76 x 100	2500	3500	0,1- 0,13- 0,15- 0,2-0,25-0,3- 0,35-0,4
Alüminyum	100 x 160	76 x 100	3000	3500	0,1- 0,13- 0,15- 0,2-0,25-0,3- 0,35-0,4
Alüminyum	100 x 160	76 x 100	3500	3500	0,1- 0,13- 0,15- 0,2-0,25-0,3- 0,35-0,4

Parçanın işlenmeden önceki ve işlendikten sonraki koordinatları, tezgâh kontrol panelindeki “asıl pozisyon” sekmesinde karşılaştırılmıştır. Asıl pozisyon sekmesindeki, ilk ve son koordinat değerleri Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Şekilde A’deki değerler işleme öncesindeki B’deki değerler işleme sonrasındaki koordinat değerlerini göstermektedir.

**Şekil 4.26 CNC freze tezgâhı kontrol paneli ekranındaki “asıl pozisyon” sekmesi**

4.7. İyileştirme Çalışması

Yapılan deneyler neticesinde tutma kabiliyetini önemli ölçüde arttırabilmenin mümkün olduğu görülmüş ve iyileştirme çalışmalarına başlanmıştır.

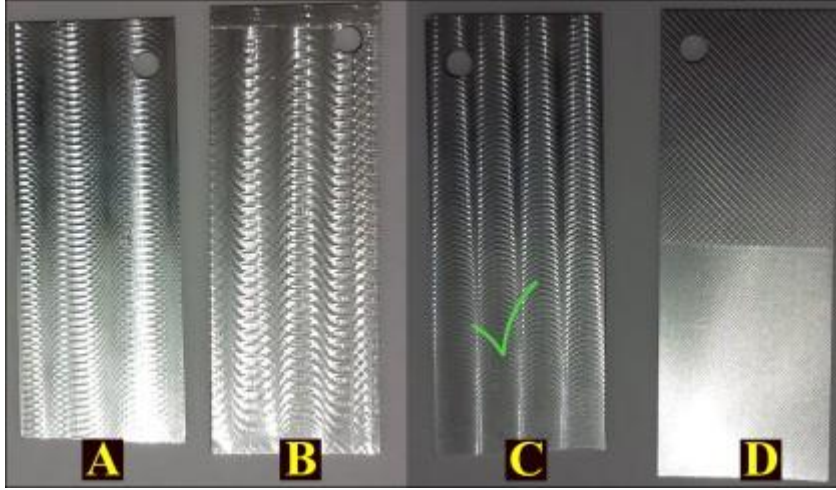
4.7.1. Tutma kuvveti

Vakum mengenede iş parçası tutmanın en önemli faktörlerinden ikisinin vakum alanı ve temas yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvveti olduğu bu çalışmanın önceki bölümlerinde vurgulanmıştı. Tutma kuvvetini arttırmak için vakum alanı ve vakum basıncı sonucunda oluşan sürtünme kuvvetinin iyileştirilmesine odaklanılmıştır.

4.7.1.1. Yüzey pürüzlülüğü

Prototip, estetik görünümünün arttırılması, çizilmeye, aşınmaya ve korozyona karşı dayanımının arttırılması için eloksal kaplama işlemine tabi tutulmuştu. Eloksal kaplama sonrası mengene yüzey pürüzlülüğü büyük oranda azalmış ve yüzey kaygan bir hale gelmiştir. Mengene yüzeyine bırakılan parçaların rahatlıkla kayabildiği gözlemlenmiştir. Eloksal kaplama işleminin yüzeyler arası sürtünme katsayısını azalttığı ve bunun neticesinde elde edilen sürtünme kuvveti değerinin büyük oranda düşmüş olduğu anlaşılmıştır.

Sürtünme kuvvetinin arttırılması için öncelikle vakum mengene üst yüzeyi 0,1 mm silinmiş ve eloksal tabakası tümüyle temizlenmiştir, yüzeydeki eski sürtünme katsayısı değeri elde edilmiştir. Sürtünme kuvvetini daha da arttırmak için yüzeyin pürüzleştirilmesi çalışması yapılmıştır. Bu amaçla 12 mm çapında 3 ağızlı köşe yuvarlatmalı alüminyum işleme frezesi kullanılarak pürüz oluşturma denemeleri yapılmıştır. Denemeler, daha önce mengene gövdesi kütüğünden şerit testere makinasında kesilmiş 7000 serisi alüminyum parçalara uygulanmıştır. 2 adet parçanın toplam 4 yüzeyi işlenmiştir. 3 yüzey alüminyum frezeyle işlenirken, bir yüzey 6 mm çapında küre parmak freze ile yüksek ilerleme hızında işlenmiştir. Parmak freze yüzey işleme stratejisine göre, köşe radiuslu freze taban finışı stratejisine göre programlanmıştır. Parçalar tezgâha mengene ile bağlanmıştır. İşlenen 2 parçanın ön ve arka yüzeyleri Şekil 4.27' de gösterilmektedir.



Şekil 4.27 Yüzey pürüzlülük denemeleri yapılan parçalar

Parçaların yüzey pürüzlülük değerleri TIME TR100 Portatif Yüzey Pürüzlülük Ölçüm cihazıyla Şekil 4.28’de gösterildiği gibi ölçülmüştür.

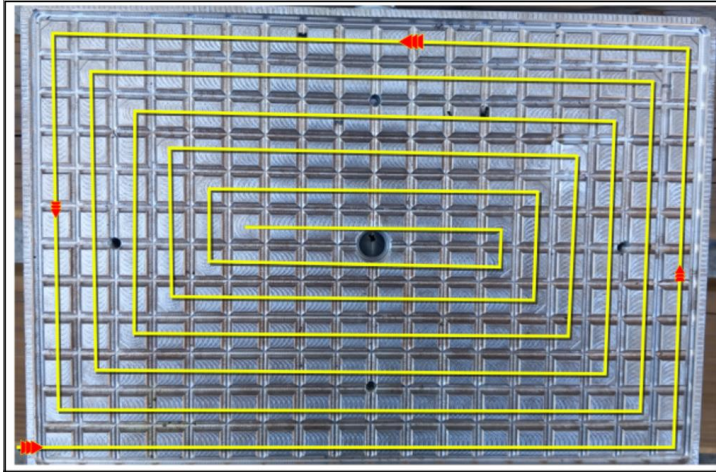
Cihaz Şekil 4.28’de solda gösterilen yan tarafındaki açma kapama tuşundan açılmaktadır. Ölçüm genişliği λ tablosundan λ_3 ’ün karşılığı 2,5 mm olarak seçilmiştir. Test cihazı sağda gösterildiği gibi parça üzerine oturtulmuştur. Ölçümler parçaların işlenmiş yüzeylerindeki seçilmiş 5 noktadan yapılmış ve değerler not edilmiştir.



Şekil 4.28 Yüzey pürüzlülük cihazı ve pürüzlülük ölçümlerinin yapılması

Kesici takım ve kesme parametrelerinin belirlenmesinin ardından, WorkNC programıyla Şekil 4.29’da sarı renkle gösterilen köşeli spiral takım yolu oluşturulmuştur. Programlar

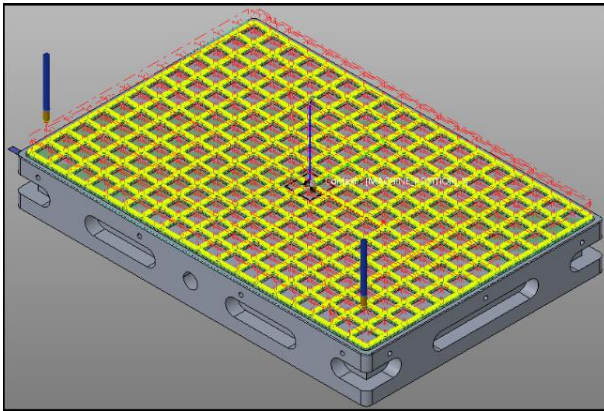
tezgâh hafızasına atılmış ve takım, programlandığı üzere ada yüzeylerini tek seferde geçecek şekilde çalıştırılmıştır.



Şekil 4.29 Yüzey pürüzleştirme çalışmasında kesici takımın izlediği takım yolu

4.7.1.2. Conta

Sürtünme kuvveti değeri, sürtünme yüzeyine dik olarak etkiyen kuvvetle doğru orantılıdır. Tutma sırasında iş parçası ile mengene arasında sıkışan conta, iş parçasına bir kuvvet etki ettirir. Bu kuvvet sürtünme yüzeyine etki eden dik basma kuvvetine ters yöndedir ve düşey bileşke kuvvetin değerini düşürür. Sıkışan contaya yayılma alanı kazandırmak ve bu sayede sıkışmaya ters yönde oluşan tepki kuvvetini azaltmak amacıyla ada üst yüzeyi köşelerine 0,6 mm, 45 ° pah kırılmıştır. Pah kırma işlemi 4 mm çaplı karbür küre freze ile 3200 dev/dk dönme hızında, 5000 mm/dk ilerleme hızında ve 0,08 mm yana kayma ile yapılmıştır. Takım yolu Şekil 4.30’da gösterilmiştir.



Şekil 4.30 Pah kırma işleminde kesici takımın izlediği yol

4.7.2. Conta deformasyonu

Vakum mengenenin CNC tezgahında kullanılmasında, henüz ilk denemelerden sonra contanın bazı noktalarında kaçağa neden olabilecek deformasyonlar görülmüştür. Bu deformasyonların, contanın mengene kanalında 90° dönüş yaptığı keskin yan ada yüzeyi köşelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Deformasyonun önüne geçmek ve conta ömrünü arttırmak amacıyla ada köşelerine 0,2 mm radius açılmıştır. Bu işlemler pah kırma çalışmasında kullanılan malzeme ve parametrelerle gerçekleştirilmiştir.

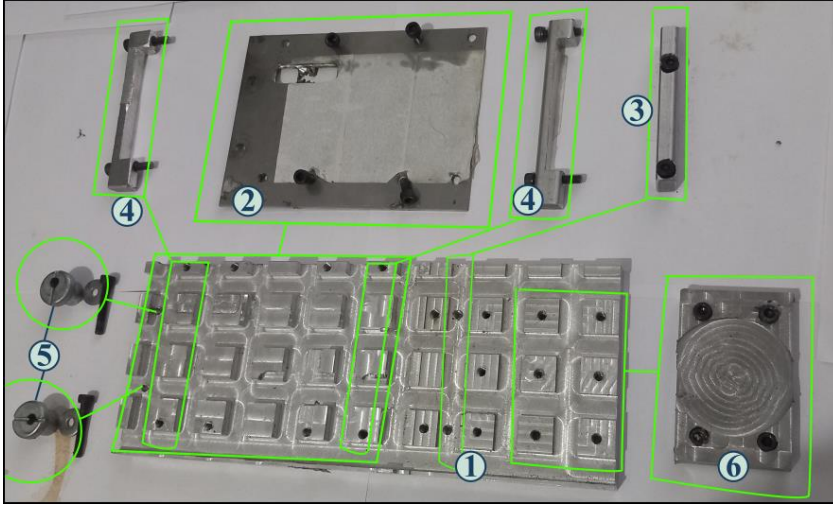
4.8. Son Deneyler

İyileştirme çalışmalarının ardından, imalat sonrasında yapılan “yüzey teması, basınç kontrolü” ve “vakum mengene kullanılarak parça işlenmesi” testleri aynı şekilde tekrarlanmıştır. Ardından “titreşim”, “yüzey pürüzlülüğü” ve “çekme” testleri gerçekleştirilmiştir.

4.8.1. Titreşim

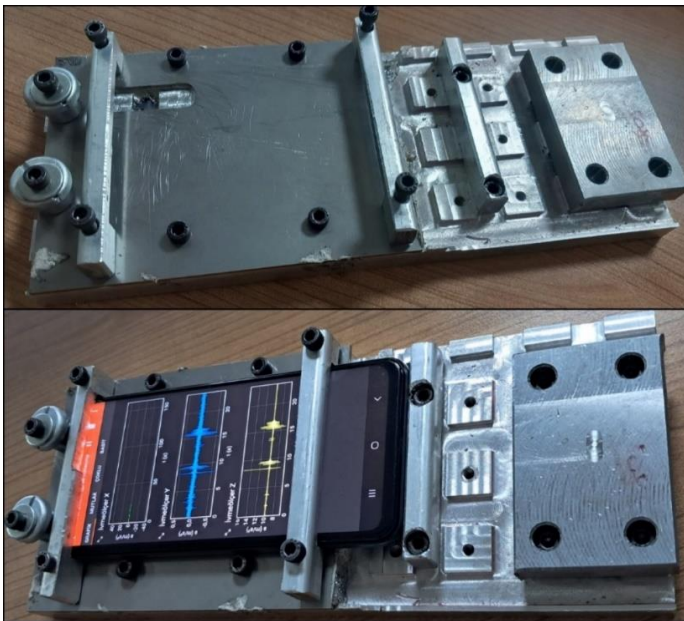
Titreşim testlerinin amacı talaşlı imalat sırasında iş parçasına etkiyen kesme kuvvetlerinin iş parçasında oluşturduğu titreşim hareketin incelenmesidir. Aşırı titreşim kesici takımın ömrünü azaltmakta ve işlenen yüzeyin yüzey kalitesini düşürmektedir. Titreşim testleri iş parçası üzerine yerleştirilen bir sensör yardımıyla yapılmıştır. Testler hem vakum mengene hem de normal mengenede aynı parametrelerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen titreşim verisi sonuçları karşılaştırılmıştır. Verilerin Analizi Matlab R2024a programıyla yapılmıştır.

Uygulanan testlerde anlık olarak titreşimi ölçme gibi bir ihtiyaç duyulmamıştır. Bu nedenle veriler, ölçümü yapan sensör cihazı üzerine kaydedilmiştir. Deney bittikten sonra sensör cihazı sökülmüş, veriler alınmış ve analizi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde titreşimin ölçülmesinde Samsung Galaxy A13 cep telefonunun ivmeölçer sensörü kullanılmıştır. Telefonun boyutu piyasada genel olarak kullanılan sensör boyutlarından büyüktür. Bu nedenle parçaya uygulanacak titreşimin sağlıklı bir şekilde ölçülebilmesi için, iş parçasının ve telefonun üzerine yerleştirileceği özel bir titreşim ölçümü aparatı üretilmiştir. Aparatın parçalarına ayrılmış görseli Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31 Titreşim testi aparatının parçalarına ayrılmış görseli

Parçaların üretiminde universal freze tezgâhı ve el aletleri kullanılmıştır. Şekil 4.31'deki 1 numaralı parça alüminyumdan olup, titreşim sensörünü ve iş parçasını barındırır. Üzerinde farklı derinliklerde metrik 4 diş çekilmiş delikler vardır. 2 numaralı krom sac, telefonu üzerine yerleştirmek ve sabitlemek için kullanılır. 3 numaralı alüminyum parça, telefonu 5 numaralı silindirik parçalar yardımıyla sıkıştırır. 4 numaralı alüminyum parçalar, telefonu x ekseninde sabitlerken, 6 numaralı parçalar cıvatalarla yerleştirilir. Test aparatı vakum mengene üzerine yerleştirilmiş ve vakum sağlandığında sabitlenmiştir. Aparatın telefonlu ve telefonsuz görüntüsü Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



Şekil 4.32 Titreşim ölçme aparatı montajlı görüntüsü

Telefonun ivmeölçer sensörüne erişim ve veri kaydı “phyphox” android uygulaması ile yapılmıştır. Uygulama, telefonun sensörlerine erişim ve sensör verisi kaydı imkânı sağlamaktadır. Telefonun ve phyphox uygulamasının cihaz bilgisi sekmesinden elde edilen ivmeölçer sensörü özellikleri Tablo 4.8’ de gösterilmektedir.

Tablo 4.8 Testlerde kullanılan telefon ve ivmeölçer sensörünün teknik özellikleri

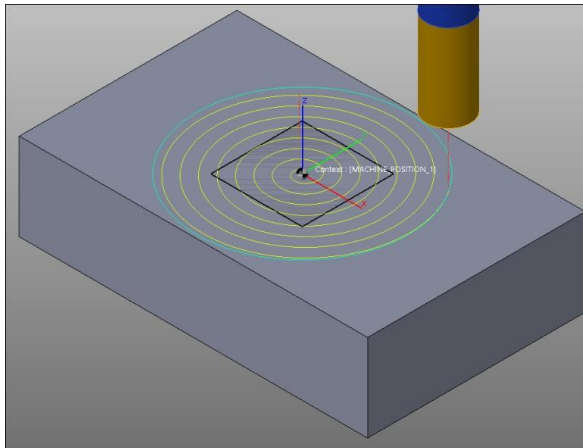
Samsung Galaxy A13 Telefon	
Boyutlar (mm)	165,1 x 76,4 x 8,8
Ağırlık (g)	195
Ekran koruması	Corning Gorilla Glass 5
İşletim sistemi	Android 12, up to Android 13, One UI 5.1
LIS2DLC12 İvmeölçer Sensörü	
Ölçüm aralığı	78,4532 m/s ²
Minimum gecikme	5000 μ s
Maksimum gecikme	160000 μ s
Güç	0,15 mA
Satıcı	STM
Versiyon	15932

Tezgâh, mengene, aparat ve telefonun hazırlanmasının ardından testlere vakum mengenede 1050 imalat iş parçasının işlenmesiyle başlanmıştır. Telefonda Phyphox uygulaması açılmıştır. “Yer çekimi (g) ile hızlanma” sekmesi seçilmiş, kayıt tuşuna basılmış ve ölçüme başlanmıştır. CNC tezgahına start verilmiş ve parça işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Kayıt durdurulmadan imalat iş parçasına 2 farklı kesme hızında ve 3 farklı kesme derinliğinde toplamda 6 adet test uygulanmıştır, ardından kayıt durdurulmuş ve veri dosyası isimlendirilmiştir. Her bir iş parçası, aynı boyda bağlanmış daha önce kullanılmamış yeni bir kesici takımla işlenmiştir. İmalat iş parçasının testleri bitince sökülmüş ve alüminyum iş parçası bağlanıp yeni kayda başlanmıştır ve aynı işlemler alüminyum iş parçasına uygulanmıştır. Vakum mengene testleri bittikten sonra belirtilen tüm işlemler freze mengenesi kullanılarak tekrarlanmıştır. Testlerde kullanılan tüm parametreler Tablo 4.9’da verilmektedir.

Tablo 4.9 Titreşim testi kesme parametreleri

İmalat İş Parçası, Kesme Hızı: 100 m/dk	
Dikey Adım (mm)	0,12
Devir (rpm)	3183
İlerleme hızı (mm/dk)	1910, 2546, 3183
İmalat İş Parçası, Kesme Hızı: 75 m/dk	
Dikey Adım (mm)	0,12
Devir (rpm)	2387
İlerleme hızı (mm/dk)	1432, 1910, 2387
Alüminyum İş Parçası, Kesme Hızı: 110 m/dk	
Dikey Adım (mm)	0,12
Devir (rpm)	3501
İlerleme hızı (mm/dk)	2100, 2800, 3501
Alüminyum İş Parçası, Kesme Hızı: 85 m/dk	
Dikey Adım (mm)	0,12
Devir (rpm)	2705
İlerleme hızı (mm/dk)	1623,2164, 2705

WorkNC ile yapılan CAM programında tek pasoda kesimin yapıldığı spiral taban kesimi metodu stratejisi kullanılmıştır. Takım malzemeye bir kere giriş yapmış ve hiç kalkış yapmadan hareketini sürdürmüş, dolayısıyla da kesintisiz bir titreşim profili elde edilmiştir. Takım yolu Şekil 4.33'te gösterilmektedir.

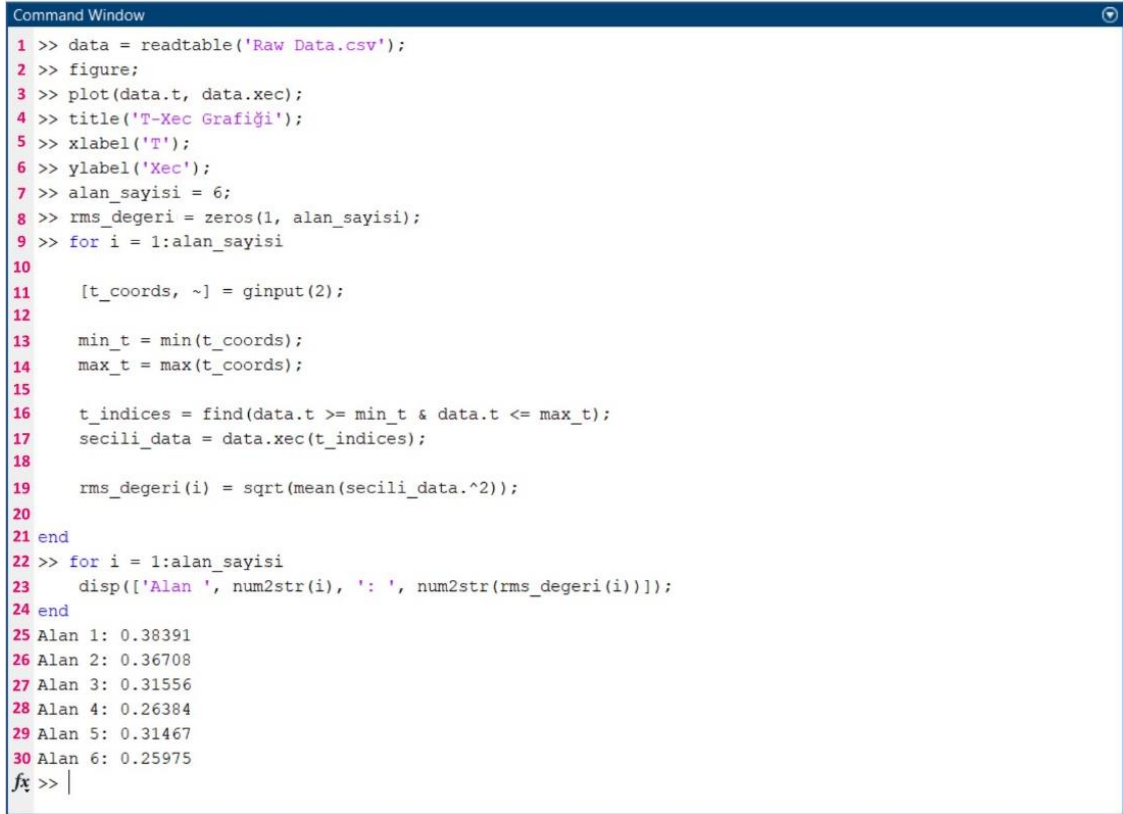


Şekil 4.33 Titreşim ölçüm denemelerinde kullanılan takım yolu

Sistemlerin titreşim analizleri RMS değerlerinin bulunmasıyla yapılabilmektedir. RMS büyüklüğü titreşim enerjisi ile ilgilidir. Üç eksen için RMS ivme frekansının karekök toplamıdır (Arıtan & Tümer, 2018). Bu çalışmada deneylerden elde edilen titreşim

verilerinin, vakum mengene ve freze mengenesinin titreşim özelliklerinin karşılaştırılmasında kullanılabilmesi için RMS hesabı yapılmıştır.

Matlab uygulamasından komut satırı açılıp uygulama ekranındaki “mevcut klasör” kısmından, veri dosyalarının kayıtlı olduğu dizin açılmıştır. RMS değerlerinin hesaplanmasında kullanılan kodlar Şekil 4.34’te gösterilmektedir.



```
Command Window
1 >> data = readtable('Raw Data.csv');
2 >> figure;
3 >> plot(data.t, data.xec);
4 >> title('T-Xec Grafiği');
5 >> xlabel('T');
6 >> ylabel('Xec');
7 >> alan_sayisi = 6;
8 >> rms_degeri = zeros(1, alan_sayisi);
9 >> for i = 1:alan_sayisi
10
11     [t_coords, ~] = ginput(2);
12
13     min_t = min(t_coords);
14     max_t = max(t_coords);
15
16     t_indices = find(data.t >= min_t & data.t <= max_t);
17     secili_data = data.xec(t_indices);
18
19     rms_degeri(i) = sqrt(mean(secili_data.^2));
20
21 end
22 >> for i = 1:alan_sayisi
23     disp(['Alan ', num2str(i), ': ', num2str(rms_degeri(i))]);
24 end
25 Alan 1: 0.38391
26 Alan 2: 0.36708
27 Alan 3: 0.31556
28 Alan 4: 0.26384
29 Alan 5: 0.31467
30 Alan 6: 0.25975
fx >> |
```

Şekil 4.34 Matlab’da RMS değerlerinin hesaplanmasında kullanılan kod

4.8.2. Yüzey pürüzlüğü

Yüzey pürüzlüğü deneyleri standart mengene ve vakum mengeneyle işlenen parçaların yüzey kalitelerinin karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. İmalat çeliği ve alüminyum malzemeler hem vakum mengene hem de normal mengenede aynı kesme parametrelerinde işlenmiştir. Testlerde 10 mm çaplı, 0,5 mm köşe radyüslü parmak freze kullanılmıştır. İşlenmiş yüzeylerin 5 noktasından R_a ve R_z değerleri TIME TR100 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. Her ölçüm noktasında ölçüm cihazı hareket ettirilmeden 5 er ölçüm yapılmıştır. Bu 5 ölçümün ortalaması alınarak tablolar oluşturulmuştur. Ölçüm mesafesi cihazın kullanım kılavuzundan yararlanılarak 0,8 mm seçilmiştir. Kullanılan ölçüm cihazının teknik özellikleri Tablo 4.10’ da verilmiştir

Tablo 4.10 TIME TR100 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı teknik özellikleri

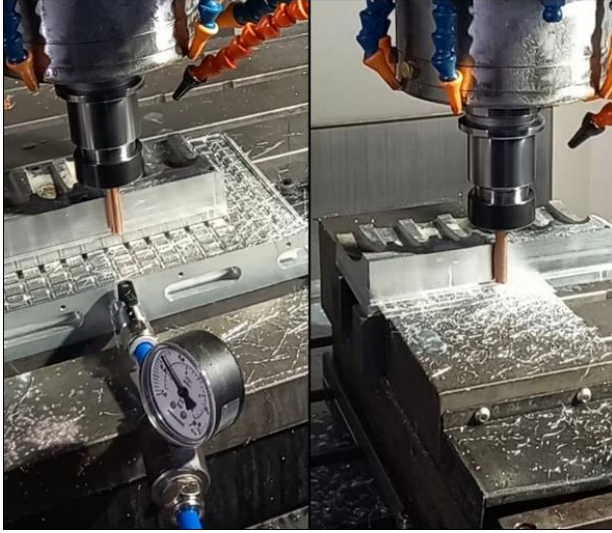
Ölçülebilen parametreler:	R _a , R _z
Ölçüm aralığı:	R _a : 0,05-0,015µm R _z : 0,1-50µm
Filtre:	RC
Hareket mesafesi:	6 mm
Hareket hızı:	1,0 mm/s
Hassasiyet:	ISO Class 3
Dedektör ucu:	Elmas
Radyüs:	10µm +/- 2,5µm
Güç:	3,6V
Boyutlar:	125 x 73 x 26 mm
Ağırlık:	200 g

Örneklem aralıkları, işlenen yüzey uzunluğunun ölçüm alınan nokta sayısının bir fazlasına bölünmesi ile bulunmuştur. İşlenen yüzey uzunluğu 90 mm ve nokta sayısı 5 olduğundan örneklem aralığı 15 mm seçilmiştir. Alüminyum ve imalat çeliği iş parçalarının işlenme parametreleri Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11 Yüzey pürüzlülüğü testlerinde uygulanan kesme parametreleri.

İş parçası malzemesi	Kesici takım çapı (mm)	İşleme stratejisi	İlerleme hızı (mm/dk)	Devir sayısı (dev/dk)	Kesme Derinliği
1050 İmalat Çeliği	10	Taban finışı	1200	2900	0,1
Alüminyum	10	Taban finışı	1300	3500	0,08
Alüminyum	10	Duvar finışı	1200	5000	0,07 (x) 30 (y)

Örnek olarak duvar finışı yüzey pürüzlülüğü denemeleri Şekil 4.35’te gösterilmektedir.



Şekil 4.35 Mengene ve vakum tutucuda yüzey pürüzlüğü duvar finışı testleri

4.8.3. Çekme

Vakum kaynağından elde edilen vakum sayesinde iş parçasını tablaya doğru bastıran bir kuvvet elde edilmektedir. Bu kuvvetin ve sistemdeki kaçaklar nedeniyle oluşabilecek dikey kuvvet düşüşlerinin tespiti için çekme deneyleri yapılmıştır. Deneyler SAMLAB firmasında INSTRON 5982 Üniversal test makinesinde gerçekleştirilmiştir. Vakum tablanın test cihazına bağlanabilmesi için özel bir aparat üretilmiştir. Çekme deneyi görseli Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.36 Vakum mengene çekme deneyi

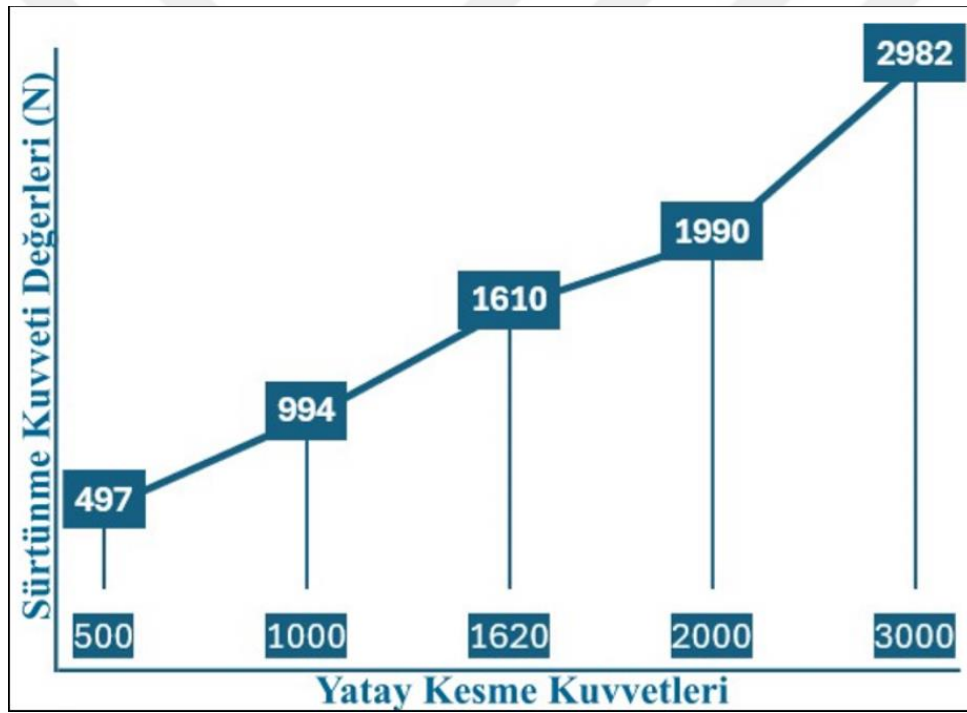
Kullanılan iş parçası boyutu 115 x 115x 10 mm'dir. Teste başlandığı andan itibaren iş parçası yukarı yönde çekilmiştir. Test süresince çekme kuvveti ve parça hareketi takip edilmiştir. Ani bir hareket tespit edildikten sonra çekme durmuştur. Deney süresi boyunca elde edilen verilerden kuvvet – uzama ve gerilme – birim uzama grafikleri elde edilmiştir.



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Statik Analiz

Solidworks Simulations statik analiz modülüyle yapılan analiz sonuçları, Şekil 5.1’de gösterilen grafikte özetlenmiştir. Grafik, yatay kesme kuvveti değerlerine karşılık gelen sürtünme kuvveti değerlerini göstermektedir. Görüldüğü gibi, sürtünme kuvveti yatay kuvvetten 3-10 N daha düşüktür. Bu fark, yatay kuvvetin bir kısmının iş parçası ve vakum mengenede oluşan elastik şekil değişimine harcanmasından kaynaklanmaktadır. Yatay kuvvet arttıkça elastik şekil değişimi de artarak bu farkı büyötmüştür. Yatay kuvvet 3500 N ve üzerine çıktığında, parça hareket etmeye başladığından simölasyon hata vermiştir.

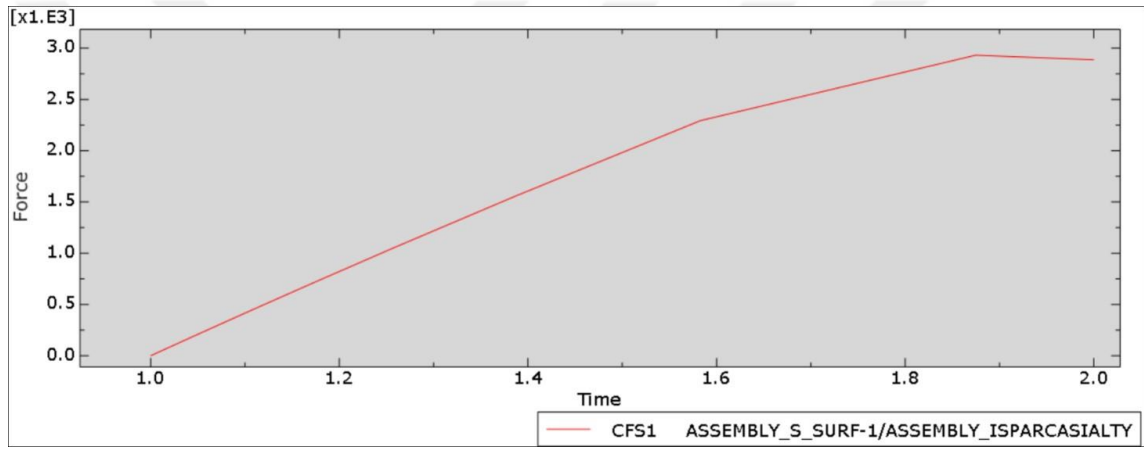


Şekil 5.1 İş parçasına uygulanan yatay kuvvet neticesinde oluşan sürtünme kuvveti değerleri

Literatür araştırmasında talaşlı imalat sonucunda elde edilen en yüksek kesme kuvveti değeri 1612,45 N olarak referans alınmıştı. Analiz sonuçlarına göre, vakum mengene 3000 N'a kadar olan kuvvetlerde parçayı güvenli bir şekilde tutabilmektedir. Bu bulgular, yapılan tasarım tercihlerinin parça tutma açısından yeterli olduğunu göstermektedir.

5.2. Yarı Statik Analiz

Yarı statik analiz sonucunda elde edilen grafik Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Grafikte Y eksenini işlem adımlarını içermektedir: 0-1 arası birinci adımı, 1-2 arası ise ikinci adımı göstermektedir. İlk adımda iş parçasında hareket olmadığı için sürtünme kuvveti sıfırdır; bu adımda parçaya herhangi bir kuvvet uygulanmamaktadır. İkinci adımın başlangıcından itibaren, harekete bağlı olarak sürtünme kuvvetinde bir artış görülmektedir. İkinci adımın sonlarına doğru sürtünme kuvveti maksimum değeri olan yaklaşık 2931 N'a ulaşır ve sabitlenir. Bu noktadan itibaren parça hareket etmeye başlayacak ve kinetik sürtünme katsayısı devreye girecektir. Kinetik sürtünme katsayısı statik sürtünme katsayısından düşük olduğu için sürtünme kuvveti değeri de düşecektir.



Şekil 5.2 Yarı statik analiz ile elde edilen sürtünme kuvveti değişim grafiği

Elde edilen maksimum sürtünme kuvveti, bu çalışmada referans alınan maksimum kesme kuvveti değerinden yüksek olduğu için tasarım parametrelerinin parçayı tutmak için yeterli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

5.3. Matematiksel Doğrulama

Analizlerin doğrulanması matematiksel hesaplamalarla yapılmıştır. Tasarlanan vakum mencesi için vakum alanı 57.232 mm² olarak hesaplanmıştır. Bu alan, 0,8 bar (0,08 N/mm²) vakum basıncı ile çarpıldığında, 4.578,56 N'lık bir dikey kuvvet elde edilmektedir. Alüminyum ve imalat çeliği ile kaplanmış malzeme yüzeyleri arasındaki statik sürtünme katsayısı, (Santos vd., 2017) tarafından 0,45 olarak belirlenmiştir. 4.578,56 N'lık dikey kuvvet, 0,45'lik sürtünme katsayısı ile çarpıldığında, 2.060,35 N'luk bir sürtünme kuvveti elde edilmektedir. Bu değer, literatürde referans alınan en yüksek

kesme kuvveti olan 1.612,45 N'dan fazladır. Matematiksel hesaplama, vakum mengenesi tasarımının yeterli olduğunu doğrulamaktadır.

5.4. Vakum Basıncı ve Yüzey Teması

Pompa çalıştırıldıktan sonra, vakum basıncının 1 saniyeden kısa bir sürede 0,95 bara ulaştığı ve çalışma süresince sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Bu, sistemde kaçak olmadığını ve yeterli vakum basıncının sürekli sağlanabildiğini göstermektedir. Pompa, bir dakika sonra durdurulmuştur. İş parçası söküldüğünde, alt yüzeyde temas boyasının yeterince bulaşmadığı fark edilmiştir.

Temasa engel olan tek unsur, parça ve mengene arasında yer alan conta'dır. 70 shore sertliğindeki conta, yeterli elastik şekil değişimine uğrayamadığı için, iş parçasına ters yönde bir kuvvet uygulamaktadır, bu da yüzeylerin tam temasını engellemektedir. Sünger conta kullanıldığında ise basınç düşüşü yaşanmamış ve yüzey teması sağlanmıştır. Şekil 5.3'te sünger ve gözeneksiz contaların kullanımına bağlı olarak oluşan yüzey temaslarının görselleri yer almaktadır. Bu sonuçlara dayanarak, vakum mengenede sünger conta kullanımına karar verilmiştir.



Şekil 5.3 Kullanılan contanın yüzey temasına etkisi

5.5. Vakum Mengene ile Talaşlı İmalat

Vakum mengene, imalatının yapılmasından hemen sonra tutma testlerine tabi tutulmuştur. Testler sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.1'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1 İlk prototipin parça tutma kabiliyeti

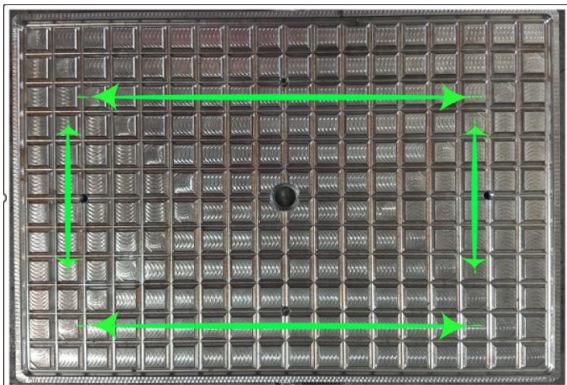
İş parçası malzemesi	İş parçası boyutluları (mm)	İlerleme hızı (mm/dak)	Devir sayısı (dev/dak)	Kesme derinliği (mm)
1050 İmalat Çeliği	100 x 160	1000	5000	0,07
Alüminyum		1500	3500	0,13

İmalat çeliği iş parçasının işlenmesinde, kesme derinliği 0,07 mm'den 0,09 mm ye çıkarıldığında, parçanın komparatöründe %0,02'lik bir bozukluk meydana geldiği ölçülmüştür. Benzer şekilde alüminyum iş parçasının işlenmesinde ilerleme hızı 2000 mm/dak değerine yükseltildiğinde, iş parçasının komparatöründe %0,06 oranında bozulma meydana gelmiştir.

Tablo 5.1'deki kesme parametreleri altında kullanılan vakum mengene, talaşlı imalat operasyonlarında kullanılabilir. Ancak geleneksel mengene kullanıldığında kesme derinliği ve ilerleme değerleri 2-3 kat artabilmektedir. Bu işleme süresi bakımından kullanıcılara önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu nedenle tasarlanan vakum mengenenin parça tutma kabiliyetinin geliştirilerek daha yüksek kesme parametrelerinde kullanımına imkân verecek şekilde revizyonu yapılmıştır.

Bu kapsamda, mengene yüzeyine pürüz oluşturulması için gerekli olan kesme parametreleri 12 mm çaplı alüminyum işleme frezesi kullanılarak; 8000 mm/dak ilerleme hızı, 4000 rpm devir ve 0,2 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir

Yüzey pürüzleştirme çalışması sonrasında mengene üst yüzeyi görüntüsü Şekil 5.4'te gösterilmektedir



Şekil 5.4 Vakum mengene pürüzlü üst yüzeyi

Yüzeyde oluşan dalgalı şekilli pürüz çizgileri farklı adalarda 4 ayrı yönde uzanmaktadır. Bu farklı yönlenme sayesinde yeşil çizgiler ile gösterildiği gibi, iş parçasına her yönde sürtünme kuvveti oluşturulması sağlanmıştır. Pürüz çalışması öncesi ve sonrası yüzey görüntüsü Şekil 5.5’te gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Pürüzleştirme öncesi ve sonrası mengene yüzeyleri arasındaki fark

Pürüzleştirme, pah kırma ve conta deformasyonu azaltma çalışmalarının ardından Tablo 4.7’ deki işleme parametreleri kullanılarak tutma testleri tekrarlanmıştır. İyileştirme çalışmaları sonrasında yapılan testler sonucunda vakum mengenenin ölçülen tutma kabiliyeti Tablo 5.2’de gösterilmektedir.

Tablo 5.2 İyileştirme çalışmalar sonrasında vakum mengenenin tutma kabiliyeti

İş parçası malzemesi	İş parçası boyutluları (mm)	İlerleme hızı (mm/dk)	Devir sayısı (dev/dk)	Kesme derinliği (mm)
1050 İmalat Çeliği	100 x 160	2500	4500	0,15
Alüminyum	100 x 160 m	2500	4500	0,35

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de gösterilen kesme parametresi değerlerinin karşılaştırmasının yapıldığı Tablo 5.3’te iyileştirme çalışmalarının etkisi gösterilmiştir. İyileştirme çalışmaları neticesinde imalat çeliği iş parçasının işlenmesinde ilerleme değerinde %250, kesme derinliği değerinde %214 artış elde edilmiştir. Alüminyum iş parçasında ise ilerleme değerinde %166, kesme derinliği değerinde %269 artış elde edilmiştir.

Tablo 5.3 İyileştirme çalışmaları öncesi ve sonrasındaki kesme parametresi değerlerinin karşılaştırılması

İş parçası malzemesi	Başlangıçtaki ilerleme hızı (mm/dk)	Nihai ilerleme hızı (mm/dk)	Başlangıçtaki kesme derinliği (mm)	Nihai kesme derinliği (mm)
İmalat Çeliği	1000	2500	0,07	0,15
Alüminyum	1500	2500	0,13	0,35

Bu değerler normal mengene kullanılarak yapılan talaş imalat parametrelerine oldukça yakın değerlerdir. İyileştirme çalışmaları ile yapılan ön testlerde vakum mengenesinin kullanılması ile imalat iş parçalarında 0,15 mm, alüminyum iş parçalarında 0,35 kesme derinliklerinde çalışılabileceği sonucuna varılmıştır.

5.6. Titreşim

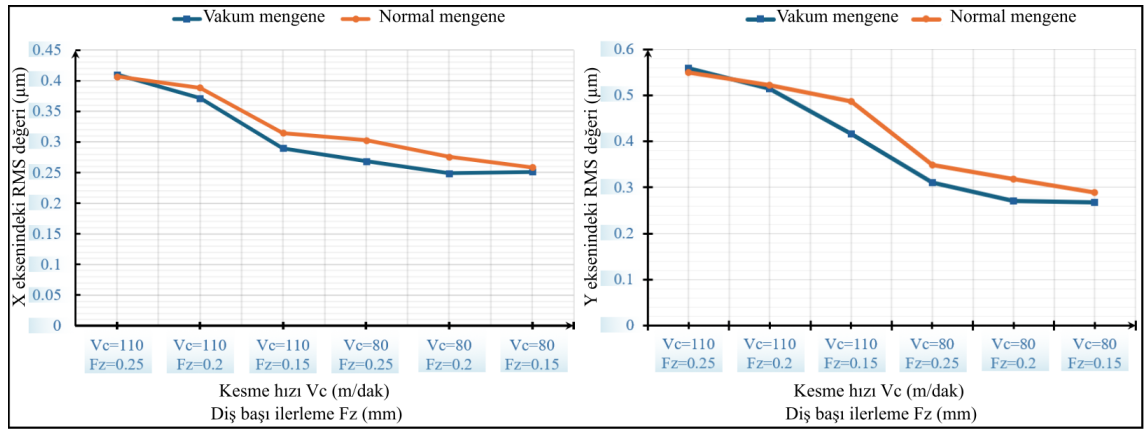
Talaş kaldırma sırasında tezgahlarının titreşimi sönümleme kabiliyetleri düşüktür. Kesme parametreleri ideal değerlerde tutulduğu işlemlerde kaldırılan talaş ölçüleri sabit olduğu için herhangi bir titreşim meydana gelmemektedir. Ancak kesme parametreleri arttırıldığında titreşimler oluşur ve parça yüzeyinde dalgalanmalar meydana gelir. Bir sonraki pasoda, bu dalgalı yüzeylerin tekrar kesilmesi durumunda titreşimler devam eder(Mendi & Külekçi, 2001). Sönümleme, dinamik sistemlerde mekanik enerjinin, genellikle iç termal enerjiye dönüştürülerek soğurulması olayıdır. Kesici takımındaki sönümleme kuvvetleri, takım ile dalgalı parça yüzeyi arasında oluşmaktadır. (De Silva, 2007). Vakum mengene ve klasik mengenelerde titreşimin sönümlemesi, iç sönümleme yolu ile gerçekleşmektedir.

Sfero dökme demirden üretilmiş freze mengenesi ve 7075 alüminyum alaşımından üretilmiş vakum mengene kullanılarak CNC freze tezgahına bağlanan 1050 imalat çeliği ve alüminyum iş parçalarından aynı kesme parametrelerinde talaş kaldırılmış ve bu esnada titreşim değerleri ölçülüp kaydedilmiştir. Bu titreşim değerlerinden yardımcı programlar yardımıyla elde edilen RMS değerleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

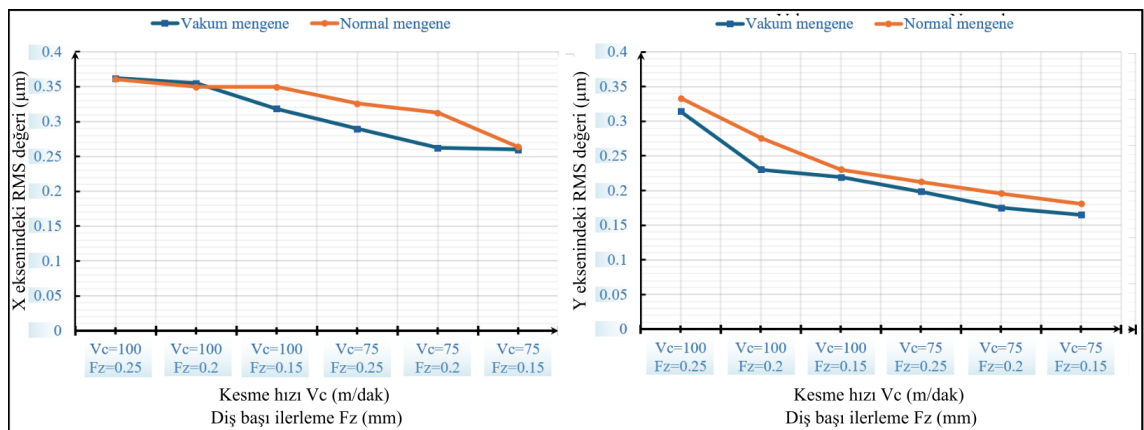
Tablo 5.4 Titreşim deneyinden elde edilen RMS değerleri

	X EKSENİ							Y EKSENİ						
		Vc=110 Fz=0.2	Vc=110 Fz=0.25	Vc=110 Fz=0.15	Vc=80 Fz=0.2	Vc=80 Fz=0.25	Vc=80 Fz=0.15		Vc=110 Fz=0.2	Vc=110 Fz=0.25	Vc=110 Fz=0.15	Vc=80 Fz=0.2	Vc=80 Fz=0.25	Vc=80 Fz=0.15
	ALÜMİNYUM													
	Vakum Tablası	0.3713	0.4099	0.2896	0.2486	0.2685	0.2513	Vakum Tablası	0.5141	0.5590	0.4160	0.2709	0.3104	0.2681
	Mengene	0.3885	0.4066	0.3148	0.2759	0.3027	0.2589	Mengene	0.5223	0.5500	0.4877	0.3179	0.3494	0.2889
	ÇELİK													
	Vakum Tablası	0.3551	0.3624	0.3185	0.2625	0.2895	0.2600	Vakum Tablası	0.2304	0.3142	0.2194	0.1751	0.1986	0.1650
	Mengene	0.3499	0.3610	0.3499	0.3126	0.3259	0.2639	Mengene	0.2760	0.3334	0.2303	0.1959	0.2126	0.1812

Alüminyum ve imalat çeliği işlenirken titreşimin kesme parametrelerine göre değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de sunulmuştur.



Şekil 5.6 Alüminyum iş parçasının vakum mengene ve freze mengenesinde işlenmesinden elde edilen RMS değeri



Şekil 5.7 İmalat çeliği iş parçasının vakum mengene ve freze mengenesinde işlenmesinden elde edilen RMS değeri

Aynı malzemenin aynı koşullarda işlenmesi neticesinde vakum mengenede elde edilen

titreşim seviyelerinin, normal mengeninin kullanılması ile elde edilen titreşim değerlerine eşit v0065ya bu değerlerden daha küçük olduğu tüm grafiklerde görülmektedir. Kayıp faktörü, bir malzemenin enerjiyi bünyesinde dağıtabilme veya sönümleyebilme yeteneğinin bir ölçüsüdür (Mathuria & Kulkarni, 2021). Bu faktör literatürde, malzemelerin sönümleme kabiliyetlerini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. (Beards, 1996) çalışmasında farklı türden malzemelerin kayıp faktörü değerlerini tablo halinde vermiştir. Bu listeden alınmış alüminyum alaşımı, dökme demir ve çelik malzemelerin kayıp faktörü değerleri Tablo 5.5'te sunulmuştur.

Tablo 5.5 Farklı türden metallerin kayıp faktörü değerleri (Beards, 1996)

Malzeme	Kayıp Faktörü
Alüminyum alaşımları	0,0004-0,001
Çelik	0,001-0,008
Dökme demir	0,003-0,03

Tablo 5.5'te görüldüğü üzere dökme demir malzemelerin kayıp faktörü değerleri alüminyum alaşımlarının kayıp faktörü değerlerinden yüksektir. Bu nedenle dökme demirlerin titreşim sönümleme kabiliyeti, alüminyum alaşımlarınıninkinden yüksektir.

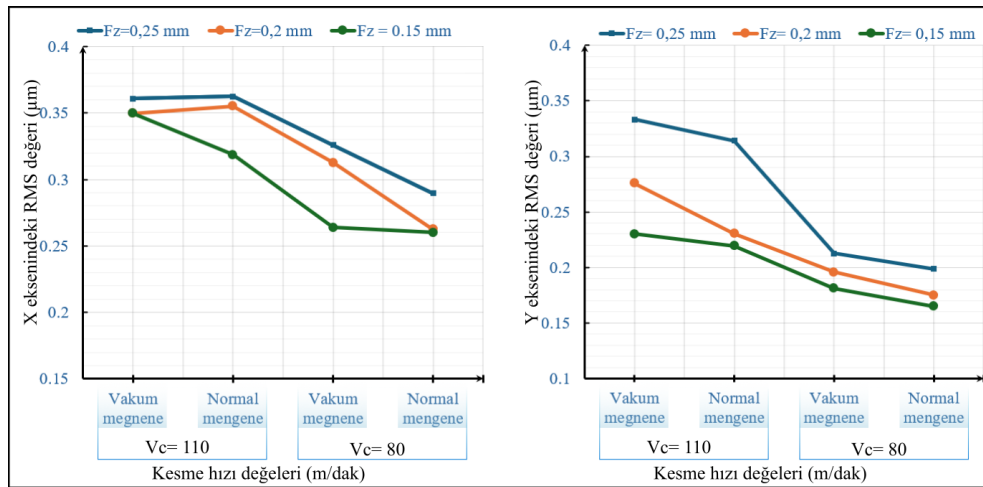
Dökme demirin katılaşması sırasında karbon elementlerinin bir kısmının, demir içine dağılması engellenebilir. Bu durumda karbon, soğuma hızına bağlı olarak farklı mikro yapılsak formlarda grafit olarak kristalleşir. Grafitin, döküm içerisinde yuvarlak formda olduğu ve dağıldığı demirlere nodüler veya sfero grafit dökme demir denilmektedir. Mikro yapıdaki deformasyon, grafitin yuvarlak formda olmasıyla düşmektedir. Grafitin yapısının büyümesi ve kabalaşmasının titreşim sönümleme kapasitesini arttırdığı görülmüştür. Bu durum, grafitin döküm içerisinde büyümeden dağıldığı sfero dökme demirin sönümleme kapasitesinin, diğer türdeki dökme demirlere göre düşük olmasına sebep olmuştur(Fox & Adams, 1973).

(Petrov & Ewins, 2006)' çalışmalarında birbirleri üzerinde kayan parçaların sönümleme kabiliyetinin, temas yüzey alanı arttıkça arttığını belirtmiştir. Vakum mengene ile daha stabil bir işleme imkânı elde edilmesinde kilit nokta budur. Vakum tabla ile bağlanan iş parçasının bağlanma yüzeyinin tamamı, vakum mengene tarafından desteklenmektedir. Parçanın alt yüzeyi boş olmadığından, salınım yapması zorlaşmaktadır. Parça ile tutucu arasında temas alanı daha geniş olduğu için, titreşimler büyük vakum mengene hacmine daha fazla ve hızlı yayılmakta, titreşim yoğunluğu azalmakta ve büyük malzeme

hacminde, titreşim enerjisini daha hızlı soğurulmaktadır. Kullanılan freze mengenesinin sfero dökme demirden imal edilmiş olması, vakum mengeneyle kıyasla titreşim sönümlenme özelliğinin daha geride kalmasında etkili olmuştur.

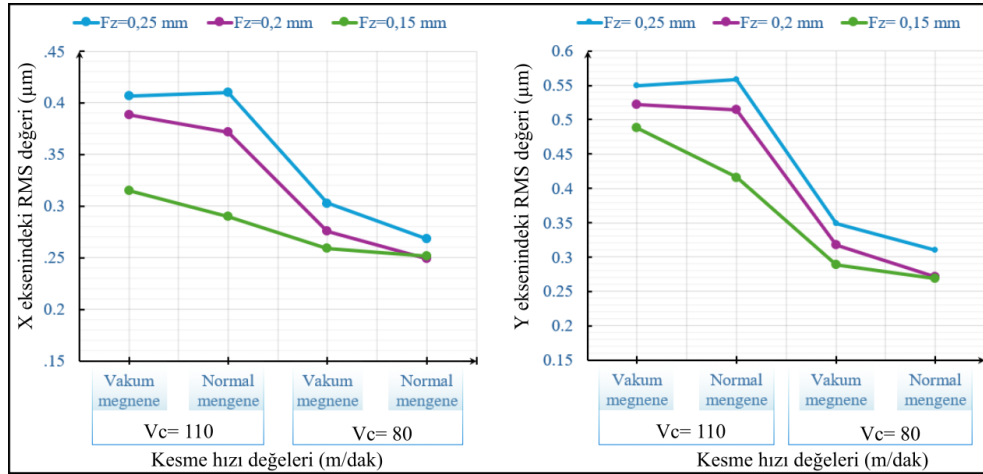
(Ab Wahab vd., 2020) ve (Ab Wahab vd., 2018) çalışmalarında sırasıyla alüminyum ve yumuşak çelik malzemeden ürettikleri vakum mengenenin kullanılmasıyla, klasik mengenenin kullanılmasına göre daha stabil bir işlemenin elde edildiğini söylemiştir. Bu değerlendirmeler ışığında malzeme özelliğinden bağımsız olarak vakum mengenelerin titreşim konusunda klasik mengeneyle göre daha stabil bir üretim işlemi sağladığı söylenebilir. (Ciurezu-Gherghe vd., 2023) çalışmalarında ince ve esnek parçaların vakum mengene kullanılarak işlenmesinde, stabil ve deformasyonun olmadığı bir talaş kaldırma işlemi gerçekleştirildiğini belirtmiştir.

Sırasıyla İmalat çeliği ve alüminyum iş parçalarının iki farklı tür tutucuda işlenmesinden elde edilen RMS değerleri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’ da gösterilmektedir. En yüksek titreşim değerleri 2,5 mm diş başı ilerleme değerinde oluşmuştur. Daha düşük diş başı ilerleme değerlerinde daha az titreşim elde edilmiştir. Aynı kesme hızlarında ve ilerleme hızlarında vakum mengenede tutulan iş parçasının titreşim değeri daha düşüktür. (Ince & Asiltürk, 2016)’ çalışmalarında frezeleme işlemlerinde ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artması ile, titreşim seviyesinin arttığı sonucuna varmıştır. Yaptığı denemeler neticesinde kesme hızının artmasının, titreşimi genel olarak azalttığını belirtmiştir. (Chandradass & Kannan, 2021) ise frezelemede belli kesme hızı değerleri arasında titreşimin minimum olduğunu, bu değer aralığının dışında ise titreşim ve tırlama meydana geleceği sonucuna varmıştır.



Şekil 5.8 İmalat çeliği iş parçasının vakum mengene ve normal mengenede sabit kesme

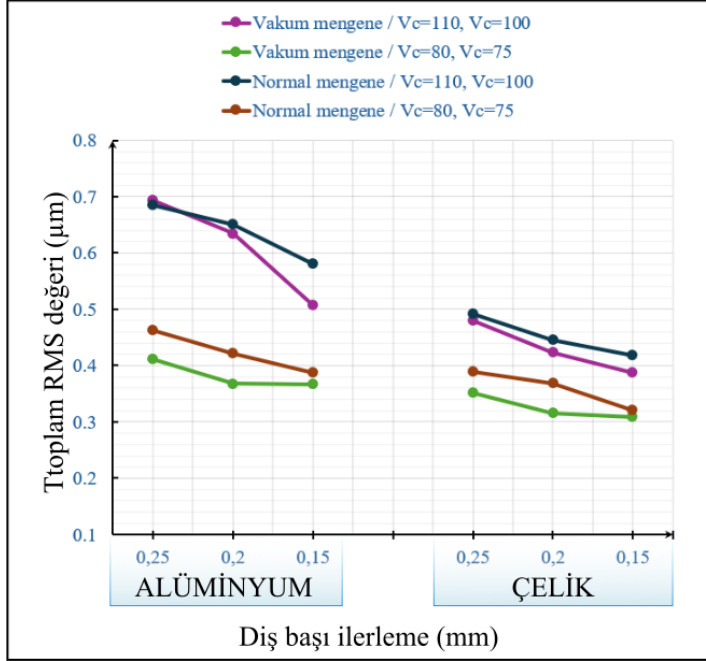
hızlarında ve üç farklı diş başı ilerleme hızında işlenmesinde elde edilen RMS grafikleri



Şekil 5.9 Alüminyum iş parçasının vakum mengene ve normal mengenede sabit kesme hızlarında ve üç farklı diş başı ilerleme hızında işlenmesinde elde edilen RMS grafikleri

Şekil 5.10 alüminyum ve imalat çeliği iş parçalarının farklı kesme ve ilerleme hızlarında işlenmesiyle meydana oluşan RMS değerleri grafik olarak gösterilmiştir. Her iki malzemenin işlenmesinde de vakum mengene ile tutulan iş parçalarında daha az titreşim olduğu bu grafikten de görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da aynı kesme hızlarında veya diş başı ilerleme değerlerinde çelik iş parçalarında titreşim seviyesinin alüminyum iş parçalarındaki titreşim seviyesinden daha düşük olduğudur. (Chryssolouris & Toenshoff, 1982) ve (Weicheng vd., 2021) çalışmalarında düşük rijitliğe sahip parçaların işlenmesinde daha fazla titreşim oluştuğunu söylemişlerdir. Bu çalışmada yapılan testlerde kullanılan 1050 imalat çeliği parçalar, alüminyum parçalardan daha rijittir. Şekil 5.10'da aynı tutucuda tutulan çelik iş parçalarının titreşim seviyesinin alüminyuma iş parçalarına göre fazla olduğu görülmektedir. Çelik iş parçalarında alüminyuma göre daha az titreşim değeri elde edilmesinin sebebi, kesilme sırasında çelik malzemenin rijit yapısı sayesinde titreşim kuvvetleri karşısında daha az şekil değişimine uğramasıdır. Testlerde kullanılan numunelerden çelik malzemelerin kalınlığı alüminyum malzemelerin kalınlığından %20 oranında fazladır. Bu durum kesme sırasında alüminyum malzemelerde oluşan salınım miktarını arttırmıştır. Tablo 5.5'te verilen kayıp faktörü değerlerin incelendiğinde, çelik malzemelerin kayıp faktörü değerinin, alüminyum alaşımlarinkinden daha fazla olduğu görülmektedir. Kayıp faktörünün artışı çelik iş parçalarında enerji sönümlemeyi arttırmıştır. Ayrıca bu çalışmada test parametrelerinin aynı olması amacıyla tek tip kesici takım kullanılmıştır. Kullanılan

kesici takım çelik malzeme işleme frezesidir. Çelik malzemelerde stabil bir işleme elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Alüminyum malzemede yüksek performans sergileyememiştir. Dinamik kesme sırasında ilk sönümlleme takım ile iş parçası yüzeyi arasında oluşmaktadır (Turkes vd., 2012). Bu nedenle aynı koşullarda işleme yapıldığında, alüminyum iş parçasında daha fazla titreşim oluşmuştur.



Şekil 5.10 Alüminyum ve çelik iş parçalarının iki farklı kesme hızında vakum mengene ve freze mengenesinde işlenmesi sonucu elde edilen RMS değerleri

5.7. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü yüzey kalitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılan en yaygın parametrelerdendir. Bu alandaki çalışmalarda kesme parametreleri (kesme hızı, kesme derinliği, radyal derinlik ve kesme hızı), kesici takım geometrisi ve malzeme türüne odaklanılmaktadır (Özsoy, 2019).

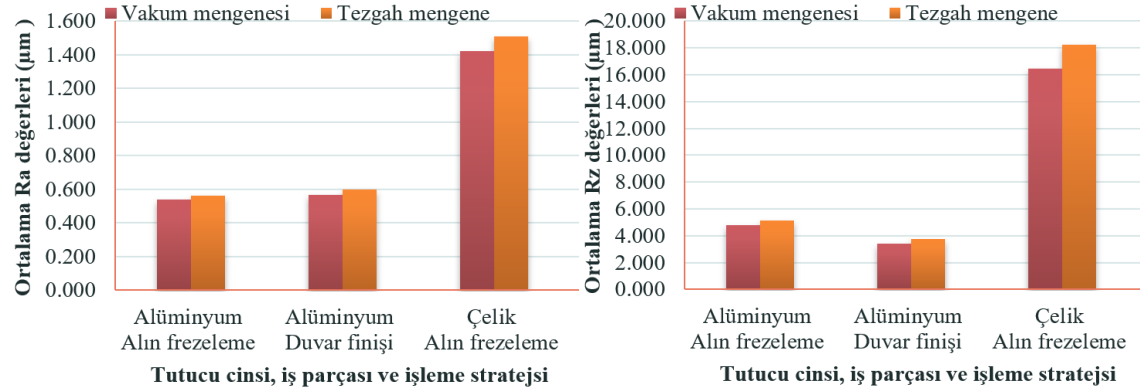
Vakum mengenenin kullanılmasının ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini ortaya koyabilmek amacıyla yapılan pürüzlülük testlerinde, klasik mengene ve vakum mengene kullanılarak CNC işleme merkezine bağlanan çelik ve alüminyum iş parçalarından aynı kesme parametrelerinde, 10 mm çapında kesici takım ile talaş kaldırılmıştır. Alüminyum iş parçası ilk olarak taban finiş stratejisi ile 1200 mm/dk ilerleme hızında 3500 rpm dönme hızında ve 0,08 mm kesme derinliğinde taban finiş stratejisi ile işlenmiştir. Ardından parçanın düşey yüzeyi duvar finiş stratejisi ile 1200

mm/dk ilerleme hızında 5000 rpm devirde, x ve y eksenlerinde sırasıyla 0,07 mm ve 30 mm kesme derinliklerinde işlenmiştir. İmalat çeliği iş parçası ise taban finışı stratejisi ile 1200 mm/dk ilerleme hızında 2900 rpm dönme hızında ve 0,1 mm kesme derinliğinde işlenmiştir. Vakum tablada ve freze mungenesinde işlenen malzemelerin yüzey pürüzlülük ölçümlerinden elde edilen veriler Tablo 5.6’da gösterilmektedir.

Tablo 5.6 Pürüzlülük deneyi ölçüm sonuçları

İşlenen malzeme cinsi	İşleme Stratejisi	Kullanılan tutucu	Devir (dev/dak)	İlerleme (mm/dk)	Kesme derinliği (mm)	Ortalama R_a değeri (μm)	Ortalama R_z değeri (μm)
Alüminyum	Alın frezeleme	Vakum mungene	3500	1300	0,08	0,541	4,776
		Freze mungenesi	3500	1300	0,08	0,564	5,14
	Duvar finışı	Vakum mungene	5000	1200	0,07(x) 30(y)	0,567	3,424
		Freze mungenesi	5000	1200	0,07(x) 30(y)	0,599	3,732
İmalat çeliği	Alın frezeleme	Vakum mungene	2900	1200	0,1	1,4242	16,356
		Freze mungenesi	2900	1200	0,1	1,51	18,236

Vakum mungene ve freze mungenesinde işlenen parçaların yüzey pürüzlülüklerinin grafik şeklinde karşılaştırılması Şekil 5.11’de sunulmuştur.



Şekil 5.11 Vakum mungene ve freze mungenesinde işlenmiş parçalarının yüzey pürüzlülük parametrelerinin karşılaştırılması

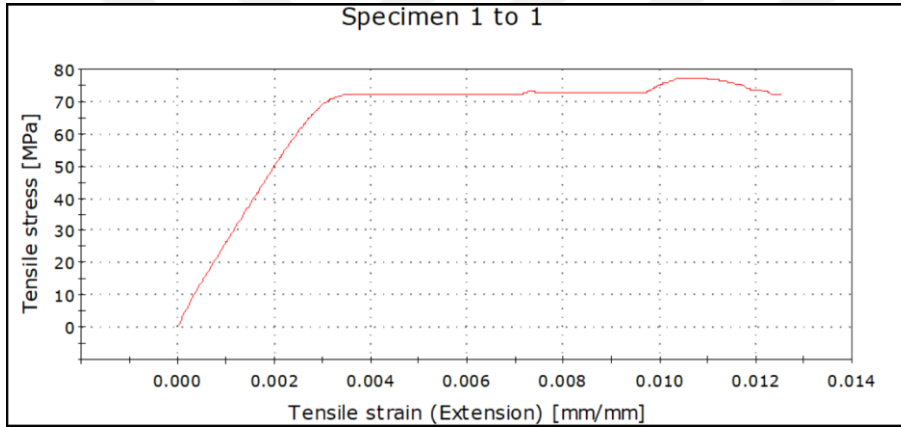
Şekil 5.11’de görüldüğü üzere vakum mungene ile işlenen iş parçaların yüzey pürüzlülük değerleri imalat çeliği malzemelerin yüzey pürüzlülük değerlerinden daha aşağıdadır.

(Ab Wahab vd., 2020) ve (Ab Wahab vd., 2018) çalışmalarında ürettikleri vakum mungeneyi parça işlenmesinde kullanarak, normal mungeneye kıyasla daha pürüzsüz iş parçası yüzeyi elde etmişlerdir. Vakum mungene ile bu titreşimin azaltılması sayesinde, daha pürüzsüz yüzey elde edildiğini belirtmişlerdir. Vakum mungene kullanılarak, imalat

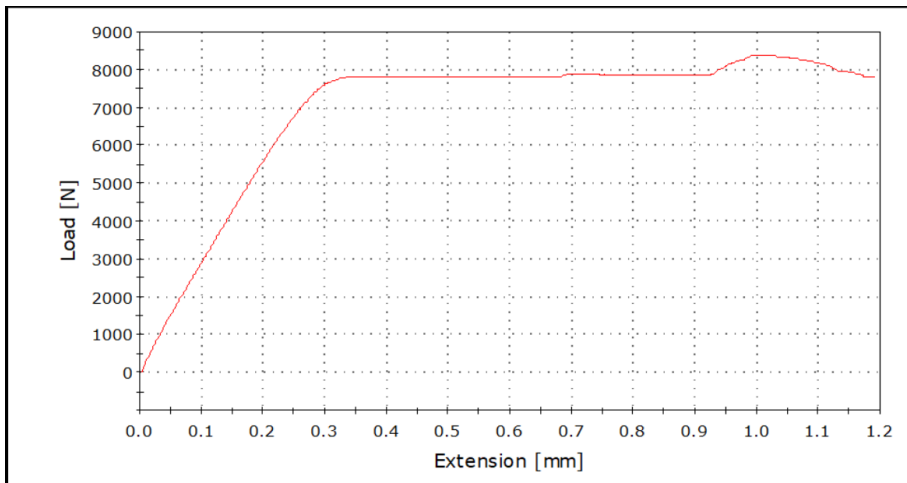
eliği malzemenin işlenmesi ile R_a değeri %6 R_z değeri %10,3 azalmıştır. Alüminyum malzemenin vakum mengene ile işlenmesinde ise R_a değerleri yaklaşık olarak %5 R_z değerleri yaklaşık olarak %7,5 oranında azalmıştır. Vakum mungenenin kullanılmasıyla daha stabil bir kesme gerçekleşmiştir. En yüksek pürz tepesiyle en düşük pürz çukuru arasındaki mesafe azalmış, bu da ortalama pürz değerinin azalmasını sağlamıştır. Tepe ve çukur ölçülerinin azalmasının sebebi, vakum mengene ve iş parçasında meydana gelen titreşimlerin azalması bu sayede de ölçü hata seviyelerinin düşmesidir.

5.8. Çekme

Çekme deneyi sonunda oluşturulan çekme gerilmesi – birim uzama eğrisi şekil 5.12’de, yük – uzama eğrisi şekil 5.13’te verilmiştir.



şekil 5.12 çekme deneyinde vakum mengeneye etkiyen gerilmenin birim şekil değiştirmeye göre değişiminin gösterilmesi



şekil 5.13 çekme deneyinde vakum mengeneye etkiyen dikey kuvvetin şekil

değiştirmeye göre değişiminin gösterilmesi

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te görüldüğü üzere vakum mengenede tutulan iş parçasına dikey yönde kuvvet uygulandığında başlangıçta kuvvet (veya gerilme) ile dikey hareket arasında lineer bir ilişki vardır. Bu durum iş parçasının yukarı yönde hareketinden kaynaklanmaktadır zira alüminyum malzemenin bu kuvvetler altındaki elastik şekil değişimi çok küçük bir değerde olacaktır. Bu durum 6500N'luk yük uygulanana kadar devam etmektedir. Bu noktadan sonra grafikteki lineerlik bozulmakta ve kuvvet sabit kalsa bile uzama devam etmektedir. Bir noktadan sonra parça tümüyle tutucudan ayrılmakta ve test tamamlanmaktadır.

Vakum mengene ile bağlanan iş parçasının işlenmesi sırasında, iş parçasına yukarı yönde etki edecek bu büyüklükte bir kuvvet oluşmamaktadır. Bu sonuçlar, vakum tutucunun düşey kuvvetler karşısında yeterli olduğunu göstermiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Vakum jeneratörü daha küçük boyutlu, daha hafif, ek elektrik bağlantısına ihtiyaç duymayan, herhangi bir basınçlı hava tesisatındaki basıncı kullanan bir elemandır. Çalışmalarda da vakum jeneratörü kullanmanın pompaya göre daha pratik olduğu görülmüştür. Vakum pompasından elde edilen vakum basıncı daha fazla olduğu için %26,6 daha fazla dikey kuvvet elde edilmektedir. Bu nedenle CNC tezgahlarında kullanılan vakum mengenelerde vakum kaynağı olarak vakum jeneratörünün kullanılması pratiklik, vakum pompasının kullanılması ise daha fazla tutma kuvveti sağlamaktadır.

Vakum mengene sistemlerinde debisi az da olsa orta kalitede bir vakum pompası ile 0,95 bar vakum basıncı elde edilebilmektedir. Debinin azalmasının dezavantajı optimum vakum basıncı değerine gelme süresinin uzamasıdır. Vakum sisteminde kaçak yoksa bu sürenin uzaması önemsizdir. Sonuç olarak, debisi 3 m³/s olan vakum kaynaklarının, sistemde kaçak olmaması durumunda vakum mengenelerde kullanılabileceği görülmüştür.

Vakum mengenelerde yüzey pürüzlülüğü, tutma kabiliyeti açısından önemli bir etkiye sahiptir. Yüzey pürüzleştirme çalışmaları neticesinde, tutma kuvvetin ideal değerlere ulaşılmıştır.

Sızdırmazlık elemanı olarak yüksek shore değerine sahip, gözeneksiz kauçuk contanın kullanılması, tutma esnasında iş parçası ile tutucu yüzeyi arasındaki teması engellemektedir. Bu conta kullanıldığında tutma kuvveti, conta ve iş parçası arasındaki sürtünme kuvvetinden elde edilmektedir. Tutma gerçekleşiyorken, iş parçasına kuvvet uyguladığında, contanın elastiklik özelliği nedeniyle, iş parçasının hareket ettiği gözlemlenmiştir. Kuvvet kaldırıldığında ise, iş parçasının eski konumuna doğru bir hareket yaptığı ölçüm cihazlarıyla tespit edilmiştir. Yumuşak contanın kullanılması, parça ve tutucu arasındaki teması sağlamıştır. Bu contanın gözenekli olması nedeniyle havayı geçirmediği, vakum basıncında bir azalmaya neden olmamıştır. Temas sayesinde iş parçasının gidip gelme hareketi engellenmiştir. CNC tezgâhlarında işlemede, yüksek hassasiyetin istendiği durumlarda yüzeyler arasındaki teması engellemeyecek conta kullanılmalıdır. Ahşap endüstrisi gibi yüksek ölçü hassasiyetin istenmediği durumlarda sert kauçuk contalar kullanılabilir.

Eloksal kaplama neticesinde malzeme şampanya rengine estetik bir görünüm kazanmış,

izilmeye, aşınmaya ve korozyona karşı dayanımı artmış, yan yüzeylerin pürüzlülüğü azalmıştır.

7000 serisi alüminyum alaşımının rijitlik özelliğinin yüksek olması, CNC tezgâhında talaş kaldırmada titreşimin sönümlenmesine katkıda bulunmuştur. Yapılan deneylerde de görüldüğü üzere vakum mengenenin titreşim sönümleme kabiliyeti klasik mengeneden daha iyidir. İş parası ile vakum mengene arasındaki temas alanının fazla olması ve iş parçasının daha fazla desteklenmesi, titreşimin azalmasında etkilidir. Titreşim ve pürüzlülük özellikleri göz önüne alınarak tasarlanan vakum mengene, CNC takım tezgâhlarında parça tutucu olarak kullanılabilir.

Eloksal kaplama işlemi uygulanmadan önce, vakum tablanın üst yüzeyi korumaya alınmalıdır. Tutma kuvvetinin oluşacağı bu yüzeye sıvı teması engellenmelidir.

Yüzey pürüzleştirme işlemi vakum tablanın tutma kabiliyetini arttırmıştır. Aşağıda maddeler halinde listelenmiş işlemler uygulanarak tutma kuvvetini daha da arttırılması sağlanabilecektir.

- Ada üst yüzeylerini zımpara kâğıdı ile kaplamak.
- Ada üzerlerinde kenetlenmeyi arttırabilecek özek yapışkan kâğıtlar kullanmak.
- Vakum mengene üst yüzeyinden çok fazla mesafede olmamak üzere, vakum kanallarının hemen alt kısmını, manyetik mengenelerdeki düzene sahip mıknatıslarla donatmak.

Piyasada hem içi dolu olan hem de 30 shore sertlik değerine sahip kauçuk conta üretimi için araştırma yapılmış ancak üretim için kalıp yapılması gerektiğinden bu masrafa girilmemiştir. 30 shore sertlik değerine sahip kauçuk veya silikon conta temin edildiğinde, soğutma kaynağı olarak soğutma sıvılarını kullanılabilme imkânı elde edilebilir.

Yüzey pürüzlülük ve titreşim deneylerinde, vakum mengene ile elde edilen değerler normal mengenenin kullanılmasıyla elde edilen değerlerden %5 - %10 oranında daha iyidir. Vakum mengenenin yüzey pürüzlülük ve titreşim özelliğinde en az normal mengene kadar iyi sonuç verdiği grafiklerden ve tablolardan okunabilmektedir. Ancak değerler birbirine oldukça yakındır.

Çalışmada kullanılan 7000 serisi alüminyum malzemeler yüksek mukavemet ve işlenebilirlik konusunda oldukça avantajlıdır. Bu çalışmada tercih edilmelerinin sebebi de budur. Ancak titreşim sönümleme özellikleri daha iyi bir malzeme tercih edildiğinde,

daha stabil bir işleme ve daha pürüzsüz malzeme yüzeyi elde edilebilecektir. Bir tutucu tasarımında, tutucunun stabilite ve titreşim özellikleri son derece önemlidir. Kullanılacak malzeme cinsi, işlenecek malzeme cinsi ve tasarım ölçüleri titreşimi en az seviyede tutacak şekilde seçilmelidir. Bu amaçla modal analizi yapıp titreşim parametre değerleri belirlenebilir. Ardından bilgisayar programları ile titreşim analizi yapılabilir. Analiz sonuçlarına göre tasarımda revizyona gidilebilir.



KAYNAKLAR

- Ab Wahab, N., Martius, J., Nordin, A., Zahari, M., Najib, S., & Saidon, M. S. (2020). DESIGN AND DEVELOPMENT OF PORTABLE VACUUM CLAMPING (PVAC CLAMP) FOR TOOL ROOM. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529, 042027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/4/042027>
- Ab Wahab, N., Shahazati binti Md., R., Nabil Haikal Bin, A., Abd Khahar bin, N., Aliza binti Che, A., & S. Mohamad, S. (2018). Design Optimization and Development of Portable Vacuum Clamping (VacCLAMP) Based on Machining Performances. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*, 18(01), 11-16.
- Adli, M. A., Wahab, N. A., Harezul, M., Razak, A., Ridzuan Azizzi, M., Hadzley, M., Bakar, A., & Sasahara, H. (2021). Micro-Influence of Vacuum Block Positions on Machinability of Acrylic Using Hybrid Vacuum Clamping System. İçinde *International Journal of Nanoelectronics and Materials* (C. 14).
- Aritan, A. E., & Tümer, M. (2018). Doğaltaş ocaklarında martopikör kullanımında el-kol titreşim maruziyetinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 57-66.
- Ayats, J. R. G., Canela, J. M., & Peñaranda, S. M. (2009). CHARACTERISATION OF THE EFFECTIVE CLAMPING FORCE OBTAINED BY THE APPLICATION OF VACUUM TECHNIQUES TO DIFFERENT MATERIAL PROBES. *Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*.
- Babu, P. (2019). Design and Fabrication of Rotating and Tilting Vice (New Technique) for Radial Drilling Machine. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7, 1576-1580. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.3292>
- Baril, R. (1987). Modern machining technology. (No Title).
- Beards, C. (1996). *Structural vibration: analysis and damping*. Elsevier.
- Beaumont, T. (1986). Workholding and toolholding, removing material. (No Title).
- Benhabib, B. (2003). *Manufacturing: design, production, automation, and integration*. CRC Press.
- BIDANDA, B., & RAJGOPAL, J. (1990). Optimal Selection of Workholding Devices for Rotational Parts. *IIE Transactions*, 22(1), 65-72. <https://doi.org/10.1080/07408179008964159>
- Bydžovský, J., Kollár, M., Ondreička, K., & Paľa, J. (2010). Design and experimental examination of new type of electro-permanent magnetic chuck. *J Electr Eng*, 61, 152-155.
- Cao, Y., & Shi, J. L. (2016). High Speed Milling of a Large Thin Sheet Copper Part with a Vacuum Fixture on a CNC Machine Tool. *2nd Annual International Conference on Advanced Material Engineering (AME 2016)*, 1072-1076.
- Chandradass, J., & Kannan, T. T. M. (2021). Investigation of vibration analysis during end milling process of monel alloy. *Materials Today: Proceedings*, 39, 695-699.
- Chougule, S. M., & Waghmare, D. B. (2015). Design & manufacturing of components of modified bench vise on rapid prototype machine. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM)*, 4(7), 29-51p.
- Chryssolouris, G., & Toenshoff, H. K. (1982). Effects of machine-tool-workpiece stiffness on the wear behaviour of superhard cutting materials. *CIRP Annals*, 31(1), 65-69.
- Císar, M., Kuric, I., Čuboňová, N., & Kandra, M. (2017). Design of the clamping system for the CNC machine tool. *MATEC Web of Conferences*, 137, 01003. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201713701003>
- Ciurezu-Gherghe, L., Pauna, I. A., Ilija, A., & Ogarca, A. (2023). Design and 3D Printing of a Mini Vacuum Table with FDM Technology. *International Conference of Mechanical Engineering (ICOME-2022)*, 489-495.
- Csanady, E., Nemeth, S., & Varga, M. (2007). Investigation of clamping on a cnc router. *Proceedings of Third International Symposium on Wood Machining: 21-23 May 2007, Lausanne, Switzerland: Fracture Mechanics and Micromechanics of Wood and Wood*

- Composites with Regard to Wood Machining*, 171.
- Daud, R., Hasfa, N. K., Tomadi, S. H., Hassan, M. A., Kadirgama, K., Noor, M. M., & Rejab, M. R. M. (2009). Prediction of chatter in CNC machining based on dynamic cutting force for ball end milling. *Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists*, 2.
- De Silva, C. W. (2007). *Vibration damping, control, and design*. Crc Press.
- Do, M. D., Son, Y., & Choi, H.-J. (2018). Optimal workpiece positioning in flexible fixtures for thin-walled components. *Computer-Aided Design*, 95, 14-23.
- Felix, A., Melkote, S. N., & Matsumoto, Y. (2000). Modeling of the holding force in an electromagnetic chuck. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 122(3), 569-575.
- Felix, C. (2010, Eylül 20). *The Many Sides of Workholding*.
<https://www.productionmachining.com/articles/the-many-sides-of-workholding>
- Fitzpatrick, M., & Smith, K. (2005). Machining and CNC technology. (No Title).
- Fox, M. A. O., & Adams, R. D. (1973). Correlation of the damping capacity of cast iron with its mechanical properties and microstructure. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 15(2), 81-94.
- Fuwen, H. (2014). An intelligent vacuum fixture controlled by built-in PLC in CNC system. *Sensors & Transducers*, 181(10), 45.
- Gandhi, M. V., & Thompson, B. S. (1985). Phase change fixturing for flexible manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 4(1), 29-39.
- Gizelbach, R. (2009). *CNC Machining*. Goodheart-Willcox Company.
<https://books.google.com.tr/books?id=7hTaLQAACAAJ>
- Gregory, A., Lemire, D. M., & Sengstaken, J. (2018). *Reusable Conformable Workholding*.
- Hajra Choudhury, S. K., Bose, S. K., & Hajra Choudhury, A. K. (1982). Elements of Workshop Technology Vol: II Machine Tools. *Media Promoters & Publishers, Bombay, India*.
- Harini, T. V., Sastry, K. R., & Narayana, Y. V. (2014). Design and clamping force analysis of vacuum fixture to machine aerospace components. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 11(5), 40-45.
- Hayajneh, M. T., Tahat, M. S., & Bluhm, J. (2007). A study of the effects of machining parameters on the surface roughness in the end-milling process. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 1(1).
- Hoffman, E. (2012). *Jig and fixture design*. Cengage Learning.
- Hoffman, P. J., Hopewell, E. S., Janes, B., & Sharp Jr, K. M. (2012). *Precision machining technology*. Cengage Learning.
- Hrechuk, A., Hörndahl, M., & Schultheiss, F. (2023). Research solution for automatic hole quality analysis when drilling fiber-reinforced composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-10.
- Idris, M., Adeleke, K., Okediran, I., & Mohammed, T. (2022). *Design and Fabrication of a Modified Bench Vise for Comfortability and Productivity*. 5, 1-7.
- Ince, M. A., & Asiltürk, İ. (2016). Effects of cutting tool parameters on vibration. *MATEC Web of Conferences*, 77, 07006.
- Jonsson, M., & Ossbahr, G. (2010). Aspects of reconfigurable and flexible fixtures. *Production Engineering*, 4, 333-339.
- Joshi, P. H. (1998). *Jigs and fixtures*. Tata McGraw-Hill Education.
- Knaian, A. N. (1999). *Electropermanent Magnetic Connectors and Actuators: Devices and Their Application in Programmable Matter* Ara Nerses Knaian JUL 122010.
- KOMATSU, W., INOUE, Y., & NAKAMOTO, K. (2020). Proposal of computer aided process planning of parts machining using workholding devices. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 14, JAMDSM0033-JAMDSM0033.
<https://doi.org/10.1299/jamdsm.2020jamdsm0033>
- Liu, C., & Tsai, W. (1996). An experimental approach to electromagnetic chucking forces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 12, 14-20.
- M'artonov'a, V. (2019). *Electropermanent Magnet Study* [Bachelor's thesis]. Czech Technical University.
- Madison, J. (1996). *CNC machining handbook: basic theory, production data, and machining*

- procedures*. Industrial Press Inc.
- Manzoor, D. T., Khalil, S., Khan, I., Gohar, G., & Abid, M. (2017). Design and Development of Flexible Vacuum Clamping System for Thin Walled Cylindrical Object for CNC Machines. *Journal of Applied Mechanical Engineering*, 06. <https://doi.org/10.4172/2168-9873.1000271>
- Mathuria, P. H., & Kulkarni, U. P. (2021). *Damping Loss Factor for Damping Materials for Continuous Structures*.
- Mendi, F., & Külekçi, M. (2001). Dinamik Yüklemede Sistem Davranışlarının Kontrolü. *Sakarya University Journal of Science*, 5(1), 99-108.
- Moehring, H. C., Wiederkehr, P., Gonzalo, O., Kolar, P., Möhring, H.-C., Wiederkehr, P., Lerez, C., Siebrecht, T., & Schmitz, H. (2018). Case Study 1.1: Identification and Active Damping of Critical Workpiece Vibrations in Milling of Thin Walled Workpieces. *Intelligent Fixtures for the Manufacturing of Low Rigidity Components*, 3-23.
- Nee, A. Y. C., & Whybrew, K. (2012). *Advanced fixture design for FMS*. Springer Science & Business Media.
- Nee, J. G., Dufraine, W., Evans, J. W., & Hill, M. (2010). *Fundamentals of tool design*. Society of manufacturing engineers.
- Olsson, A. K. (2007). *Finite element procedures in modelling the dynamic properties of rubber*.
- Özsoy, N. (2019). Experimental investigation of surface roughness of cutting parameters in T6 aluminum alloy milling process. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 5(3), 105-111.
- Petrov, E. P., & Ewins, D. J. (2006). *Effects of damping and varying contact area at blade-disk joints in forced response analysis of bladed disk assemblies*.
- PILNÝ, L. (2011). *HIGH SPEED DRILLING OF ALUMINIUM PLATES* [MASTER'S THESIS]. INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY.
- Pilný, L., De Chiffre, L., Piška, M., & Villumsen, M. F. (2012). Hole quality and burr reduction in drilling aluminium sheets. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 5(2), 102-107.
- Reith, M. T. (2009). Getting a Grip Under Vacuum. *Digital Machinist*, 26-31.
- Rubio-Mateos, A., Rivero, A., Ukar, E., & Lamikiz, A. (2020). Influence of elastomer layers in the quality of aluminum parts on finishing operations. *Metals*, 10(2), 289.
- Ryan, V. (2019). *ANGLE PLATES*. https://technologystudent.com/equip_flsh/angleplate1.html Erişim Tarihi: 07.27.2023
- Sallese, L., Tsahalís, J., Grossi, N., Scippa, A., Campatelli, G., & Tsahalís, H. (2018). Case Study 1.3: Auto-adaptive Vibrations and Instabilities Suppression in General Milling Operations. *Intelligent Fixtures for the Manufacturing of Low Rigidity Components*, 39-55.
- Santos, A., Córdoba, E., Ramírez, Z., Sierra, C., & Ortega, Y. (2017). Determination of the coefficient of dynamic friction between coatings of alumina and metallic materials. *Journal of Physics: Conference Series*, 935(1), 012042.
- Sharma, P., Aher, G., Jaiswal, T., & Thorat, S. (2022). *Review Paper on Lathe Machine Components and It's Application*.
- Smith, G. T. (2013). *CNC Machining Technology: Volume II Cutting, Fluids and Workholding Technologies*. Springer Science & Business Media.
- Subramanian, M., Sakthivel, M., Sooryaprakash, K., & Sudhakaran, R. (2013). Optimization of cutting parameters for cutting force in shoulder milling of Al7075-T6 using response surface methodology and genetic algorithm. *Procedia Engineering*, 64, 690-700.
- Susnjara, K. (1999). *Three Dimensional Trimming and Machining: The Five Axis CNC Router*. Thermwood Corporation.
- Teicher, U., Pirl, S., Nestler, A., Hellmich, A., & Ihlenfeldt, S. (2019). A novel hybrid clamping system for sheet metals and thin walled structures. *Procedia Manufacturing*, 40, 51-55.
- Turkes, E., Orak, S., Neseli, S., & Yaldiz, S. (2012). Decomposition of process damping ratios and verification of process damping model for chatter vibration. *Measurement*, 45(6), 1380-1386.
- Tütün, K., Utlü, Z., & yeşim Büyükakıncı, B. (2017). Eloksal kaplama tesislerinde atıksu ve hammadde geri kazanımının önemi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 12(47), 93-

- URL-1. (2023). *Drill press vise plan*. <https://www.craftsmanspace.com/sites/default/files/free-plans-pdf-files/Drill%20press%20vise%20plan.pdf> Erişim Tarihi: 26 Temmuz 2023
- URL-2. (2023). *What is a quick-release feature?* <https://www.wonkeedonkeetools.co.uk/vices/what-is-a-quick-release-feature> Erişim Tarihi: 26 Temmuz 2023
- URL-3. (2018). *Pie Jaws for 4-Jaw Self-Centering Chuck*. <https://sherline.com/wp-content/uploads/2015/09/1076cpieinst.pdf> Erişim Tarihi: 29/07/2023
- URL-4. (2018). *What is a 4 Jaw Chuck? Explained*. <https://mellowpine.com/blog/4-jaw-chuck> Erişim Tarihi: 29/07/2023
- URL-5. (2023). *Magnetic Chucks*. Magnetic Chuck <https://www.first4magnets.com/magnetic-chucks-i1042ks> Erişim Tarihi: 01.08.2023
- URL-6. (2021). *Electromagnet*. <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-middle-school-physical-science-flexbook-2.0/section/22.4/primary/lesson/electromagnet-ms-ps/> Erişim Tarihi: 01.08.2023
- URL-7. (t.y.). *Basic Principles of Vacuum Clamping*. Geliş tarihi 05 Ağustos 2023, gönderen <https://www.worldofclamping.com/Ground-Principal-of-Vacuum-Clamping>. Erişim Tarihi: 05.08.2023
- URL-8. (t.y.). *Vacuum clamping technology for CNC machining*. https://www.spreitzer.de/pdf_de/vakuumsanntechnik.pdf Erişim Tarihi: 07.08.2023
- URL-9. (2023). *GR Series Vacuum table*. <https://www.youtube.com/watch?v=v5ntDvHpK7Y> Erişim Tarihi: 07.08.2023
- URL-10. (t.y.). *Vacuum Holding Control*. Geliş tarihi 07 Ağustos 2023, gönderen <https://www.equilibar.com/application/vacuum-holding-control/> Erişim Tarihi: 07.08.2023
- URL-11. (2017). *MAGNETIC WORKHOLDING-Electro permanent magnetic chucks-How it works*. <https://www.youtube.com/watch?v=seiUKJLjnSA>
- URL-12. (2018, Ekim 4). *SmartVac Vacuum Chuck System Overview*. 10.04.2018. <https://youtu.be/-j5mH6L4SW0?si=PflhoKnE0QL5agU5>
- Venkataraman, K., & Venkataraman. (2015). *Design of jigs, fixtures and press tools*. Springer.
- Vukelic, D., Tadic, B., Miljanic, D., Budak, I., Todorovic, P., Randjelovic, S., & Jeremic, B. (2012). Novel workpiece clamping method for increased machining performance [Povećanje učinkovitosti strojne obrade novom metodom stezanja izradaka]. *Tehnicki Vjesnik*, 19, 837-846.
- Weicheng, G., Yong, Z., Xiaohui, J., Ning, Y., Kun, W., & Xiao, L. (2021). Improvement of stiffness during milling thin-walled workpiece based on mechanical/magnetorheological composite clamping. *Journal of Manufacturing Processes*, 68, 1047-1059.
- Yanel, K., Herianto, H., & Sriwijaya, R. (2019). The effect of suction pressure of vacuum clamp on the aluminum plate surface following the cutting process using mini PC-based CNC milling. İçinde *AIP Conference Proceedings* (C. 2187). <https://doi.org/10.1063/1.5138349>
- Yılmaz, V., Dilipak, H., Sarıkaya, M., Yılmaz, C. Y., & Özdemir, M. (2014). Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30(4), 220-226.
- Zhou, C., Yang, H., Yang, L., & Qing, R. (2011). Piecewise model and experiment of power chuck's gripping force loss during high speed turning. *Science China Technological Sciences*, 54, 972-982.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur OĞUZ

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Sinop Anadolu Lisesi, 2008

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2015

Yüksek Lisans : Sinop Üniversitesi

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Alkanlar Doğalgaz, 2016- 2018

İş Yeri : Aksa Tarım, 2018- 2020

İş Yeri : Kaya-Pen, 2020 – Devam ediyor