

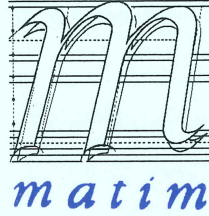
ISSN 1302-9487

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt : 4

Sayı : 3

Mayıs 2002



Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ - ANKARA

Sahibi

Makina Tasarım ve İmalat Derneği adına Yönetim Kurulu Başkanı
Bilgin KAFTANOĞLU

ODTÜ

Yayın Kurulu

Metin AKKÖK
Can ÇOĞUN
Suat KADIOĞLU
İlhan KONUKSEVEN (Sorumlu Yayın Yönetmeni)
Orhan YILDIRIM

ODTÜ
Gazi Ü
ODTÜ
ODTÜ
ODTÜ

Danışma Kurulu

M.A. Sahir ARIKAN
Tuna BALKAN
Erhan BUDAK
Melik DÖLEN
Hüseyin FİLİZ
Necdet GEREN
Mustafa İ. GÖKLER
Erk İNGER
Haydar LİVATYALI
Ferruh ÖZTÜRK
Levend PARNAS
Ömer SAATÇIOĞLU
O. Selçuk YAHŞI

ODTÜ
ODTÜ
Sabancı Ü
ODTÜ
Gaziantep Ü
Çukurova Ü
ODTÜ
Roketsan Gn. Md.
İTÜ
Uludağ Ü.
ODTÜ
ODTÜ
ENVY A.Ş.

Yazınin Adresi, Telefon ve Faks

Makina Tasarım ve İmalat Derneği
Makina Mühendisliği Bölümü, E Blok, No. 101
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
06531 ANKARA

Tel : (312) 210 52 12, Faks : (312) 210 12 75

Web : <http://www.me.metu.edu.tr/matim>

e-mail : matim@metu.edu.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 4 Sayı: 3 Mayıs 2002

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 4 No: 3 May. 2002

ISSN 1302-9487

TELİF HAKKI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde yayımlanan bütün yazıların telif hakkı MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERNEĞİ'nindir. Yayımlanmış yazıların başka bir yerde tekrar yayımlanması, çoğaltılması ve dağıtılması, Yayın Kurulundan yazılı izin almak koşulu ile mümkündür. Makalelerdeki görüşlerden doğacak sorumluluk makale yazarına aittir.

ABONE KOŞULLARI

Yıllık abone bedeli 2002 yılı içinde gerçek kişiler için 6.000.000 TL, firma ve kuruluşlar için 30.000.000 TL, öğrenciler için 3.000.000 TL'dir. Abone olmak için aşağıda verilen banka hesabına abone bedelinin yatırılması ve açık adresiniz ile banka makbuzunun adresimize gönderilmesi yeterlidir.

TANITIM KOŞULLARI

Kuruluş ve ürünlerini tanıtmak isteyenler hazırlayacakları tanıtım yazı ve resim taslaklarını Derneğimiz'e göndererek saptanacak bir katkı karşılığında Dergi'de yayımlanmasını sağlayabilirler.

BANKA HESAP NUMARASI

T. İş Bankası, ODTÜ Şubesi
Hesap No: 4229 30441 235339

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

Tel Erozyonda İşleme Parametrelerinin Teldeki Aşınma Krater Boyutlarına Etkisinin İstatistiksel İncelenmesi 127

Nihat TOSUN
Can ÇOĞUN
Ali İNAN

Farklı Cep İşleme Çevrimlerinin İşleme Süresi ve Yüzey Pürüzlülük Kriterlerine Göre İncelenmesi 134

Abdulkadir GÜLLÜ
Ahmet Murat PİNAR
Ali Rıza MOTORCU

Dikdörtgen Kesitli Disk Yayların optimum kesit Tasarımı 140

Necmettin KAYA
Ferruh ÖZTÜRK

Alev Spreyleme Yöntemiyle Kaplanan Malzemelerde Kaplama Tabakası ve Arayüzeyinin İncelenmesi 146

Nizamettin KAHRAMAN
Behçet GÜLENC

Montaj Sırası Planlama sistemlerinde Bir Optimizasyon Yaklaşımı 155

Cem SİNANOĞLU
H. Rıza BÖRKLÜ

GENEL DEĞERLENDİRME MAKALELERİ

Mikro Elektro Mekanik Sistemleri (MEMS): Genel Bir Tanıtım 173

Melik DÖLEN
Halit KAPLAN

KONU TANITIMI

TÜRKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) ve ISO-EN-TS 17025 (Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliği İçin Genel Şartlar) 186

Macit KARABAY

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER 189

Sayın Okurlarımız,

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi 1986 yılından bu yana özgün araştırmaları yayımlayan hakemli bir dergi olarak süreklilik kazanmıştır. 2001 yılında dergimize ISBN (ISBN1302-9487) numarası verilmiş, TÜBİTAK tarafından ulusal veri tabanına alınmış ve dergi basım adedi artırılarak Türkiye'de daha yaygın dağıtımı sağlanmıştır.

Yayın kurulumuz dergiye özgün çalışma ürünü, derleme veya bir bilgi ve tecrübe aktarımını sağlayacak makaleler bulmak konusunda katılımlarınızı beklemektedir. Ayrıca kitap tanıtımı, konu taraması ve sanayi kuruluşlarının etkinliklerini içeren yazılara da geçmişte olduğu gibi yer verilmektedir.

Dergimizi, endüstri ve akademik kuruluşlarımızın karşılıklı bilgi alışverişinde bulunduğu, teknik sorunları tartıştığı ortak bir forum haline getirmek için siz meslektaşlarımızın katkı ve önerilerini bekleriz.

Saygılarımızla,

Yayın Kurulu

Nihat Tosun
Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü
Fırat Üniversitesi
Elazığ

Can Çoğun
Prof. Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü
Gazi Üniversitesi
Ankara

Ali İnan
Doç. Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü
Fırat Üniversitesi
Elazığ

Tel Erozyonda İşleme Parametrelerinin Teldeki Aşınma Krater Boyutlarına Etkisinin İstatistiksel İncelenmesi

Bu çalışmada, tel erozyon ile kesmede işleme parametrelerinin teldeki aşınma krater boyutlarına etkisi istatistiksel olarak araştırıldı. Deneyler, farklı puls süresi (300, 500, 700 ve 900 ns), açık devre gerilimi (80, 100 ve 270 V), tel ilerleme hızı (5, 8 ve 12.5 m/dak) ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı (6, 12 ve 18 kg/cm²) gibi işleme koşulları altında faktöriyel deneysel tasarım kullanılarak yapıldı. Deneylerde 0.25 mm çapında pirinç tel ve 0.28 mm kalınlığında Ç4140 çelik iş parçası kullanıldı. Yapılan istatistiksel çalışma neticesinde, puls süresi ve açık devre geriliminin krater boyutları üzerinde etkili olduğu, tel ilerleme hızının ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının etkisinin önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tel erozyon, krater boyutları, varyans analizi

GİRİŞ

Tel erozyon tezgahı, üzerinden akım geçen bir tel yardımı ile talaş kaldıran (kesme yapan) bilgisayar kontrollü bir tezgahdır. Tel erozyon ile metal kesme (WEDM-wire electric discharge machining), çeşitli endüstriyel dallarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İyi bir işleme performansı elde etmek için işleme parametrelerini seçmede, optimizasyon tekniklerine ve istatistiksel analize ihtiyaç vardır [1,2].

Tel elektrot üzerinde oluşan aşınma kraterleri işleme performansını yansıtan en önemli göstergelerdir. Kraterler hem tel kopması hem de iş parçası yüzey pürüzlülüğü ile ilişkilidir. Tel üzerinde oluşan kraterlerin boyutlarının büyük olması iş parçası yüzey pürüzlülüğünün de kötü olacağı anlamına gelmektedir. Kraterlerin boyutlarının büyük olması telin kopma riskini de artırmaktadır [3].

Jeswani [4], dalma tipi erozyondaki (die sinking EDM) takım aşınmasının boyutsal analizini yaptığı çalışmada puls enerjisi, erime gizli ısı, buharlaşma gizli ısı, erime sıcaklığı, buharlaşma sıcaklığı, ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve malzeme yoğunluğuna bağlı olarak takım elektrottan eriyen malzemenin hacmi ile ilgili deneysel bir denklem elde etmiştir. Dibinto ve arkadaşları [5], dalma elektro erozyon işlemi için teorik bir katot erozyon modeli sunmuşlardır. Patel ve arkadaşları [6], anot iş

parçası için Dibinto'nun [5] makalesinde sunulan ısı kaynağı modeline ilave olarak plazma/anot ara yüzeyinde sınır şartı olarak sıcaklık yerine işleme gücünü (machining power) kullanmıştır. Çoğun ve Savsar [7] yaptıkları istatistiksel çalışmada, puls süresi, puls ara süresi ve deşarj akımı gibi değiştirilen işleme parametreleri için deşarj pulslarının gecikme sürelerinin rasgele davranışlarını incelemişlerdir. Scott ve arkadaşları [1], tel erozyonda en iyi işleme koşullarının seçimi için bir optimizasyon çalışması yapmışlardır. Spur ve Schoenbeck [8] tel erozyonda meydana gelen deşarj kanalının boyutunu ve yoğunluğunu zamana bağlı olan yarı sonsuz bir katı üzerindeki bir ısı kaynağı olarak tanımlamışlar ve problemin sayısal analizini sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapmışlardır. Wang ve Rajurkar [9] çalışmalarında, işleme verimliliğini yükseltmek ve telin kopmasını engellemek için geliştirdikleri çevrim içi kontrollü kıvılcım frekansı tarayan bir izleme sistemini tanıtmışlardır. Köğmen [10], dalma elektro erozyondaki krater oluşumunun bilgisayar destekli modellemesini ve simülasyonunu yapmıştır. Liao ve arkadaşları [11] tel erozyonda tel kopması üzerine yaptıkları çalışmada, işleme esnasında kaydedilen gerilim dalga formlarının karakteristiklerine dayanan bilgisayar destekli puls tanımlama sistemi geliştirmişlerdir. Liao ve arkadaşları [2], işleme parametrelerinin yüzey

pürüzlülüğüne, işleme hızına ve kesme aralığı genişliğine (kerf) etkisi üzerine istatistiksel bir çalışma yapmışlardır. Huang ve arkadaşları [12] tel erozyon ile kesmede, yüzey pürüzlülüğünü, kesme genişliğini ve iş parçası yüzeyinde oluşan beyaz tabaka kalınlığını çeşitli işleme parametreleri için ölçmüşlerdir. Kullandıkları işleme parametrelerini Taguchi deneysel tasarımı ile tespit etmişlerdir. Luo [13], tel mukavemeti ve tel kopma mekanizması üzerine yaptığı çalışmada kıvılcım basıncı ve tel gerilmesinin tel kopmasında önemli iki etken olduğunu vurgulamıştır. Lin ve arkadaşları [14], dalma tipi erozyonda elektrot aşınmasının azaltılması üzerine yaptıkları çalışmada, Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak minimum elektrot aşınması için işleme parametrelerini belirlemişlerdir. Banarjee ve arkadaşları [15], teldeki kraterlerin işleme parametrelerine bağlı olarak boyut değişimlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada tek bir deşarj süresi için teldeki krater oluşumu ve üç boyutlu süreksiz sıcaklık dağılımı sonlu fark modeli kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel sadece kapasite değeri değiştirilerek yapılmış ve teorik olarak güç, puls süresi ve tel ilerleme hızının artmasıyla krater hacminin arttığı vurgulanmıştır. Bu çalışmada, dielektrik sıvı püskürtme basıncının etkisinden bahsedilmemiştir.

Literatür araştırması sonucunda, tel erozyon ile işlemede en önemli performans çıktıları olarak kabul edilen tel kopması ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkileyen tel elektrottaki krater boyutlarının işleme parametreleri ile gösterdiği değişimin yeterince incelenmediği görülmüştür. Varolan kısıtlı sayıdaki çalışmada ise gerek deneylerin tasarımında, deney sayılarının tespitinde ve gerekse sonuçların analizinde istatistiksel yaklaşımların kullanılmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı, bu çalışmada, tel erozyon ile kesmede işleme parametrelerinin telde oluşan aşınma kraterlerinin çapı ve derinliği üzerine etkisi istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel ve ölçümler

Deneysel çalışmalarda SODICK firmasına ait A320D/EX21 Tel Erozyon tezgahı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, puls süresi, açık devre gerilimi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı değiştirilmiş, puls ara süresi, tabla ilerleme hızı, tel gerginliği, tel çapı ve malzemesi, iş parçası boyutları ve malzemesi sabit tutulmuştur (Tablo 1). Faktöriyel deney tasarımına göre bulunan 108 değişik kesme şartında deneyler yapılmıştır.

Deneysel, çekme mukavemeti 900 N/mm² olan, 0.25 mm çapında CuZn37 Master Brass pirinç

tel kullanıldı. İş parçası malzemesi olarak 0.28 mm kalınlığında Ç4140 (DIN 42CrMo4) çeliği kullanıldı. İş parçası kalınlığının 0.28 mm seçilmesinin nedeni, tel üzerinde birbirinden bağımsız (birbiri üstüne binmeyen) tek kraterlerin oluşumunun sağlanabilmesidir.

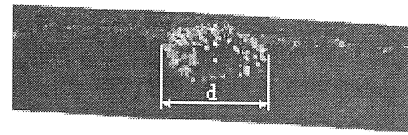
Tablo 1. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve değerleri

İşleme parametreleri	Değerleri
Puls süresi (ns)	300, 500, 700, 900
Açık devre gerilimi (V)	270, 100, 80
Tel ilerleme hızı (m/dak)	5, 8, 12.5
Dielektrik sıvı püskürtme basıncı (kg/cm ²)	6, 12, 18
Puls ara süresi (μs)	16
Tabla ilerleme hızı (mm/dak)	7.6
Tel gerginliği (gr)	1800
Kapasite (μF)	0

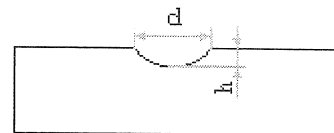
Krater boyutları, tel üzerindeki kraterlerin derinlik (d) ve çapının (h) ölçülmesi ile tespit edildi. Çap ve derinlik bilgisinin tespiti için aynı tel üzerindeki 12 adet krater için çap ve derinlik ölçümü yapılarak ortalaması alındı. Tel üzerinde meydana gelen bir krater ve boyutlandırılması Şekil 1'de görülmektedir. Krater boyutlarını ölçmek için x50 büyütme, 0.005mm hassasiyetinde Mitutoyo TM-500 ölçme mikroskobu kullanıldı.



a)



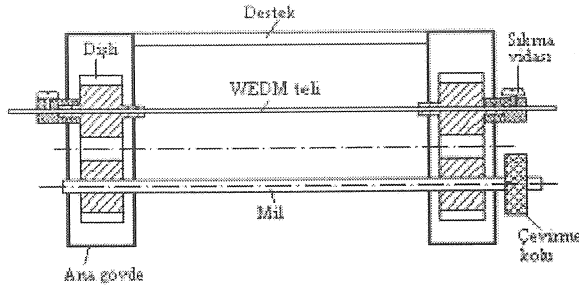
b)



c)

Şekil 1. Teldeki bir krater ve boyutlandırılması

Ölçme işleminde kullanılmak amacıyla telin bağlandığı ve teli burmadan kendi eksenine etrafında çevirebilen bir tel çevirme aparatı tasarlanıp imal edilmiştir (Şekil 2). Bu aparat mikroskobun tablası üzerine monte edilmiştir. Tel çevirme aparatının her iki tarafına yerleştirilmiş olan dişlilerin merkezinden gerilerek geçirilen tel sıkma vidaları ile sabitlenmektedir (Şekil 2). Dişlilerin merkezlerinde dönen tel üzerinde görüntüleri takip edilen kraterlerin d ve h ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 2. Krater boyutlarını ölçmede kullanılan tel çevirme aparatı

KRATER BOYUTLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Bu çalışmada, deney sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesinde varyans analizi metodu (ANOVA-analysis of variance [16]) ve F testi kullanılmıştır. Varyans analizi, işlem parametrelerinin istatistiksel olarak öneminin tespiti için yapılır. Bu metot, işlem parametrelerinin optimum kombinasyonunu ve performans karakteristikleri üzerinde bu parametrelerin etkisini belirlemek için kullanılır [14]. F testi, işlem parametrelerinin performans karakteristikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. İşlem parametresi değiştirildiğinde F değeri büyük çıktığı takdirde o parametrenin performans karakteristikleri üzerinde daha etkili olduğu anlaşılır [2,14].

Varyans analizinde deneysel değerler ile arzu edilen değerler arasındaki sapmayı hesaplamak için bir kayıp fonksiyonu (loss function) kullanılır. Bu kayıp fonksiyonu neticesinde elde edilen veriler daha

sonra arzu edilen değerden sapan performans karakteristiklerini belirlemek için bir dönüşüme sokulur. Bu dönüşüm, sinyal-gürültü oranı S/N (signal-to-noise ratio) olarak adlandırılır ve η ile gösterilir. S/N oranının analizinde, "daha düşük daha iyidir", "nominal daha iyidir" veya "daha yüksek daha iyidir" gibi kayıp fonksiyonları kullanılabilir. Bu çalışmada teldeki krater boyutları, telin ağırlık kaybı ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünün varyans analizinde "daha düşük daha iyidir" (LB-lower is better) kayıp fonksiyonu kullanıldı. LB kayıp fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$L_{ij} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \quad (1)$$

Burada L_{ij} j'nci testteki i'nci performansın kayıp fonksiyonu, r bir denemedeki testlerin sayısı y ise her bir test için ölçülen değerdir. Bu kayıp fonksiyonu için S/N oranı (η) ise:

$$S/N_{LB} = -10 \log(L_{ij}) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir.

Deney sonuçlarının S/N oranlarının tespitinde Tablo 2'de görülen faktörler ve seviyeler kullanıldı. Bu çalışmada açık devre gerilimi, puls süresi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı olmak üzere dört kontrol faktörü bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan herhangi bir kesme parametresinin değiştirilme sayısı seviyeyi, değişkenin aldığı değerlerde seviyenin değerini gösterir. Bu çalışmada, puls süresi 300 ns, 500 ns, 700 ns ve 900 ns olmak üzere toplam dört seviyedir. Açık devre gerilimi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı basıncı ise üç seviyeli olarak seçilmiştir. Tablo 2'de belirtilen kesme parametrelerinin her bir seviyesi için teldeki krater çapına ve derinliğine ait η değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'te sunulmuştur. Kesme parametrelerinin her bir seviyesinin krater boyutları üzerindeki etkileri ise Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'teki A1, A2, A3 ve A4 puls süresinin, B1, B2 ve B3 açık devre geriliminin, C1, C2 ve C3 tel ilerleme hızının ve D1, D2 ve D3 ise dielektrik sıvı basıncının seviyelerini göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Kesme parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Kesme parametreleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A	Puls süresi	ns	300	500	700	900
B	Açık devre gerilimi	V	80	100	270	-
C	Tel ilerleme hızı	m/dak	5	8	12.5	-
D	Dielektrik basıncı	kg/cm ²	6	12	18	-

Tablo 3. Teldeki krater çapı için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi (η değerleri)

Kesme parametreleri	Ortalama S/N oranı (dB)			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Puls süresi	21.0837*	19.5976	18.1330	16.7624
Açık devre gerilimi	20.5449*	19.7232	16.4144	-
Tel ilerleme hızı	19.5606*	18.8235	18.2984	-
Dielektrik basıncı	18.3770	18.8379	19.4675*	-

Ortalama S/N oranı= 18.8942 dB

*Optimum seviyeler

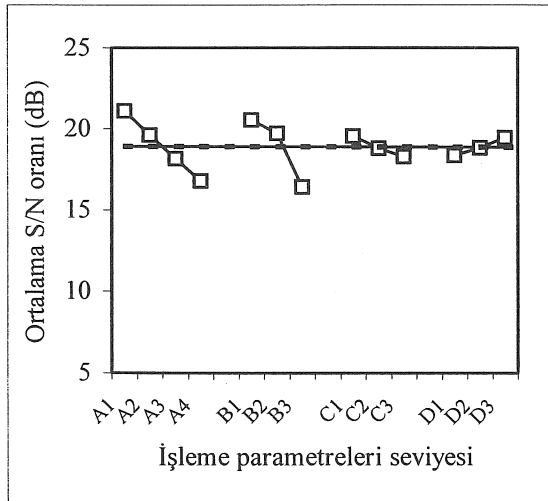
Tablo 4. Teldeki krater derinliği için her bir seviyedeki faktörlerin etkisi (η değerleri)

Kesme parametreleri	Ortalama S/N oranı (dB)			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Puls süresi	41.7026*	40.2383	38.4612	37.0137
Açık devre gerilimi	41.3168*	40.0282	36.7169	-
Tel ilerleme hızı	40.0588*	39.2938	38.7092	-
Dielektrik basıncı	38.7615	39.2608	40.0396*	-

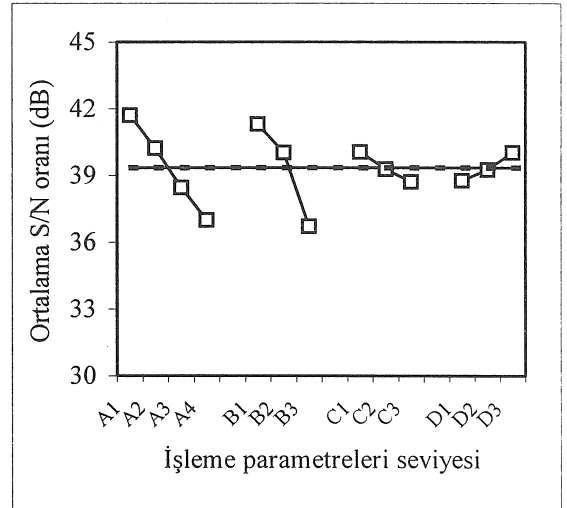
Ortalama S/N oranı=39.3540 dB

*Optimum seviyeler

Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilen herhangi bir parametre için optimum değer, o parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N değeridir. Optimum seviye ise bu çalışma için minimum krater boyutlarını elde etmede kullanılacak parametrelerin değerleridir. Minimum krater boyutları Tablo 3 ve Tablo 4'ten de görüldüğü gibi 300 ns puls süresi, 80 V açık devre gerilimi, 5 m/dak tel ilerleme hızı ve 18 kg/cm² dielektrik sıvı püskürtme basıncı neticesinde elde edilmiştir.



Şekil 3. Teldeki krater çapına kesme parametrelerinin seviyelerinin etkisi



Şekil 4. Teldeki krater derinliğine kesme parametrelerinin seviyelerinin etkisi

Şekil 3 ve Şekil 4, kraterlerin derinlik ve çapı için S/N cevap grafiğidir. Daha büyük S/N oranları arzu edilen krater çap ve derinliği değerlerini vermektedir. Bu şekillerdeki puls sürelerini (A1, A2, A3 ve A4) dikkate alırsak puls süresi arttıkça S/N oranının küçülmesi teldeki krater çap ve derinliğinin artması anlamına gelmektedir. Grafiklerdeki ortalama çizgisi, çalışmada kullanılan kesme parametrelerinin seviyeleri içerisinde krater çap ve derinliğinin elde edileceği ortalama değerleri göstermektedir.

Şekillerden de anlaşılacağı üzere krater boyutları puls süresi, açık devre gerilimi ve tel ilerleme hızının artması ile artmakta ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının artması ile azalmaktadır.

Teldeki krater boyutları için yapılan varyans analizinin sonuçları Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Tabloda gösterilen F_{A0} değeri bir faktörün F testi değeri olup, faktörün F test değeri

$$F_{A0} = \frac{V_A}{V_e} \quad (3)$$

ile hesaplanır. Burada V_A , faktör A'nın varyansı ve V_e ise hatanın varyansıdır. Bulunan F_{A0} değeri, standart F testi tablolarındaki serbestlik dereceleri kullanılarak okunan F değeri ile karşılaştırılır. Eğer bu değer tablodaki değerden büyükse yani

$$F_{A0_{\text{hesaplanan}}} > F_{A0_{\text{tablo}}} \quad (4)$$

ise A faktörü önemlidir. Herhangi bir faktörün yüzde dağılımı P (percent contribution), o faktörün

karelerinin toplamının tüm faktörlerin karelerinin toplamına oranı ile elde edilir. Yani:

$$P = \left[\frac{SS_A}{SS_T} \right] \times 100 \quad (5)$$

şeklindedir. Faktör A'nın karelerinin toplamı

$$SS_A = \frac{\sum \eta_{Ai}^2}{N} - SS_m \quad (6)$$

şeklindedir. Burada N herhangi bir A parametresinin seviye sayısı, η S/N oranı ve SS_m ise ortalamanın kareleri toplamıdır. Bağımsız her bir çift için serbestlik derecesi f-1'dir. Yani kullanılan faktörlerin seviye sayılarının bir eksiği serbestlik derecesini verir.

Tablo 5. Teldeki krater çapı için ANOVA sonuçları

İşleme parametreleri	Serbestlik derecesi (f)	Karelerin toplamı (SS_A)	Varyans (V_A)	F_{A0}	% Dağılım
Puls süresi	3	281.1482	93.7160	23.1938	40.63
Açık devre gerilimi	2	344.2200	172.1100	42.5956	49.74
Tel ilerleme hızı	2	28.9444	14.4722	3.5817	4.18
Dielektrik basıncı	2	21.5750	10.7875	2.6698	3.12
Hata	4	16.1622	4.0405	-	2.33
Toplam	13	692.0499	-	-	100

Tablo 6. Teldeki krater derinliği için ANOVA sonuçları

İşleme parametreleri	Serbestlik derecesi (f)	Karelerin toplamı (SS_A)	Varyans (V_A)	F_{A0}	% Dağılım
Puls süresi	3	339.4394	113.1464	19.4470	40.85
Açık devre gerilimi	2	405.4230	202.7115	34.8409	48.79
Tel ilerleme hızı	2	32.9834	16.4917	2.8345	3.97
Dielektrik basıncı	2	29.8752	14.9376	2.5673	3.59
Hata	4	23.2727	5.8181	-	2.80
Toplam	13	830.9938	-	-	100

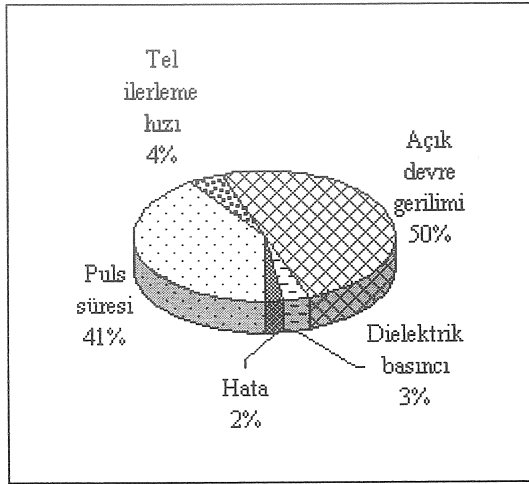
Şekil 5 ve Şekil 6'den görüldüğü gibi krater boyutları üzerinde en büyük etkiyi sırasıyla açık devre gerilimi ve puls süresi yaparken bunları tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı

izlemektedir. Krater boyutlarında yapılan deneysel hata oldukça düşük bir seviyededir. Tablo 5 ve Tablo 6'da hesaplanan F_{A0} değerine göre tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının krater boyutlarına etkisi önemsizdir.

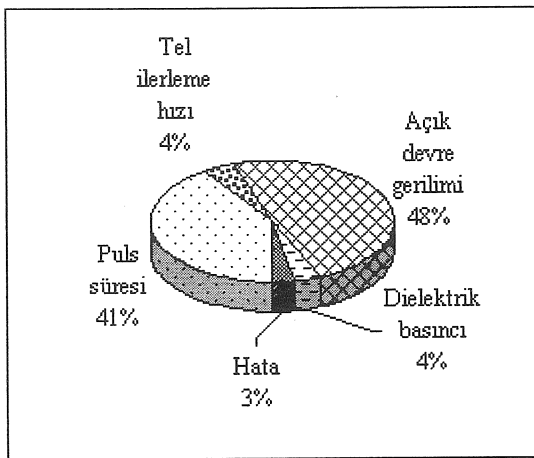
A STATISTICAL INVESTIGATION ON THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON DIMENSIONS OF WIRE EROSION CRATERS IN WEDM

In this study, the effect of the cutting parameters on the crater size of wire electrode was statistically investigated in Wire Electrical Discharge Machining (WEDM). The experiments was conducted at different pulse time (300, 500, 700 and 900 ns), open circuit voltage (80, 100 and 270 V), wire speed (5, 8 and 12.5 m/min) and dielectric flushing pressure (6, 12 and 18 kg/cm²) by using factorial experimental design. Brass wire of 0.25 mm diameter was used as tool electrode and SAE 4140 steel of 0.28 mm thickness was used as workpiece material in the experiments. It is found statistically that pulse time and open circuit voltage are effective whereas wire speed and dielectric fluid pressure have insignificant effect on the crater sizes.

Keywords: WEDM, crater sizes, analysis of variance



Şekil 5. Varyans analizi sonucuna göre parametrelerin krater çapına % etkisi



Şekil 6. Varyans analizi sonucuna göre parametrelerin krater derinliğine etkisi

SONUÇ

Bu çalışmada, tel erozyon tezgahında, puls süresi, açık devre gerilimi, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı gibi kesme parametrelerinin telde oluşan aşınma krater boyutları (krater çap ve derinliği) üzerindeki etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir.

Teldeki krater boyutları puls süresi, açık devre gerilimi ve tel ilerleme hızının artması ile artmakta ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının artması ile azalmaktadır. Yapılan varyans analizi sonucunda, krater boyutları üzerinde en büyük etkiyi sırasıyla açık devre geriliminin, puls süresinin, tel ilerleme hızının ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının yaptığı anlaşılmıştır. F-testinde ise teldeki krater boyutları üzerinde açık devre gerilimi ve puls süresinin önemli derecede etkili olurken, tel ilerleme hızı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncının etkisinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. Scott D., Boyina S. And Rajurkar K.P., "Analysis and Optimization of Parameter Combination in Wire Electrical Discharge Machining", *Int. J. of Prod. Res.*, 29 (11), 2189-2207, 1991.
2. Liao Y.S., Huang J.T., Su H.C., "A Study on the Machining-parameter Optimization of Wire Electrical Discharge Machining", *J. of Mat. Proc. Tech.*, 71, 487-493, 1997.
3. Kinoshita N. Fukui M., and Gamo G., "Control of Wire EDM Preventing From Breaking", *Annals of the CIRP*, 31 (1), January 1982.
4. Jeswani M.L., "Dimensional Analysis of Tool Wear in Electrical Discharge Machining", *Wear*, 55, 153-161, 1979.
5. Dibinto, D.D., Eubank, Ph.T., Patel, M.R., Barrufet, M.A., "Theoretical Models of The Electrical Discharge Machining Process I. A Simple Cathode Erosion Model", *J. of Appl. Phys.*, 66 (9), 4095-4103, 1989.
6. Patel, M.R., Barrufet, M.A., Eubank, P.T., Dibinto, D.D., "Theoretical Models of The Electrical Discharge Machining Process II". *The Anode Erosion Model, J. of Appl. Phys.*, 66 (9), 4104-4111, 1989.
7. Çoğun C., Savsar M., "Statistical Modelling of Properties of Discharge Pulses in Electrical Discharge Machining", *Int. J. of Mach. Tools and Manuf.*, 30(3), 467-474, 1990.
8. Spur, G.; Schoenbeck, J., "Anode Erosion in Wire-EDM - a Theoretical Model", *Annals of the CIRP*, 42 (1), 253-256, 1993.

9. Wang, W.M. and Rajurkar, K.P., "Monitoring sparking frequency and predicting wire breakage in WEDM", *Sensors and Signal Processing for Manufacturing, ASME, PED*, 55, 49-64, NY, USA, 1992.
10. Köğmen, M., *Computer Aided Modelling and Simulation of Crater Formation in Electrical Discharge Machining*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, Ankara, Haziran 1993.
11. Liao, Y.S., Chu, Y.Y., Yan, M.T., "Study of Wire Breaking Process and Monitoring of WEDM", *Int. J. of Mach. Tools and Manuf.*, 37 (4), 555-567, 1997.
12. Huang J.T., Liao Y.S. and Hsue W.J., "Determination of Finish-Cutting Operation Number and Machining Parameters Setting in Wire Electrical Discharge Machining", *J. of Mat. Proc. Tech.*, 87, 69-81, 1999.
13. Lin J.L., Wang K.S., Yan B.H. and Tarng Y.S., "An Investigation into Improving Worn Electrode Reliability in the Electrical Discharge Machining Process", *Int. J. of Adv. Manuf. Tech.*, 16, 113-119, 2000.
14. Luo Y.F., "Rupture Failure and Mechanical Strength of the Electrode Wire used in Wire EDM", *J. of Mat. Proc. Tech.*, 94, 208-215, 1999.
15. Banerjee S., Prasad B.S., Mishra P.K., "Analysis of Three-Dimensional Transient Heat Conduction for Predicting Wire Erosion in the Wire Electrical Discharge Machining Process", *J. of Mat. Proc. Tech.*, 65 (1-3), 134-142, March 1997.
16. Ross P.J., *Tauchi Techniques for Quality Engineering*, Second Edition, McGraw-Hill, USA, 1996.
17. Mcgeough J.A. and Rassuman H., "A Macroscopic Model of Electro Discharge Machining", *Int. J. of Mach. Tool Des. and Res.*, 22 (4), 333, 1982.
18. Schreiber, R. R., "Hot Off The Wire", *Manufacturing Engineering*, 104 (6), 39-44, June 1990.

Farklı Cep İşleme Çevrimlerinin İşleme Süresi ve Yüzey Pürüzlülük Kriterlerine Göre İncelenmesi

Abdulkadir Güllü
Yardımcı Doçent

Ahmet Murat Pinar
Araştırma Görevlisi

Ali Rıza Motorcu
Araştırma Görevlisi

Makine Eğitimi Bölümü
Teknik Eğitim Fakültesi
Gazi Üniversitesi
06500 ANKARA

Bu çalışmada, DYNA MYTE 2900 Dik İşleme Merkezinde, Ç1040 malzeme üzerinden talaş kaldırılarak, en çok kullanılan 6 cep işleme çevrimi, süre ve yüzey pürüzlülüğü kriterlerine göre incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Süre kriteri, cep işleme çevrimlerinin işleme sürelerini hesaplayan bir algoritma ile belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için her bir numunenin yüzeyinde farklı doğrultularda Mitutoyo Surftest-211 profilometre ile ölçümler yapılmış ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri sunulmuştur. Ölçüm sonuçları değerlendirilerek iki kritere göre en iyi sonuçları veren cep işleme tipleri tavsiye edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cep frezeleme, yüzey pürüzlülüğü, CAD/CAM, takım yolu, işleme süresi.

GİRİŞ

İşleme verimliliği ve ürün kalitesi imalat endüstrisindeki rekabet için önemli kavramlardır. Bu rekabeti sürdürebilmek için imalatın belirlenen toleransta, en kısa zamanda ve en düşük maliyette tutulması gerekmektedir. İmalat sanayisinde yüksek kalite ve işlemeyi etkileyen maliyet talaş kaldırma işlemlerinin optimizasyonu ile gerçekleştirilebilmektedir [1]. Optimizasyon takım yolu optimizasyonu ve ilerleme değerinin optimizasyonu olmak üzere iki kategoride ele alınmaktadır:

Yapılan bu çalışmada, temel işleme operasyonlarından cep frezeleme incelenmiştir. Cep frezeleme malzemenin alınandan başlayarak içte boş bir boş hacim oluşturan, gerek kalıp imalatında gerekse diğer alanlarda çok sık kullanılan bir işlem türüdür[2]. Bazı durumlarda cep, içinde ayrı bir cep ya da ada gibi unsurlar içerebilir. Bu çalışmada, 2 ½ boyutlu, ada içermeyen basit cepler incelenmiştir.

Takım yolu uzunluğunun en kısa hale getirilme çalışmalarının büyük bir kısmı cep için takım çapının bulunmasına yöneliktir. Dereli ve Filiz [3], CAD veri tabanından cebin sınırlarındaki en kısa mesafeleri belirlemişler ve bu mesafelere uygun en büyük çaplı takımı seçmişler ve belirlenen profili paralel kaydırma yöntemi ile oluşturmuşlardır. Oluşturulan takım yolu tek takım ile işlendiğinden ilave takım değiştirme zamanı oluşmamaktadır. Vosniakos [4], cebi 3 takımla işlemiş merdiven ve kaydırma metodlarını kullanmıştır.

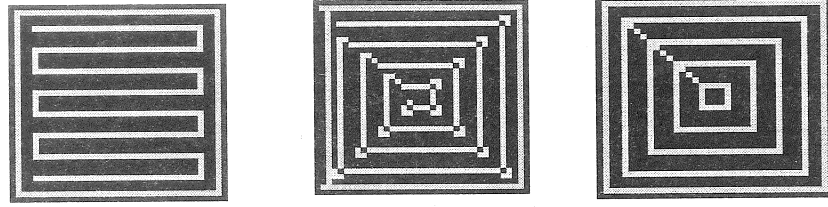
İlk iki takım cep kaydırma metodu ile 3. takım ise, merdiven tipli işleme ile cebi tanımlamaktadır. İlk takım cebin sınır çizgisine bağlı olarak seçilmekte, 2. takım daha büyük çapta aynı takım yolunu kaydırarak oluşturmaktadır. 3. Takım da kaba adayı temizleyerek basit cebi oluşturmaktadır. Gerçekten de sunulan metod talaş kaldırma hareketini en aza indirmeye yöneliktir ancak, takım değiştirme hareketleri boştaki zamanı arttırmaktadır.

Bu çalışmada, CAD/CAM paket programlarının sunduğu standart cep işleme tipleri süre ve yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırılarak sonuçlar sunulmuştur.

CEP İŞLEME TIPLERİ

CAD/CAM paket programları ve CNC tezgah kontrol üniteleri birçok cep işleme metodu sunmaktadır. Bu çalışmada en çok kullanılan 6 tip cep işleme çevrimi Mastercam paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Kullanılan çevrimlerin bazıları profili tekrarlayarak ve belli bir oranda kaydırma kullanarak, bazıları belli bir eğrisel yörüngeyle bazıları da tek yönlü olarak cebi oluşturmaktadır. Şekil 1'de Mastercam'de kullanılan cep işleme yöntemleri görülmektedir.

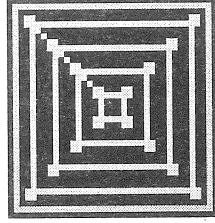
Şekil 2'de cep işleme yöntemlerine ait takım yollarının deney numunesi geometrisi üzerindeki gösterimleri yer almaktadır.



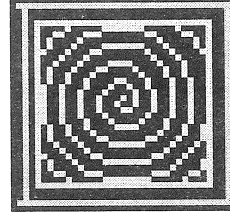
a) Zig-Zag

b) Sabit Kaydırmalı Spiral

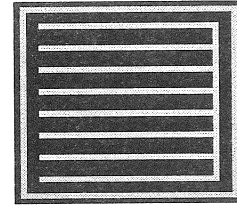
c) Paralel Spiral



d) Temiz Köşeli Paralel Spiral

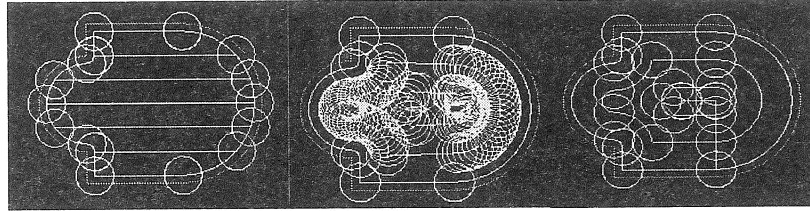


e) Düzgün Spiral



f) Tek yönlü işleme

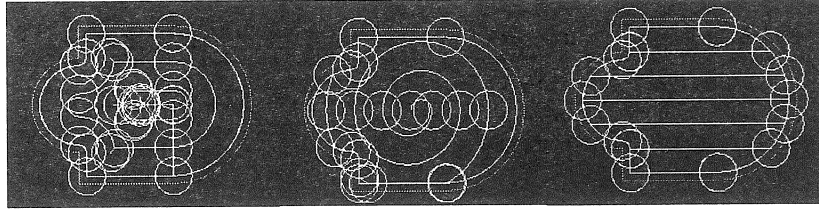
Şekil 1. İncelenen cep işleme tipleri.



a) Zig-zag

b) Sabit kaydırmalı spiral

c) Paralel spiral



d) Temiz köşeli paralel spiral

e) düzgün spiral

f) Tek yönlü işleme

Şekil 2. Cep işleme tiplerine ait takım yolları.

DENEY PARAMETRELERİ

a. İş Parçası Malzemesi

Deney numunesi olarak Tablo 1'de kimyasal bileşimi verilen, sertliği 30 HRc olan Ç1040 malzeme

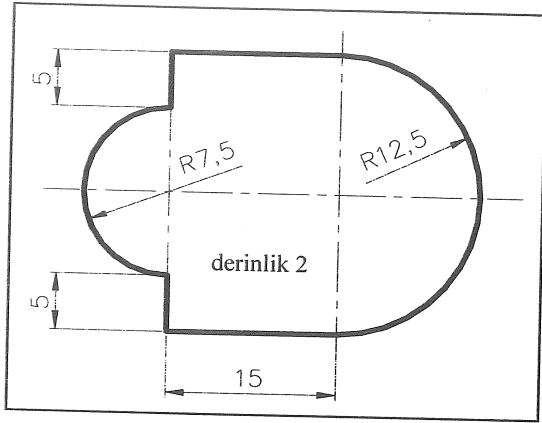
kullanılmıştır. Deney numunelerinin talaş kaldırılacak yüzeyleri işleme öncesi düzlem taşlama tezgahında taşlanarak temizlenmiştir.

Tablo 1. Ç1040 Çelik malzemenin kimyasal bileşimi [KOSGEB].

Element	%	Element	%	Element	%
Karbon (C)	0.4410	Silisyum (Si)	0.182	Mangan (Mn)	0.770
Fosfor (P)	0.0145	Kükürt (S)	0.03756	Krom (Cr)	0.0926
Molibden (Mo)	0.0141	Nikel (Ni)	0.0888	Bakır (Cu)	0.301
Demir (Fe)	Kalan				

b. İş Parçası Geometrisi

İş parçası geometrisi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. İş parçası geometrisi.

c. Kesici Takım

Ceplerin işlenmesinde TAKIMSAŞ'a ait ϕ 6 mm dört ağızlı kaplamasız sert metal düz parmak freze kullanılmıştır.

d. Takım Tezgahı

Numuneler DYNA MYTE 2900 dik işleme merkezinde universal tezgah mengersine bağlanarak işlenmiştir.

e. Talaş Kaldırma Parametreleri

Her numunenin işlenmesinde aşağıda belirtilen talaş kaldırma parametreleri kullanılmıştır.

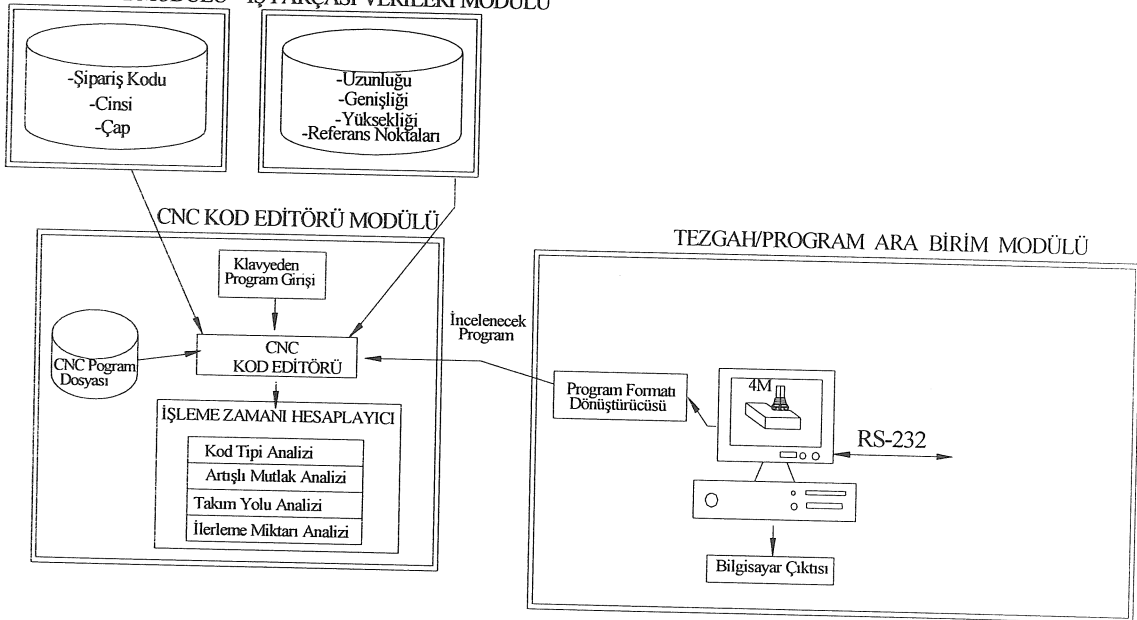
Kesme hızı (v)	: 80 m/dak,
Dönme hızı (n)	: 4200 dev/dak,
Diş başına ilerleme değeri (f_z)	: 0.02 mm/dev,
Talaş kaldırma ilerlemesi (f)	: 285 mm/dak,
Toplam talaş derinliği (a)	: 2 mm,
Her pasodaki talaş derinliği (a_1)	: 0.5 mm,
İşleme ortamı	: Kuru İşleme,
Çakının yana kayma mesafesi (overlap)	: %30

İŞLEME SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ

Bir frezeleme işleminde yüksek verimlilik elde edilebilmesi, talaş kaldırmayı en verimli kılan kesme parametrelerinin doğru belirlenmesi ile sağlanabilir. Esas işleme süresi ve toplam üretim süresi arasındaki oran incelendiğinde esas işleme süresinin kesinlikle ihmal edilemeyecek oranda yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır [5].

Operasyonlara ait işleme süreleri Pınar [6] tarafından daha önce geliştirilen algoritmayla hesaplanmıştır. Çevrimine ait CNC parça programı disketten veya tezgahın RS-232 seri kablosu ile programa aktarılır. Şekil 4'te algoritmaya ait modüller görülmektedir. İşleme süresinin hesaplanması için öncelikle tezgah /program arabirim modülü vasıtasıyla tezgahın CNC programının CNC kod editörüne aktarılması gerekmektedir. Bu işlemin ardından taret (takım başlığı) ve iş parçası modüllerindeki iş parçası ve kesici takımlara ait veri tabanları oluşturulur. İşleme zamanı işlemcisi ile de operasyonlara ait işleme süreleri elde edilir [6].

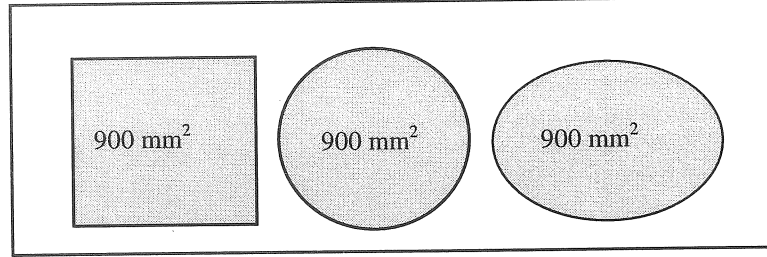
TARET VERİLERİ MODÜLÜ İŞ PARÇASI VERİLERİ MODÜLÜ



Şekil 4. İşleme süresinin hesaplama algoritması.

Şekil 5'deki kare, daire ve elipsten oluşan 3 geometri de 900 mm^2 lik alana sahiptir. Geometrilere için aynı işleme parametreleri kullanılarak Mastercam paket programında G kodları türetilmiştir. Bu kodlar oluşturulan zaman hesaplama algoritması ile analiz edilmiş ve işleme süreleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Deneysel çalışmada 6 cep işleme tipine ait kodların yer aldığı CNC program dosyaları tezgahtan bilgisayara RS-232 seri kablo ile aktarılarak incelenmiştir. Sadece talaş kaldırma hareketlerinin süresi hesaplanmıştır. Tablo 3' de her operasyona ait süreler ve zaman kazançları sunulmuştur. Bu karşılaştırmada en uzun işleme süresi olan Tek Yollu işleme tipi esas alınmıştır



Şekil 5. İşleme süreleri hesaplanan ilkel elemanlar.

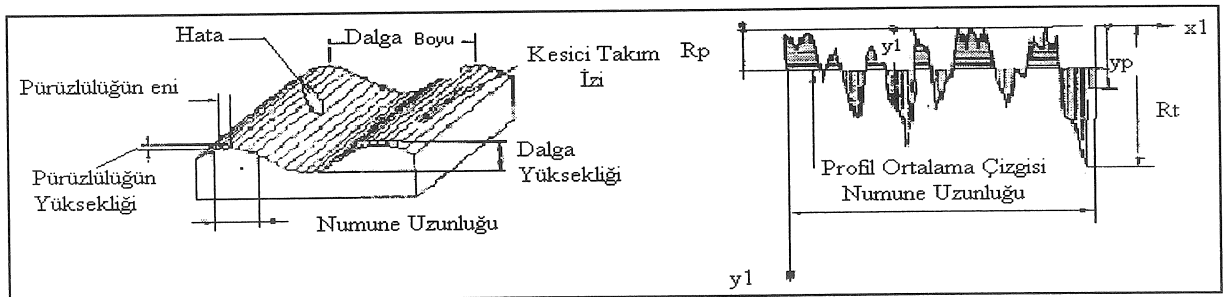
Tablo 3. Cep işleme metodlarına ait işleme süreleri ve zaman kazançları.

İŞLEME TİPİ	İşleme Süresi (dk.)	Yüzdellik Kazanç
Düzgün Spiral	4.16	55.697
S. Kaydırmalı Spiral	4.58	51.224
Zig-Zag	5.03	46.432
Paralel Spiral	5.14	45.260
T. Köşeli Paralel Spiral	5.39	42.598
Tek Yollu	9.39	0

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

İşlenmiş yüzeyin yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlere göre yapılır (Şekil 6). Yüzey pürüzlülükleri (R_a , R_z , R_t), yüzeye ve yüzey izlerine dik bir yönde, profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profili olarak genellikle geometrik profil alınır [5].

Talaş kaldırmada yüksek kesme hızının seçilmesi ile elde edilen yüksek talaş kaldırma oranına karşılık işleme süresi azaltılarak işleme ekonomisi sağlanmaktadır. Özellikle bitirme işlemlerinde yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve istenen değerde olması, kesme hızının optimum değerde verilmesine bağlıdır [7]. Deney numunelerinin işlenmesinde, işleme süresini ve yüzey pürüzlülük değerini en aza indirecek kesme hızı değeri hesaplanarak kullanılmıştır.



Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi [5].

Talaş kaldırma işlemlerinde, ilerleme hızının belirlenmesi aşamasında maksimum ilerlemenin takım uç yarıçapını aşmaması gerekmektedir. Burada kural ilerleme değerinin takım uç yarıçapı değerinin 1/3 katından daha küçük olmasıdır [8]. Kullanılan kesici takım düz parmak freze çakısı olduğundan ilerleme değeri; kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesi ve işlem türüne bağlı olarak standart tablodan seçilmiştir [9].

Yüzey Pürüzlüğünün Ölçülmesi

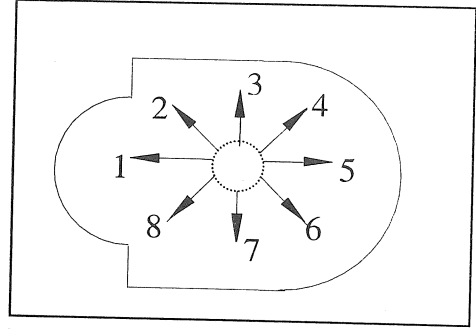
Pürüzlülük oluşumu engellenemez, ama kontrol altına alınabilir. Yüzey pürüzlülüğünü kontrol altına almak veya işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için numunenin özelliklerine göre farklılık gösteren optik mikroskop, profilometreler, kesit alma, dokunma, pnömomatik, ışık yansıması gibi çeşitli metotlar geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde MITUTOYO SURFTEST 211 profilometre cihazı kullanılmıştır.

Örnekleme Uzunluğu (λ_c) = 0.8 mm,

Değerlendirme Boyu (Ucun gezdiği uzunluk) = $L_n = 5 \times \lambda_c = 4\text{mm}$ alınmıştır.

Sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği açısından numuneler 8 farklı yönde ölçülmüştür. Kesici izlerinin tam temsil edilebilmesi için genellikle çevrimin başlangıcına karşılık gelen daire içerisine alınmış bölge ölçme dışında tutulmuştur (Şekil 7). Elde edilen Ra, Rz ve Rt değerlerinin ortalamaları Tablo 4’de sunulmuştur.



Şekil 7. Numunelerin yüzey pürüzlülük ölçme yönleri.

Tablo 4. Cep işleme tiplerine ait pürüzlülük ölçüm sonuçları.

Cep İşleme Tipleri	Ortalama Ra (μm)	Ortalama Rz (μm)	Ortalama Rt (μm)
Düzgün Spiral	1.1463	4.5625	7.3750
Sabit Kaydırmalı Spiral	1.4225	5.7000	9.1500
Zig Zag	0.8800	3.7000	5.6125
Paralel Spiral	1.7600	7.0125	10.425
Temiz Köşeli Paralel Spiral	1.2350	5.1250	8.0125
Tek Yollu	1.2375	5.0375	7.7875

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 6 cep işleme metodu, yüzey pürüzlülüğü ve işleme süresi kriterine göre incelenmiştir. Bu inceleme, öncelikle cep işleme tipleri daire, kare ve elips gibi üç basit geometri üzerinde denenmiş ve işleme süreleri belirlenmiştir. Bu sonuca göre; üç geometri içinde doğru spiral metodunda en düşük işleme süresi, tek yollu metotta da en uzun işleme süresi elde edilmiştir. Deneysel olarak yapılan Şekil 3’deki geometride de en düşük ve en fazla işleme sürelerinin aynı metotlarla elde edildiği görülmüştür. Bu zaman farklarının oluşmasındaki sebepler; deneyler esnasındaki gözlemlere ve simülasyon görüntülerine dayanarak, takımın talaş kaldırmadan yaptığı hareketlerin fazlalığı ve toplam işleme boylarının metotlara göre

farklılık göstermesidir. Özellikle tek yollu cep işleme tipinde, her bir pasodan önce kesici, başlangıçtaki mesafesine gelip hareketine o noktadan devam ettiğinden takımın boşa hareketleri artmaktadır. Özellikle dairesel yörüngeli cep işleme tiplerinde, toplam işleme uzunluğunun daha da kısaldığı böylelikle zaman tasarrufu sağlandığı görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü kriteri açısından 6 farklı cep işleme yöntemi incelendiğinde, elde edilen Ra, Rz ve Rt yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 4’de sunulmuştur. Buna göre Zig-Zag Cep İşleme Metodu ile aynı kesme şartlarında en düşük ortalama yüzey pürüzlülük değerine ulaşılmıştır.

Elde edilen veriler ışığında, Mastercam paket programında hazırlanan bu cep işleme tiplerinden, süre olarak en iyi değere ulaşılan Düzgün spiral metodu cebin kaba işlenmesinde, Zig-Zag tipli işleme metodu da son pasoda tavsiye edilebilir.

THE INVESTIGATION OF DIFFERENT POCKET MACHINING CYCLES IN TERMS OF SURFACE ROUGHNESS AND MACHINING TIME CRITERIAS

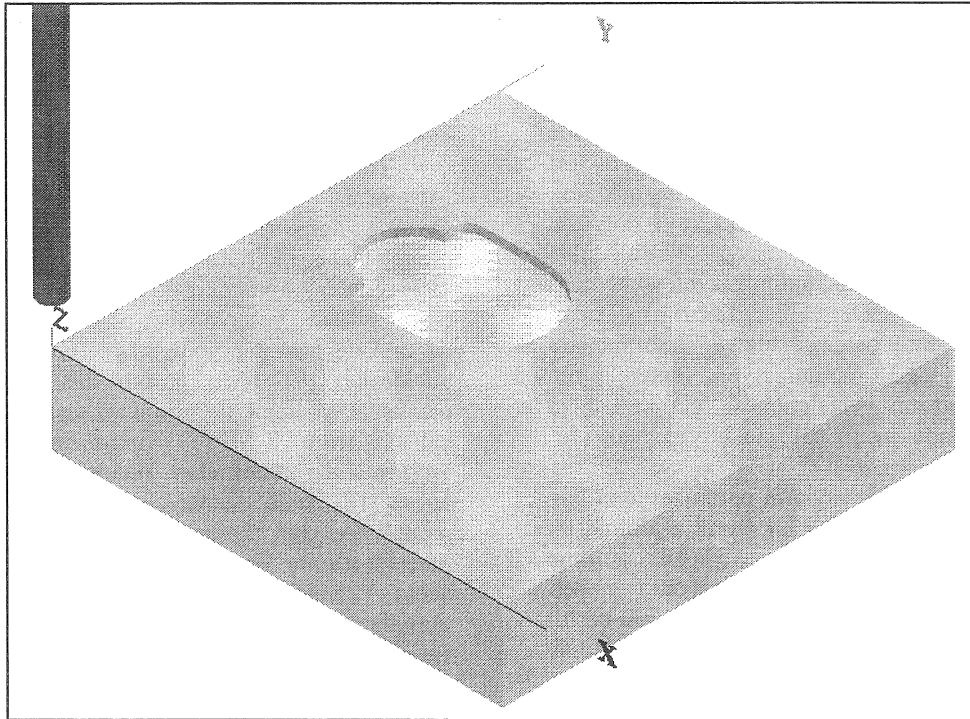
In this article, DYNA MYTE 2900 Vertical Machining center is investigated according to the criteria of the most used six pocket machining cycles, time and surface roughness by removing chips from the C1040 material. This criteria is determined by an algorithm calculating the machining times of the pocket machining cycles. In order to determine surface roughness, on the surface of each example, calculations have been made with Mitutoyo Surf-test-211 Profilometer in different directions. Then average values of surface roughness have been shown by calculating measurement results. The Pocket machining types which give the best results for each criteria have been suggested.

Keywords: Pocket milling, surface roughness, CAD/CAM, tool path, machining time

KAYNAKÇA

1. Yung, H.Y., Su, N., Integrated Tool Path And Feed Rate Optimization For The Finishing Machining of 3D Plane Surfaces, *International Journal of Machine Tools And Manufacturing*, 40 (2000), 1557-1572.
2. Wong, T.N., Wong, K.W., NC Toll Path Generation For Arbitrary Pockets With Islands, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 12 (1) (1996), 174-183.
3. Dereli, T., Filiz, H., Automatic Code Generation In Process Planning of Rotationals And Prismatic Parts, *Journal of Polytechnic*, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, 3 (2) (2000) 1-25.
4. Vosniakos, G., Papapanagiotu, P., Multiple Tool Path Planning of Convex Pockets Without Islands, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 16 (2000), 425-435.
5. Motorcu, A. R., *BSD Freze Tezgahlarında Optimum Zaman, Maliyet ve Kalite Açısından Üretim İçin Bir Bilgisayar Programının Hazırlanması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
6. Pinar, A., *CNC Frezelemede Alternatif Başlama Noktaları Ve İşlem Basamaklarına Göre Zaman Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, 2000.
7. Akkurt, M., *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1996.
8. Çakır, C., *Talaş Kaldırma Mekaniği Ders Notları*, Uludağ Üniversitesi, Ankara, 1997.
9. Kulaksız, Ö., *Metal Meslek Bilgisi* (Çeviri), Ajans Türk Gazetecilik ve Matbaacılık A.Ş., Ankara, 1995.

EK



Şekil 8. Parçanın simülasyon görüntüsü.

Necmettin Kaya
Öğr. Gör. Dr.

Ferruh Öztürk
Prof. Dr.

Uludağ Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık
Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü
16059 BURSA

Dikdörtgen Kesitli Disk Yayların Optimum Kesit Tasarımı

Bu çalışmada, iki farklı optimizasyon yöntemi ile iç çap, dış çap, kalınlık, yükseklik ve yükü verilen disk yayların kesit optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Amaç fonksiyonu olarak disk hacminin azaltılması ile aksenal deformasyon ve gerilme değerleri kısıtlarından oluşan bir optimizasyon modeli kurulmuştur. Yapılan optimizasyon çalışmasının geçerliliğini göstermek için örnek bir disk yayın optimizasyonu ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Disk yay, kesit optimizasyonu

GİRİŞ

Rekabetin çok yoğun yaşandığı günümüzde, ürünlerin kısa zamanda, kaliteli ve düşük maliyetlerde üretilmesi, firmaların pazarda pay alabilmeleri açısından önem taşımaktadır. Son yıllarda araştırmacıların yoğun ilgi duyduğu alanlardan birisi, tasarımda optimizasyon uygulamalarıdır. Tasarım problemlerinin çözümünde en iyinin elde edilmesine yönelik tasarım işlemleri optimizasyon olarak adlandırılır. Optimizasyon işlemlerinin yapılabilmesi için tasarım konseptinin matematiksel model olarak tanımlanması gerekir. Seçilecek çözüm yöntemi ve sonuçların geçerliliği modelin doğru tanımlanmasına ve yapısına bağlıdır.

Tasarım optimizasyon problemleri genellikle doğrusal olmayan yapıda, kısıtların yer aldığı ve çok sayıda tasarım değişkeninden oluşan modeller olduğu için çoğu zaman analitik yöntemlerle çözülememektedir. Bu tip problemlerin çözümünde sayısal çözüm yöntemleri kullanılmakta ve gerekirse model üzerinde dönüşümler uygulanmaktadır. Problemin kısıt içermeyen bir yapıya veya doğrusal modele dönüştürülmesi sıkça kullanılan yaklaşımlardır. Son yıllarda, optimizasyon yöntemleri BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) ticari programların bir parçası olarak tasarımcılara sunulmaktadır. [1,2,3] Optimizasyon yöntemlerinin uygulama alanlarının genişletilmesi için kullanılan yöntemler üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. [4,5,6]

Bu çalışmada, disk yayların optimizasyonu için amaç fonksiyonu olarak disk hacminin azaltılmasını ve kısıtlar için aksenal deformasyon ile gerilme ifadelerini içeren bir optimizasyon modeli kurulmuştur. Yayların optimizasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar literatürde yer almakla birlikte, disk yaylarla ilgili araştırmalar oldukça azdır. Bu nedenle, literatürde yer alan çalışmalara katkısı olması için disk yayların tasarım optimizasyonu ele alınmıştır.

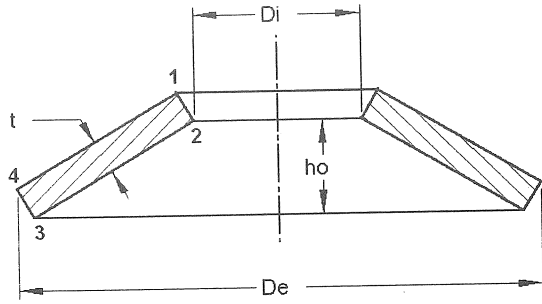
Disk yaylarla ilgili verilen gerilme ifadelerine ek olarak hacim ve deformasyon ifadeleri çıkarılmıştır. İki farklı optimizasyon yöntemi uygulanarak, oluşturulan modelin geçerliliği kontrol edilmiştir.

DİSK YAYLAR

Disk yaylar, eksenleri yönünde h_0 hadar konikleşmiş halkalardır (Şekil 1). Halkanın radyal kesiti dikdörtgen veya trapez olabilir. Çok büyük kuvvetler ve çok küçük yaylanma söz konusu olduğu yerlerde kullanılırlar. Takım tezgahlarında, valflerde gergi elemanı olarak, krenlerde, taşıtlarda titreşim sönmüleyici olarak uygulama alanı bulmuşlardır. Ayrıca otomobillerin fren sistemlerinde içten yarıklı disk yaylar kullanılmaktadır. Tek yayın gereken yaylanma miktarını sağlayamadığı veya gelen yükü taşıyamadığı durumlarda aynı yönde üst üste veya ters yönde üst üste konarak istenilen özellikte yay elde etmek mümkündür. [7]

Yayların optimizasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar literatürde yer almakla birlikte, disk yaylarla ilgili araştırmalar oldukça azdır. Teorik hesaplamalar ilk defa Almen ve Laszlo tarafından 1936 yılında yayınlanmıştır. Curti ve Montanini [8], disk yayların hesaplamalarında sürtünme kuvvetini de dikkate alan bir yöntem önermişlerdir. Nam ve arkadaşları [9], içten yarıklı disk yayların sonlu elemanlar yöntemi ile optimum tasarımı konusunda çalışmışlardır. Şekil optimizasyonu konusu araştırmacılar tarafından oldukça ilgi görmüştür. Kress [10] sonlu elemanlar yöntemi ve analitik bir model ile bir kasağın şekil optimizasyonunu gerçekleştirmiş, Botkin [11] iki boyutlu tork kolunun sonlu elemanlar yöntemini kullanarak şekil optimizasyonu konusu ile ilgilenmiştir. Bu çalışmada, iç çap, dış çap, kalınlık, yükseklik ve yükü verilen disk yayların kesit optimizasyonu iki farklı yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Birinci yöntemde disk yayın optimizasyonu için gerekli

hacim, gerilme ve deformasyon ifadeleri kullanılmıştır. Disk yay kataloglarında [12,13] verilen gerilme ifadelerine ek olarak bu çalışmada, hacim ve deformasyon ifadeleri çıkarılmıştır. Şekil 1' de disk yay kesit resmi ve temel tasarım parametreleri görülmektedir.



Şekil 1. Disk yay tasarım parametreleri

Disk yayın optimizasyonunda amaç fonksiyonu olarak disk hacmi seçilmiş ve verilen kısıtları sağlayacak minimum değerde olması istenmiştir. Kısıtlayıcılar ise disk üzerinde oluşan maksimum gerilme ve diskin aksel yöndeki deformasyon miktarıdır. Disk yayın modellenmesinde kullanılan tasarım parametreleri;

D_e : dış çap,
 D_i : iç çap,
 h_o : yükseklik,
 t : kalınlık

olarak alınmıştır.

DİSK YAY HESAPLARI

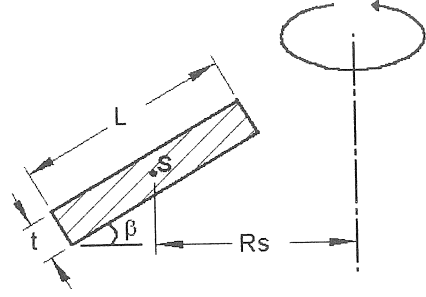
Hacim

Bu çalışmada ele alınan disk yay dikdörtgen kesite sahiptir. Disk yay, bu kesitin bir eksen etrafında döndürülmesi ile elde edilir. Kesitin döndürülmesi ile elde edilen katı cismin hacminin bulunması için Pappes-Gulden teoremi kullanılmıştır. Bu teoreme göre; şekil 2'deki dikdörtgen disk yay kesitinin eksen etrafında döndürülmesi ile elde edilen hacim ifadesi;

$$V = 2\pi R_s A \quad (1)$$

şeklinde yazılır. Burada;

R_s : kesit ağırlık merkezinin eksene olan uzaklığı,
 A : kesit alanı' dır.



Şekil 2. Disk yay kesitinin eksen etrafında döndürülmesi

(1) ifadesinde R_s ve A değerleri açılırsa;

$$V = 2\pi \frac{D_e + D_i}{4} \frac{h_o t}{\sin\beta} \quad (2)$$

elde edilir. β parametresini hacim denkleminde yok etmek için;

$$\tan\beta = \frac{2h_o}{D_e - D_i - 2t\sin\beta} \quad (3)$$

yazılır. (2) ve (3) denklemlerinden β yok edilerek;

$$V = 0.7854 \sqrt{(D_e + D_i)^2 (D_e^2 - 2D_e D_i + D_i^2 + 4h_o^2)} t^2 \quad (4)$$

hacim denklemi küçük β açıları için disk yay parametrelerine bağlı olarak elde edilir. Bulunan bu denklemi doğrulamak için, (4) denkleminde elde edilen değerler ile katı modelleme programlarında oluşturulan disk yayların hacim değerleri karşılaştırılmış ve birbirine çok yakın değerler olduğu gözlenmiştir ($\beta=2.5^\circ$ için fark %0.14, $\beta=9.5^\circ$ için fark %0.25).

Gerilmeler

Yay üzerine etki eden F kuvveti altında yayın alt kısmı genişler (çeki zorlaması), üst kısmı ise daralır (bası zorlaması). Dikdörtgen kesit üzerinde oluşan gerilme ifadeleri [13];

$$\sigma_1 = -k \frac{s t}{K_1 D_e^2} \left[K_2 \left(\frac{h_o}{t} - \frac{s}{2t} \right) + K_3 \right] \quad (5)$$

$$\sigma_2 = -k \frac{s t}{K_1 D_e^2} \left[K_2 \left(\frac{h_o}{t} - \frac{s}{2t} \right) - K_3 \right] \quad (6)$$

$$\sigma_3 = -k \frac{s t}{K_1 D_e^2 \delta} \left[(K_2 - 2K_3) \left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) - K_3 \right] \quad (7)$$

$$\sigma_4 = -k \frac{s t}{K_1 D_e^2 \delta} \left[(K_2 - 2K_3) \left(\frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) + K_3 \right] \quad (8)$$

şeklinde. Yukarıda verilen gerilme değerleri Şekil 1' de görülen noktalarda oluşan normal gerilmelerdir. 1 ve 4 noktalarında bası, 2 ve 3 noktalarında ise çeki gerilmesi oluşmaktadır. Burada çelikler için;

$$k = \frac{4E}{1 - \mu^2} = 905495 \text{ N/mm}^2, \text{ dir.}$$

Gerilme ifadelerindeki s değeri, F kuvveti altında oluşan aksel yöndeki deformasyon değeridir. δ çaplar arasında bir oran olmak üzere K_1 , K_2 ve K_3 katsayıları şu şekildedir;

$$\delta = \frac{D_e}{D_i}, \quad K_1 = \frac{1}{\pi} \frac{\left(\frac{\delta - 1}{\delta} \right)^2}{\frac{\delta + 1}{\delta - 1} - \frac{2}{\ln \delta}},$$

$$K_2 = \frac{1}{\pi} \frac{6}{\ln \delta} \left(\frac{\delta - 1}{\ln \delta} - 1 \right),$$

$$K_3 = \frac{3}{\pi} \frac{\delta - 1}{\ln \delta} \quad (9)$$

Deformasyon

Deformasyon değiştiğinde gerilmeler aynı oranda değişmediğinden disk yayların yay karakteristikleri doğrusal değildir. Kuvvet ile deformasyon arasındaki ilişkiyi veren ifade [7,12,13];

$$F = 905495 \frac{t s}{K_1 D_e^2} \left[(h_0 - s)(h_0 - 0.5s) + t^2 \right] \quad (10)$$

olarak verilmektedir. Verilen kuvvet altında oluşan deformasyon ifadesini elde etmek için s değeri (10) nolu denklemde çekilirse;

$$s = \frac{b h_0}{3a} - \frac{2^{1/3} s_1}{3a t \left(s_2 + \sqrt{4s_1^3 + s_2^2} \right)^{1/3}} + \frac{\left(s_2 + \sqrt{4s_1^3 + s_2^2} \right)^{1/3}}{2^{1/3} 3a t} \quad (11)$$

elde edilir. Burada;

$$s_1 = -b^2 h_0^2 t^2 + 3a c t \left(h_0^2 t + t^3 \right) \quad (12)$$

$$s_2 = 27a^2 F t^2 + 2b^3 h_0^3 t^3 - 9a b c h_0 t^2 (h_0^2 t + t^3) \quad (13)$$

$$a = \frac{452747.5}{K_1 D_e^2}, \quad b = \frac{1358242.5}{K_1 D_e^2}, \quad c = \frac{905495}{K_1 D_e^2} \quad (14)$$

DİSK YAY KESİT OPTİMİZASYONU

Disk yayın optimizasyonu için disk yay optimizasyon modeli oluşturulmuş ve bu model MATLAB Optimization Toolbox [14] programı ile çözülmüştür. İkinci çözüm yönteminde disk yay sonlu elemanlar modeli ANSYS [15] programında oluşturulmuş ve Design Optimization modülünde optimum boyutlar elde edilmiş ve her iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca disk yay hesaplarını yapan bir program geliştirilmiştir (Şekil 3).

Optimizasyon Modeli

MATLAB programı optimizasyon işleminde SQP (sequential quadratic programming) yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem ile doğrusal olmayan optimizasyon problemleri çözülebilmektedir. Genel bir optimizasyon problemi şu şekilde ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} \text{Amaç fonksiyonu} & : f(x) \\ \text{Kısıtlayıcı fonksiyonlar} & : G_i x = 0 \quad i=1, \dots, m_e \\ & G_i(x) \leq 0 \quad i=m_e+1, \dots, m \\ & x_1 \leq x \leq x_u \end{aligned}$$

Bu problem Lagrange fonksiyonunun kuadratik yaklaşımı ile kuadratik programlama (QP) alt problemine dönüştürülür.

$$L(x, \lambda) = f(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x) \quad (15)$$

Burada kısıtlayıcılar eşitsizlik şeklinde düşünülmüştür. Doğrusal olmayan kısıtların doğrusal hale dönüştürülmesi ile QP alt problemi elde edilir. Bu alt problem herhangi kuadratik programlama çözüm yöntemlerinden birisi ile çözülür. Elde edilen çözüm yeni bir iterasyon için kullanılır;

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k \quad (16)$$

Bu eşitlikteki adım büyüklüğü parametresi (α_k) uygun çizgi arama teknikleri ile belirlenir. [14]

Disk yayın optimizasyonunda tasarım değişkeni olarak h_0 (yükseklik) ve t (kalınlık) boyutları seçilmiştir. $D_e=40$ mm, $D_i=16.3$ mm, $F_i=1222$ N olarak alınmış [12] ve K_1 , K_2 ve K_3 katsayıları şu

şekilde bulunmuştur: $K_1=0.756$, $K_2=1.318$, $K_3=1.546$. Bu değerlerin (4) ifadesinde yerine konması ile minimize edilecek amaç fonksiyonu (hacim):

$$f(h_o, t) = 44.218 \sqrt{561.69 + 4h_o^2} t^2 \quad (17)$$

şeklinde elde edilir.

Kısıtlayıcılar (g_1 : deformasyon miktarı (s), g_2 : 1 nolu noktadaki gerilme (σ_1)):

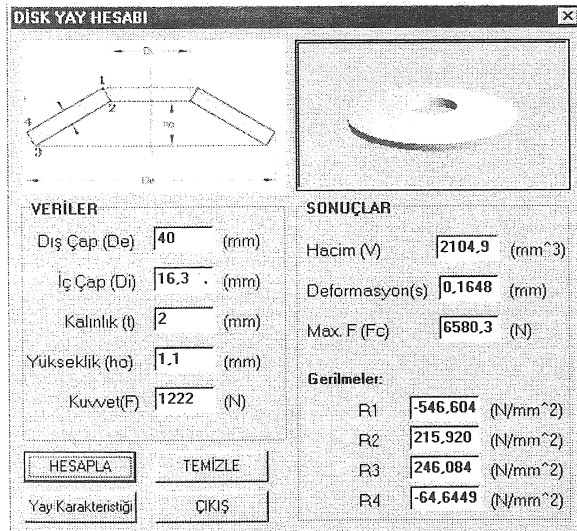
$$g_1 = \frac{b h_o}{3a} - \frac{2^{1/3} s_1}{3a t \left(s_2 + \sqrt{4s_1^3 + s_2^2} \right)^{1/3}} \quad (18)$$

$$+ \frac{\left(s_2 + \sqrt{4s_1^3 + s_2^2} \right)^{1/3}}{2^{1/3} 3a t} \leq 0.825 \text{ mm}$$

$$g_2 = 748.59 s t \left(1.546 + 1.318 \left(\frac{h_o}{t} - \frac{s}{2t} \right) \right) \leq 700 \text{ N/mm}^2 \quad (19)$$

Disk yaylarda izin verilen deformasyon sınırı $s=0.75 h_o$ olduğundan aksenal deformasyon sınırı 0.825 mm'dir [7]. Disk kesitinde oluşan mutlak değerce maksimum gerilme değeri 1 nolu noktada (şekil 1) olduğundan kısıtlayıcı olarak bu noktadaki gerilme ifadesi alınmıştır. Disk malzemesinin maksimum gerilme değeri 700 N/mm^2 olarak belirlenmiştir. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst sınırları, $0.95 < h_o < 1.4$ ve $1.25 < t < 2.5$ ve optimizasyon parametrelerinin başlangıç değerleri $h_o=1.1$ ve $t=2$ mm olarak alınmıştır. [12]

Disk yay hesaplamaları için yazılan programda, başlangıç boyutları için elde edilen değerler Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Başlangıç değerleri ve sonuçlar

Verilen kısıtları sağlayacak şekilde minimum disk hacmini elde etmek için MATLAB Optimization Toolbox [14] programı kullanılmıştır. Programda amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı fonksiyonlar ve tasarım parametrelerinin alt ve üst limitleri verildikten sonra elde edilen optimum değerler şu şekildedir:

$h_o=1.4$ mm ve $t=1.70$ mm.

Bu boyutlara karşılık gelen hacim, gerilme ve deformasyon değerleri ise $V=1800.7 \text{ mm}^3$, $\sigma_1=700 \text{ N/mm}^2$, $s=0.215$ mm şeklinde bulunur. Burada verilen kısıtları sağlayan minimum hacim değeri olarak 1800.7 mm^3 bulunduğu görülmektedir.

Sonlu Elemanlar Optimizasyon Modeli

Disk yayın sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kesit optimizasyonu için ANSYS [15] programı kullanılmıştır. Programda optimizasyon iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, yaklaşım teknikleri kullanılarak, amaç ve kısıtlayıcı fonksiyonlar, kuadratik fonksiyonlar ile tanımlanır. İkinci aşamada, kısıtlayıcı içeren alt problem, kısıtlayıcı içermeyen optimizasyon problemine dönüştürülür. Kısıtlayıcı içermeyen bu problemin optimum değeri SUMT (sequential unconstrained minimization technique) yöntemi ile bulunur. Yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanan işlemler ile optimum değere ulaşılır. Bu yöntemde her tekrar işleminde kullanılan fonksiyon;

$$\phi_k = F(1 + r_k)(\sum P_{nk} + \sum P_{mk}) \quad n=1,2,\dots,N \quad (20)$$

$$m=1,2,\dots,M$$

Burada;

- ϕ_k : k tekrar işlemine karşılık gelen optimizasyon bölgesini belirleyen fonksiyon,
- F : yaklaşımla bulunmuş amaç fonksiyonu,
- P_{nk} : tasarım değişkeni x_n ve optimizasyon bölgesini belirleyen ϕ_k fonksiyonu için ceza fonksiyonu,
- P_{mk} : kısıtlayıcı değişkeni G_m ve optimizasyon bölgesini belirleyen ϕ_k fonksiyonu için ceza fonksiyonu,
- r_k : ceza parametresi,
- M,N : toplam kısıtlayıcı ve tasarım değişkeni sayısı.

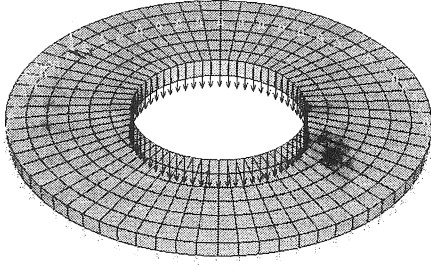
SUMT ceza parametresinin sıralı değerleri sonucu orijinal problemin optimum değerine ulaşılır. Kullanılan ceza fonksiyonu "extended interior" ceza fonksiyonudur. [15]

ANSYS programında oluşturulan sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları Şekil 4'te görülmektedir. Model aksenal simetrik olduğu için simetrik sonlu elemanlar modeli oluşturulup simetrik sınır şartları verilebilir. Ancak bu çalışmada modelin basitliği ve eleman sayısının az olması dolayısıyla modelin tümü dikkate alınmıştır.

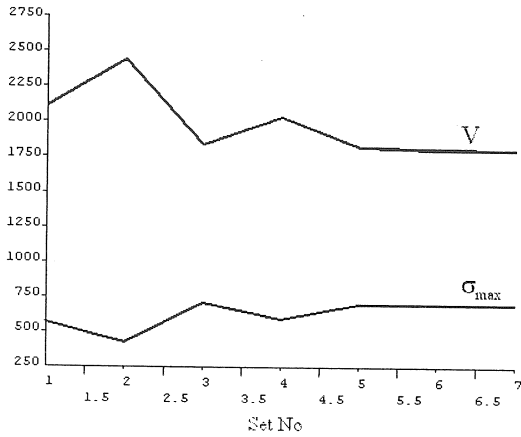
Sınır şartları olarak, disk yayın üst kısmına F kuvveti yayılı yük olarak uygulanmış ve alt yüzeye temas eden dairesel bölge üzerinde bulunan düğüm noktalarının düşey yöndeki (y) yerdeğiştirme serbestlik dereceleri sıfırlanmıştır.

$D_e=40$ mm, $D_i=16.3$ mm, $h_0=1.1$, $t=2$ mm ve $F=1222$ N için analiz sonuçları;

$\sigma_{max} = -563.63$ N/mm², eksenel deformasyon $s=0.166$ mm ve hacim $V=2115.4$ mm³' tür. Bu sonuçlar Şekil 3' te analitik olarak hesaplanan değerlere oldukça yakındır.



Şekil 4. Disk yay sonlu elemanlar modeli ve sınır Şartları



Şekil 5. Hacim ve gerilme değerlerinin değişimi

ANSYS programında optimizasyon için seçilen amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı fonksiyonlar ve optimizasyon parametrelerinin sınırları bir önceki optimizasyon yönteminde olduğu gibidir. Aynı şartlarda yapılan optimizasyonun aşamaları ve elde edilen optimum değerler şu şekildedir;

Optimum değerler Tablo 1' de Set 7 kolonunda görülmektedir. Elde edilen optimum değerler bir önceki yöntemden elde edilen değerlerle benzerlik taşımaktadır. Amaç fonksiyonu ve maksimum gerilme değerinin değişim grafiği Şekil 5' te verilmiştir.

Böylece istenen şartları sağlayan en uygun h_0 ve t değerleri sırasıyla 1.4 ve 1.7 bulunmuştur. Optimizasyon sonucunda disk yay hacminde başlangıç durumuna göre %15 tasarruf sağlanmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada, verilen F kuvvetine karşılık gelen eksenel deformasyon ve disk yayın hacim denklemleri çıkarılmış ve optimizasyon modelinde kullanılmıştır. Geliştirilen model temelinde, disk yay tasarımında bilgisayar destekli optimizasyon uygulaması sonucunda ilk tasarıma göre toplam hacimde azalma sağlanmıştır.

MATLAB Optimization Toolbox ve ANSYS programları kullanılarak elde edilen iki ayrı optimizasyon sonuçları benzerlik göstermektedir. Ancak, ilk yöntemde amaç ve kısıtlayıcı fonksiyonlarını analitik olarak ifade etme zorluğu gözlenmiştir. Özellikle karmaşık geometrilere sahip modellerin optimizasyonlarında sonlu elemanlar programlarının optimizasyon modülleri tercih edilmelidir.

Önerilen modelin geçerliliğini kontrol etmek için, sayısal çözüm ile elde edilen sonuçların, deneysel çalışmaların sonuçlarıyla doğrulanması gerekmektedir. Bu nedenle, bundan sonra yapılacak çalışmalar kapsamında, deneysel analizler ele alınmalıdır.

Tablo 1. ANSYS programında optimizasyon aşamaları

	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Set 6	Set 7
max gerilme (σ_{max})	563.6	423.3	702.5	592.2	695.3	697.9	698.8
deformasyon(s)	0.166	0.112	0.220	0.175	0.214	0.214	0.214
kalınlık (t)	2.000	2.309	1.735	1.921	1.714	1.704	1.701
yükseklik (h_0)	1.100	1.155	1.261	1.228	1.371	1.392	1.397
hacim (V)	2115.4	2446.6	1837.5	2035.9	1818.4	1807.9	1805.0

OPTIMAL DESIGN OF DISK SPRINGS WITH RECTANGULAR-SECTION

In this study, shape optimization of disk springs for given inner diameter, outer diameter, thickness, height and load is presented using two different optimization techniques. The objective function is defined as to minimize the disc volume and the constraints are selected as limits on deformation and stress values. The objective and constraint functions are derived to establish the mathematical model of optimization problem. An illustrative example is given to show the optimization procedure steps and to verify the results of proposed optimization model.

Keywords: Drok spring, section optimization.

KAYNAKÇA

1. Ward, P ve Cobb, W.G.C., Application of I-DEAS Optimisation for the Static and Dynamic Optimisation of Engineering Structures, Ed. C.A. Brebbia ve S. Hernandez, *Computer Aided Design of Structures, Proc. of the First Int. Conf.*, Southampton, Uk, 33-50, 1989.
2. Vanderplaats, G.N., Miura, H., Nagendra, G. and Wallerstein, D., Optimisation of Large Scale Structures using MSC/NASTRAN, Ed. C.A. Brebbia ve S. Hernandez, *Computer Aided Design of Structures, Proc. of the First Int. Conf.*, Southampton, UK, 51-68, 1989.
3. Müller, G., Tiefenthaler, P. ve Imgrund, M., Design Optimisation with the Finite Element Program - ANSYS, *International Series of Numerical Mathematics*, 110 (1993) 43-53.
4. Bates, R.A., Gilliver, R., Hughes, A., Shahin, T., Sivaloganathan, S. ve Wynn, H.P., Fast optimization of Mechanical Designs Using Computer Aided Design/Computer Aided Engineering Emulation: a Case Study, *Proc. Instn Mech Engrs Part D*, 213 (1999) 27-35.
5. Yeh, T.P. ve Vance, J.M., Applying Virtual reality Techniques to Sensitivity-Based Structural Shape Design, *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, 120 (1998) 612-619.
6. Samareh, J.A., Status and Future of Geometry Modeling and Grid generation for Design and Optimization, *Journal of Aircraft*, 36 (1999) 97-104.
7. Babalık, F.C., Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri – Cilt 1, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı*, 323-333, Bursa, 1997.
8. Curti, G. ve Montanini R., On the Influence of Friction in the Calculation of Conical Disk Springs, *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, 121 (1999), 622-627.
9. Nam, W., Lee C. ve Kwon J., Finite Element Analysis and Optimal Design of Automobile Clutch Diaphragm Spring, *Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress*, June 12-15, Seoul, Korea, 2000.
10. Kress, G.R., Shape Optimization of a flywheel, *Struct Multidisc Optim*, 19 (2000), 74-81.
11. Botkin, M.E., Shape Optimization of Plate and Shell Structures, *AIAA Journal*, 20 (1982) 2, 268-273.
12. Belleville Springs User's Guide and Catalogue, *Belleville Springs Ltd.*
13. Key Bellevilles Engineering Handbook, *Key Bellevilles Inc.*
14. MATLAB Optimizatin Toolbox User's Guide, *The Mathworks Inc.*, 1996.
15. ANSYS 5.5, Theory Manual, *ANSYS Inc.* 1998

Nizamettin KAHRAMAN

Araştırma Görevlisi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gazi Üniversitesi
06500 ANKARA

Behçet GÜLENC

Yardımcı Doçent
Teknik Eğitim Fakültesi
Metal Eğitimi Bölümü
Gazi Üniversitesi
06500 ANKARA

Alev Spreyleme Yöntemiyle Kaplanan Malzemelerde Kaplama Tabakası ve Arayüzeyinin İncelenmesi

Bu çalışmada, değişik tozlar kullanılarak, yüzeyleri dişsiz ve dişli olarak hazırlanmış numuneler üzerine sıcak ve soğuk alev spreyleme yöntemi kullanılarak kaplama işlemi yapılmış ve kaplamaların altlık malzeme-kaplama tabakası arayüzey geçişleri incelenmiştir. Metalografik incelemeler sonucu yüzeyleri dişli olarak hazırlanmış numunelerin, diğer numunelere göre altlık malzeme-kaplama tabakası arayüzey geçiş bölgelerinin daha düzgün olduğu görülmüştür. Kaplama yönteminin sıcak veya soğuk oluşu, arayüzeyi fazla etkilememiştir. Ayrıca, numunelere ısıl şok uygulanmış ve ısıl şok sonrası numunelerde gözle görülebilir çatlak, ayrılma ve şekil bozukluğu görülmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Alev spreyleme, termal şok, arayüzey bağı

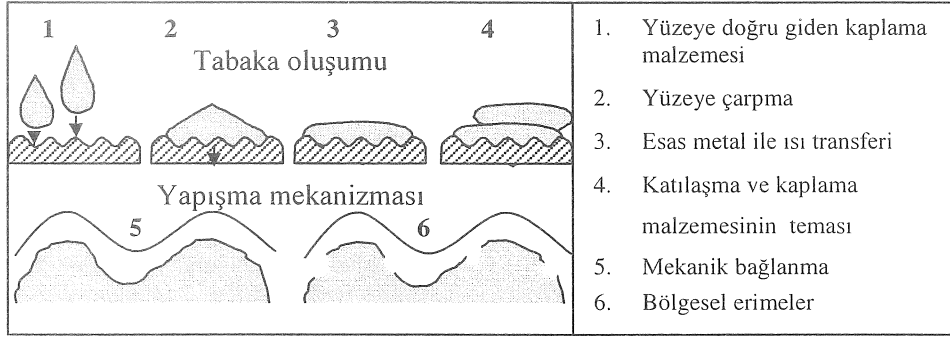
GİRİŞ

Metallerden yapılan çoğu parçalar çeşitli yöntemlerle kaplanırlar. Kaplamanın temel sebepleri; korozyon direncini sağlamak, parçanın görünümünü iyileştirmek, aşınma direncini arttırmak veya yüzeyin sürtünmesini azaltmak, elektrik iletkenliğini ve direncini arttırmak, daha sonraki işlemler için metal yüzeyler hazırlamak ve çalışma esnasında aşınmış yüzeyleri tekrar ölçüsüne getirmek olarak sıralanabilir. Metal dışı malzemeler de bazen kaplanabilirler. Yansıtmayı engellemek amacıyla da optik merceklere ve camlara uygulanabilir [1].

Termal sprey işlemi yüksek performanslı malzemelerin daha kolay ve ekonomik olarak hazırlanmış altlık malzemeye kaplanması işlemidir. Kaplama malzemesi tel veya çubuk olarak bir gaz alevinin içine sürülür. Argon, azot vb. gaz ortamında kaplama malzemesi ergitilir ve atomize edilir. Basınçlı gaz, 10-50 µm'lik parçacıkları kaplanacak yüzeye gönderir. Parçacıklar yüzeye çarpıp, soğuması ile kaplama tabakası oluşur. Bu işlem sırasında altlığa çok az miktarda ısı gönderilir (100-260°C). Termal spreyleme işlemi, istenmeyen metalurjik değişimler veya aşırı distorsiyon oluşturmaz ve kaplamalar ince ve hassas parçalara veya plastik gibi ısıya duyarlı parçalara da uygulanabilir [2].

Yüzeye farklı bir malzemeden ilave bir kaplamanın yapıldığı ısıl püskürtme yöntemlerinin uygulanması endüstri de her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Zira metallerden ve oksitlerden, seramik ve camlı metallere kadar geniş bir dağılım aralığındaki malzemeleri içeren ısıl püskürtme kaplamaları, ana malzemenin beklenilmeyen ve gereksiz olan hasarından dolayı başta üreticiler olmak üzere herkesin dikkatini çekmektedir. Parçayı tamamen yenilemek için gerekli olan masrafın az bir bölümüyle ve çeşitli ısıl püskürtme yöntemleri ile uygulanan yeni yüzey malzemesi, bu tür parçalara ilave ömür kazandırmaktadır [3].

Termal spreylemiş kaplamalar, hazırlanmış bir alt tabaka üzerine çok ince, ergimemiş (yada yumuşatılmış) partiküllerin yönlendirilmesi ile üretilir. Normal olarak kaplamalar yapışma, gözeneklilik seviyeleri ve oksit içeriği yardımıyla karakterize edilir [4]. Genel olarak daha yüksek partikül hızı daha iyi yapışmayı, daha düşük gözeneklilik ve yoğunluk, aşınmaya karşı direnci yüksek olan kaplamaları meydana getirir [5]. Şekil 1 ısıl püskürtme tabakası oluşumunu göstermektedir.



Şekil 1. Isıl püskürtme tabakası oluşumu [6].

Termal spreyleme, kaynaklı kaplamadan farklı olarak iki ayrı avantaj göstermektedir. Bunlardan ilki; seramik gibi kaynak edilebilir olmayan kaplama malzemelerine uygulanabilir olması, ikincisi ise, kompozisyon yada çarpılmaya eğilimliliği yüzünden kaynakla kaplamaya uygun olmayan malzemeler için yapılacak kaplamalara uygulanabilirliğidir. Genel olarak, altlık üzerinde az yada hiç, çarpılma, eriyik ve metalurjik darbe mevcut değildir [7].

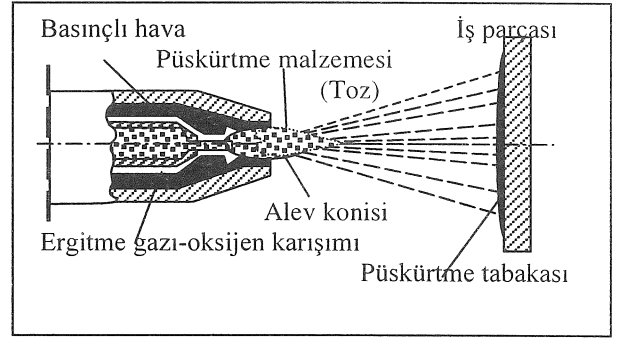
Temizlenmiş alt tabakaya kum püskürtülerek veya pürüzlendirilerek yapışma genel olarak artırılır. Kaynaklı kaplamalar haricinde kaynaşma ile (birleşmeyle) ya altlık yada kaplamanın yoğunluğunda düşme meydana gelmez ve kaplama malzemesinin ergime derecesi altlık malzemesinin ergime derecesinden daha yüksek olabilir. Spreylenmenin bir avantajı da az yada hiç ön veya son ısı işlemini gerektirmeyişidir [7,8].

Termal spreyleme genel olarak dört grup altında incelenebilir [9]. Bunlar; 1) Alev spreyleme, 2) Plazma spreyleme, 3) Ark spreyleme, 4) Detonasyon alev spreylemedir. Termal spreyleme ailesine katılan en son yöntem, Yüksek Hızlı Oksi-yakıt spreyleme (HVOF) yukarıda sayılan yöntemlere alternatif olarak kurulmuştur [4,8].

Alev spreylemede, tüketilebilir tel yada toz, oksi-yakıt alevi ile eritilir. Tel, kendi ucunu eriten alevin içine kontrollü bir hızda beslenir. Sıkıştırılmış hava ise alt tabaka üzerindeki sıvı yada yarı sıvı parçacıkları ivmelendiren memenin dış çevresine doğru beslenir. Hava, gaz akışları ve basınçlar, tel çapı ile birlikte tel besleme hızı, kaplama özelliklerini etkilemektedir. Modern donanımda, bütün bu parametreler dikkatlice kontrol edilir ve eldeki özel kaplamanın istekleriyle tanımlanır [10]. Şekil 2'de toz alev spreylemenin şeması görülmektedir

Alevle püskürtme işleminde daima nötr (normal) bir alev kullanılmaktadır. Kaplama genel olarak 100 ile 200 mm arasındaki bir mesafede yapılmalıdır. İnce sac veya ısıya karşı hassas malzeme üzerine püskürtme yapılırken bu mesafe

daha fazla olmalıdır. Püskürtme demetinin yüzey ile yaptığı açı 45° 'den küçük olmamalıdır. Aksi halde püskürtülen tabaka sünger gibi bir hal almaktadır. En iyi netice 70 ile 80° 'lik bir düşüş açısı ile sağlanmaktadır. Ekonomik bakımdan dar açılı bir püskürtme demetinin kullanılması yerinde olur. Böylece kalınlığı düzgün olan bir püskürtme tabakası elde edilmektedir [11].



Şekil 2. Toz alev spreylemenin şeması.

Yüzeylerin hazırlanması için genel olarak kabul edilen yöntemler şunlardır: oyuklar yapmak, kaba diş çekme, kum-tane püskürtme, kendini bağlayan malzemelerin kullanılması, saplamalar yerleştirme, taşlama ve dağlama [12].

Termal spreylemiş kaplamalarda birleştirme temelde atomize edilmiş parçacıklar arasında ve altlık yüzeyinde mekanik bir bağ oluşturulur. Bu nedenle yeterli birleşmeyi sağlamak için hazırlık aşamasında yüzey pürüzlendirilmelidir [1].

Kötü iklim veya atölye şartlarında, kum ile temizlenmiş yüzeylerde ince bir tabaka halinde su filmi kalır. Bu durum, iyi yapışmayı engeller. Bunu önlemek için yüzeylerin püskürtme işleminden önce 60 ile 80°C bir ön tavlama tabii tutulması gerekir. Genel olarak; kum ile temizlemeden sonra püskürtme hemen yapılmalıdır. Bu arada süre üç saati geçerse yapışma iyi olmaz [11,12].

Bu çalışmada, yüzeyleri dişli ve dişsiz olarak hazırlanmış silindirik numuneler üzerine toz alev spreyleme yöntemiyle yedi farklı toz kullanılarak, sıcak ve soğuk olarak kaplama işlemi yapıp, yapılan kaplamaların altlık malzeme-kaplama tabakası arayüzeyleri incelenmiştir.

DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Tablo 1'de kimyasal kompozisyonu verilen DIN 55 Si 7 çelik malzeme Alev Spreyleme (Flame Spraying) yöntemiyle, bileşimi ve özellikleri Tablo 2'de verilmiş olan yedi değişik toz ile kaplanmıştır.

Kaplama tabakasının özelliklerine etki eden en önemli parametrelerden biri yüzey hazırlama olduğundan yüzeylerin hazırlanmasına azami derecede özen gösterilmiştir. 120 mm boyunda

kesilen 20 mm çapındaki 18 adet malzeme kenarlardan ve ortadan 20 mm bırakılarak, 30° ar mm olmak üzere iki yerinden torna tezgahında işlenmiştir. Kaplama kalınlığının farklı olması amacıyla, işlenen kısımlardan birinin çapı 18 mm, diğeri ise 19 mm olarak hazırlanmıştır. Malzemelerden 10 tanesi tornadan çıktığı haliyle, 8 tanesi ise diş çekilerek (M18x0.5 ve M19x0.5) kaplamaya hazır hale getirilmiştir. İşlenen kısımların bitiş yerlerine kaplamanın daha iyi yapışmasını sağlamak ve tabakalar arasındaki gerilimi azaltmak amacıyla 45°'lik bir eğim verilmiştir. Tornalanmış malzemeler, desikatör içerisinde oksitlenmemesi için kaplanana kadar gerekli itina ile korunmuş ve tornadan çıkan her malzeme hemen kaplamaya alınmıştır.

Tablo 1. Altlık malzemenin kimyasal kompozisyonu (Ağırlıkça %)

Element	C	Mn	P	S	Si	Al	Ni	Cr	Cu	Ti	Fe
%Oran	0.521	0.94	0.023	0.008	1.181	0.088	0.159	0.415	0.148	0.004	Kalan

Tablo 2. Kaplamada kullanılan tozların özellikleri [13].

Tozun Adı	Bileşimi	Tane boyutu (µm)	Kaplamanın gözenekliliği (% Hacim)	Tahmini Sertlikleri
36 C Metco*	%35 Tungsten karbür ve %8 Nikel karışımı, Nikel-Kromlu alaşım	-150 +45µm (-100 +325 mesh)	-	75 R _c
41 C Metco*	316 serisi Paslanmaz çelik	-106 +45µm (-140 +325 mesh)	11	88-92 R _b
44 Metco*	Nikel bazlı kromlu paslanmaz çelik	-106 +45µm (-140 +325 mesh)	-	80 R _b
444 Metco*	Nikel-krom-molibden-alüminyum kompozit tozu	-125 +45µm (-120 +325 mesh)	<2	80 R _b
449 P Metco*	Yüksek kromlu çelik, molibden-alüminyum kompozit tozu	-125 +45µm (-120 +325 mesh)	< 2	35-40 R _c
452 Metco*	Nikel-demir-alüminyum kompozit tozu	-125 +45µm (-120 +325 mesh)	< 1-2	80 R _b
RotoTec19985 Castolin*	Krom nikel bazlı	-	-	170-210 HV ₁₀
RotoTec 51000 Castolin*	Bağlayıcı (Astar) toz	Özelliği: 19000 serisi tozlar 51000 bağlayıcı toz atılmadan kullanılamazlar. Saf bakır malzeme hariç her tür demir, çelik ve alaşımları, Al ve Cu alaşımları üzerine 0.1-0.2 mm kalınlığında astar olarak atılır.		

* Ticari ismi

Kaplama işleminde, torna devir hızı 400 dev/dk. olarak sabit tutulmuştur. Kaplanan malzeme ile tabanca arasındaki püskürtme mesafesi 15 cm'dir. Kaplama işlemi manuel olarak sıcak ve soğuk olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır. Soğuk kaplamada altlık malzemeler ısıtılmadan doğrudan püskürtme işlemine tabi tutulmuş, sıcak kaplamada ise malzemeler en fazla 300°C'de tavlandıktan sonra püskürtme işlemine geçilmiş, yeterli birikinti elde edildiğinde tabancadaki Toz akışı kesilerek sadece oksijen-gaz aleviyle numune üzerindeki birikinti eritilerek altlık üzerine daha iyi yapışması amaçlanmıştır. Kaplama işleminde 19985 tozunda astar olarak 51000 tozu bağlayıcı olarak kullanılmış, diğerlerinde ise astar kullanılmamıştır. Kaplanan numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır. Dişli ve dişsiz olarak hazırlanan altlık malzemelerin kaplanmasında kullanılan toz çeşidi ve kaplama şekli Çizelge 3'de verilmiştir.

Alev spreyleme yöntemi ile kaplanmış numuneler, metalografik inceleme için elektro erozyon yöntemiyle, Şekil 3'te görüldüğü gibi, $\phi 18$ mm'lik kısımdan 10 mm genişliğinde birer parça çıkarılmış, $\phi 19$ mm'lik kısım ise ortadan ikiye kesilmiştir.

Kesilen numuneler sırası ile 400-600-800-1000-1200 numaralı SiC su zımparası ile, her seferinde 90° döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalanmıştır. Zımparalanmış numuneler 1 μ m'lik elmas parlatıcı kullanarak DP mikrokeçe kumaş üzerinde parlatılmış ve parlatılan numuneler dağlama işlemine tabi tutulmadan optik mikroskop ile fotoğrafları çekilmiştir. Daha sonra arayüzey yapışma

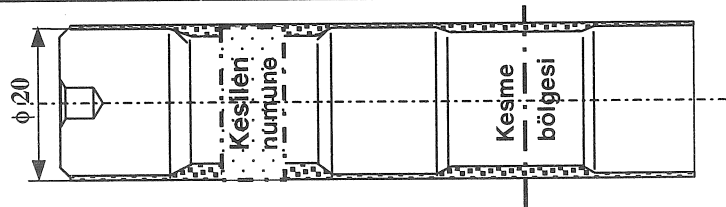
mukavemetinin belirlenmesi için termal şok deneyi yapılmıştır.

Termal spreylemiş kaplamaların yapışma mukavemeti göreceli olarak düşüktür ve bazen işletim boyunca altlıktan ayrılma eğilimi gösterirler [13]. Genelde spreylendirilenler, kalite ve sağlamlık için gözle incelenirler. Bağlanma eksikliğini tespit etmek için ayrıca ultrasonik tekniklerden yararlanılabilir. Penetrant yada manyetik parçacık muayenesi açığa çıkmış çatlakları yada yüzeye çıkmış gözenekleri tespit edebilir [9,14]. Kaplanmış malzeme ilk olarak 500 °C'a ısıtılmış bir fırına konulur. 12 dakika fırında tutulur, daha sonra fırından çıkarılarak açık havada soğutulur. Ultrasonik test oda sıcaklığına kadar soğuma gerçekleştikten sonra yapılır ve aynı işlem tekrarlanır [14]. Kaplama yapılmış numunelere yukarıdaki işlemler aynen uygulanmış, buna ilave olarak da birer numune 700 °C'de 12 dakika fırında bekletilerek açık hava yerine suda soğutulmuştur. Radyografik muayene esnasında numuneler, FFD=85 cm (Film kaynak uzaklığı), 5mA akımda, 180 kV gerilimde 2 dakika bekletilerek teste tabi tutulmuştur. Radyografik incelemeler sonucunda hatalı bulunan parçalar penetrasyon yöntemiyle muayene edilmişlerdir.

Parlatılmış numunelerin mikro yapısının incelenmesi, arayüzey ve kaplama tabakasının x100 ve x160 büyütmelemlerde OLYMPUS marka optik mikroskop yardımı ile gerçekleştirilmiştir. İncelemelerde, fotoğraf çekiminin, kaplamaların karakteristik özelliklerini tam olarak yansıtan bölgelerden yapılmasına özen gösterilmiştir.

Tablo 3. Altlık malzemelerin kaplama şekli ve tanımlanması.

Dişsiz Miller			Dişli Miller		
Parça kodu	Kaplama tozu	Kaplama şekli	Parça kodu	Kaplama tozu	Kaplama şekli
1 No'lu parça	36 C	Sıcak	11 No'lu parça	44	Soğuk
2 No'lu parça	36 C	Sıcak	12 No'lu parça	449P	Soğuk
3 No'lu parça	41 C	Sıcak	13 No'lu parça	452	Soğuk
4 No'lu parça	41 C	Soğuk	14 No'lu parça	19985	Soğuk
5 No'lu parça	444	Soğuk	15 No'lu parça	41C	Soğuk
6 No'lu parça	44	Soğuk	16 No'lu parça	41C	Sıcak
7 No'lu parça	44	Sıcak	17 No'lu parça	444	Soğuk
8 No'lu parça	449P	Sıcak	18 No'lu parça	444	Sıcak
9 No'lu parça	449P	Soğuk			
10 No'lu parça	452	Soğuk			



Şekil 3. Kaplanmış numunenin metalografik inceleme için hazırlanması.

DENEYSEL SONUÇLAR

Termal Şok Deney Sonuçları

Numunelere yapılan gözle muayenede JIS H8666'ya (Japanese Industrial Standart- Japon Sanayi Standardı) göre herhangi bir çatlak, yırtılma, ayrılma ve şekil bozukluğu görülmemiştir. Ayrıca standart dışı olarak 700°C'de tavlanylup suda soğutulan numunelerde, gözle görülebilir hiçbir şekil değişikliğine rastlanmamıştır.

Radyografik incelemeler sonucunda 36C sıcak dişsiz, 41C sıcak dişsiz, 44 sıcak dişsiz, 449P soğuk dişsiz, 452 soğuk dişsiz, 449P soğuk dişli, 452 soğuk dişli ve 444 sıcak dişli numunelerde termal şok deneyinden sonra altlık malzeme-kaplama tabakası arasında hatalar meydana geldiği tespit edilmiştir. 444 soğuk dişsiz, 44 soğuk dişsiz, 449P sıcak dişsiz, 44 soğuk dişli, 19985 soğuk dişli, 41C soğuk dişli ve 41C sıcak dişli numunelerde ise herhangi bir hataya rastlanmamıştır.

Radyografik incelemeler sonucunda hatalı bulunan numuneler penetrasyon yöntemiyle muayeneye tabi tutulmuş ve muayene sonucunda altlık malzeme-kaplama tabakası arayüzeyinde kısmi boşlukların olduğu görülmüştür.

Arayüzeyin Metalografik Yapısının Değerlendirilmesi

Yedi değişik toz ile sıcak ve soğuk olarak dişli ve düz yüzeylere uygulanan alev spreyleme işleminde aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir. 36C sıcak dişsiz kaplamasında altlık malzeme-kaplama tabakası ara yüzeyindeki geçiş bölgesinin düzenli olduğu ve herhangi bir hata içermediği Şekil 4'te açıkça görülmektedir. Kaplama tabakası az miktarda gözenek (siyah noktalar) içermektedir. Alev spreyli metal birikintilerine dik olan kesitin mikroyapısı, katlı metal parçacıkları (beyaz), metal oksit inklüzyonları (gri) ve gözeneklerin (siyah) heterojen

karışımını gösterir. Açık ve katlı parçacıklar birbirlerine kimyasal ve mekaniksel etkileşimle bağlanırlar [9].

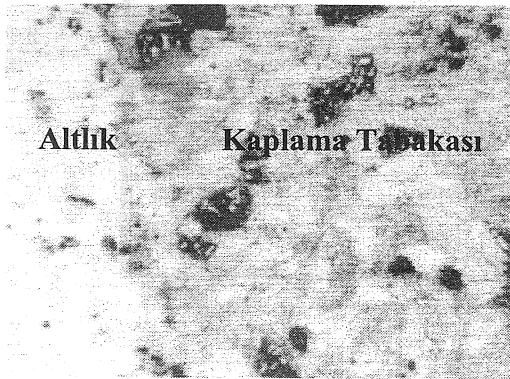
316 serisi paslanmaz çelik tozunun kullanıldığı 41C kaplaması çok iyi korozyon direncine sahip olmasına rağmen, altlık malzeme-kaplama tabakası arayüzeyinde düzensizliklerin meydana geldiği Şekil 5'te görülmektedir. Bu kaplama, 36C kaplamasına göre daha çok gözenek içermektedir. Bu da kullanılan tozun kimyasal bileşiminden (Çizelge 2) kaynaklanmaktadır [13].

Nikel-krom-molibden-alüminyum kompozit toz karışımı ile üretilen 444 kaplamasında, soğuk dişsiz (Şekil 6a) haricindeki kaplamalarda arayüzeyin düzenli olduğu ve her üç kaplamada da kaplama tabakasının siyah renkte poroziteler içerdiği Şekil 6'da görülmektedir.

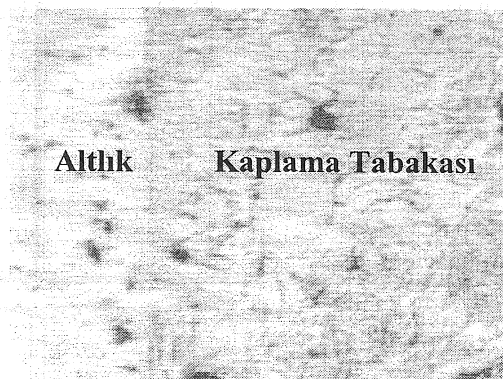
Nikel bazlı kromlu paslanmaz çelik tozları ile üretilen 44 kaplamasının optik mikroskop görüntüsü Şekil 7'de verilmiştir. Burada soğuk dişsiz kaplama arayüzeyinde bir miktar düzensizlik mevcuttur (Şekil 7a). Kaplama tabakasında bulunan porozite miktarı ve boyutu numunenin kaplama yöntemine göre değişmiştir.

Yüksek kromlu çelik ve molibden-alüminyum kompozit tozu içeren 449P kaplaması (Şekil 8) ve nikel-demir-alüminyum kompozit tozu ile üretilen 452 kaplamasında altlık malzeme-kaplama tabakası arayüzeyinin düzenli olduğu görülmektedir (Şekil 9). Ancak, 449P sıcak kaplamasında porozite miktarı ve boyutu diğerlerine göre daha fazladır.

Şekil 10'da optik mikroskop görüntüsü verilen 19985 kaplamasında, bağlayıcı olarak kullanılan astar tozu ve kaplama tabakası birbirlerinden farklı görünümündedirler. Altlık-bağlayıcı ve bağlayıcı-kaplama tabakası geçiş bölgeleri düzensizlik içermemektedir. Bu kaplamanın astar tabakasında bulunan porozite miktarı ve boyutu asıl kaplama malzemesinden daha fazladır.

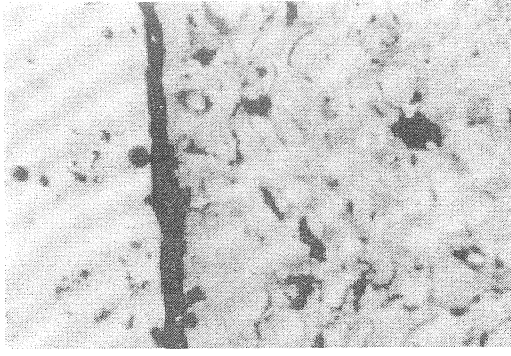


(a)



(b)

Şekil 4. 36C Sıcak Dişsiz kaplamasının ve arayüzeyinin a) x100 ve b) x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.



(a)



(b)

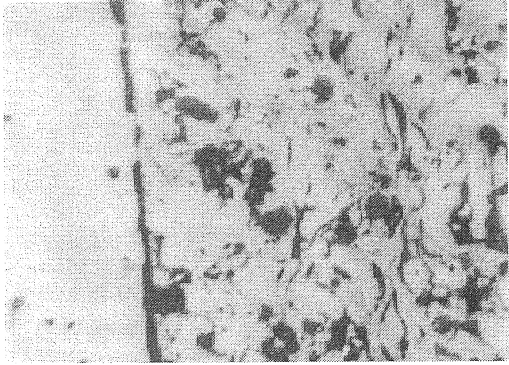


(c)



(d)

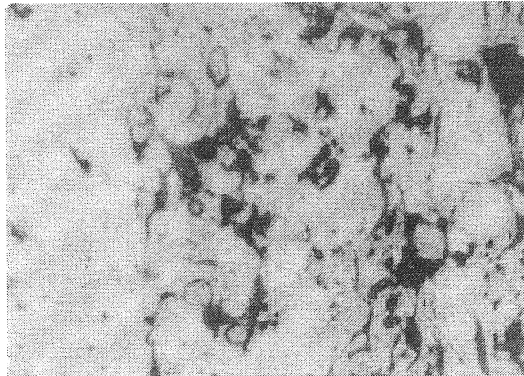
Şekil 5. 41C Kaplamasının a) Soğuk dişsiz, b) Soğuk dişli, c) Sıcak dişsiz ve d) Sıcak dişli numunelerde x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.



(a)

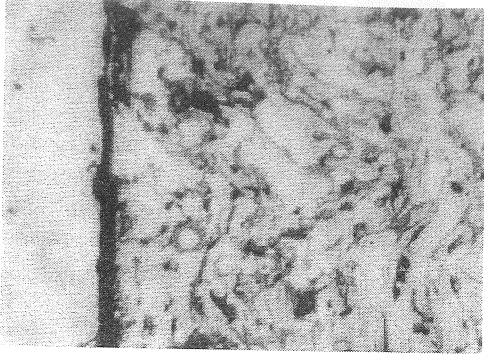


(b)

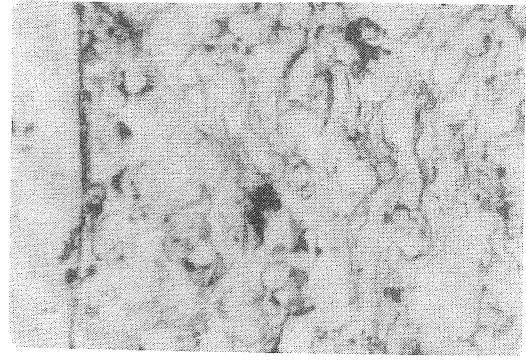


(c)

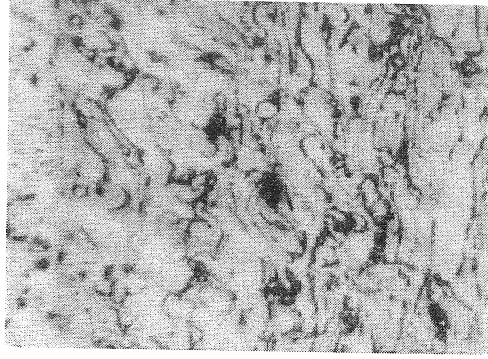
Şekil 6. 444 Kaplamasının a) Soğuk dişsiz, b), Soğuk dişli c) Sıcak dişli numunelerde x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.



(a)

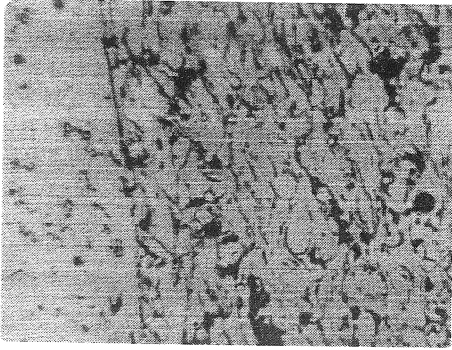


(b)

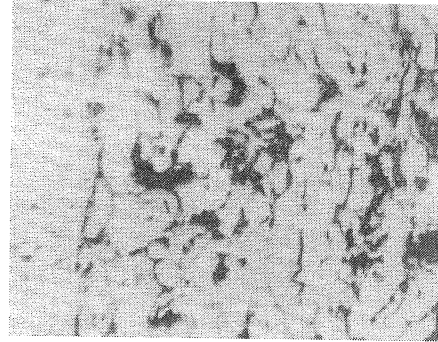


(c)

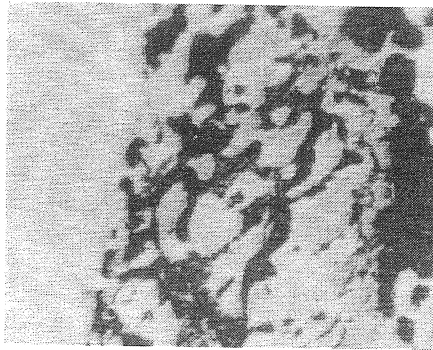
Şekil 7. 44 Kaplamasının a) Soğuk dişsiz, b) Soğuk dişli ve c) Sıcak dişsiz numunelerde x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.



(a)

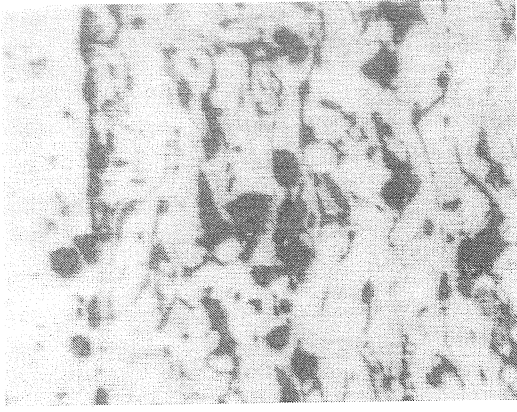


(b)

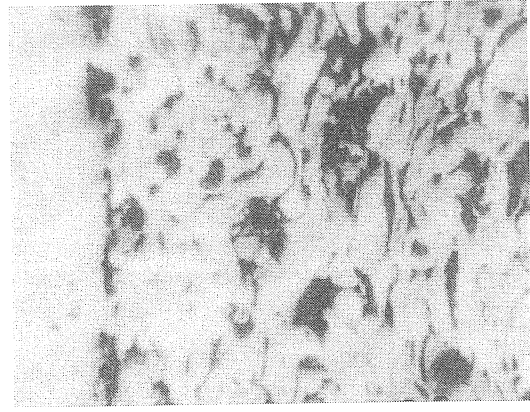


(c)

Şekil 8. 449P Kaplamasının a) Soğuk dişsiz x100, b) Soğuk dişli ve c) Sıcak dişsiz numunelerde x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.

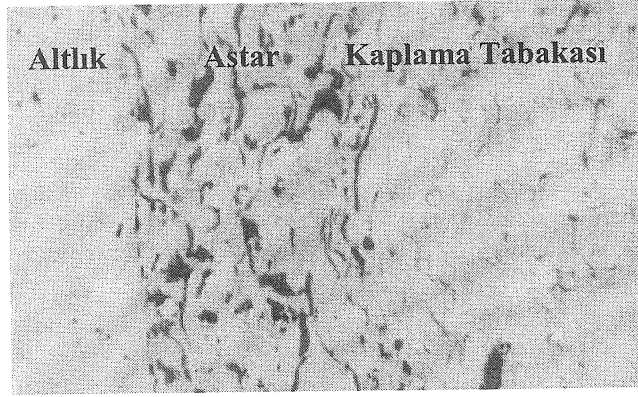


(a)



(b)

Şekil 9. 452 Kaplamasının a) Soğuk dişsiz b) Soğuk dişli numunelerde x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri.



Şekil 10. Soğuk dişli numunede 19985 kaplamasının x160 büyütmedeki optik mikroskop görüntüsü.

SONUÇ VE ÖNERİLER

- Optik mikroskop analiz sonuçlarına göre, dişli numunelerdeki arayüzey geçiş bölgesinin dişsiz numunelere göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.
- Altık malzemenin sıcak oluşu, arayüzeyi ve kaplama tabakasını olumlu yönde etkilememiştir. Bunun için altık malzemeyi ısıtmak, numunenin çarpılması ve kaplama maliyeti açısından doğru bir tercih olmayabilir.
- Numunelere yapılan termal şok testi sonrasında, yüzeyi pürüzlendirilmiş (dişli) numunelerdeki hataların, yüzeyi tornada talaş kaldırma pürüzlülüğünde işlenenlere (düz) göre daha az olduğu görülmüştür
- Mikroyapı fotoğraflardan da anlaşıldığı gibi, 41C kaplamasında (Şekil 5) arayüzey geçiş bölgeleri fazla miktarda porozite bandı

içermektedir. Kaplama öncesi numuneler daha iyi temizlenerek bu hatalar azaltılabilir.

- Arayüzey pürüzlülüğünün kaplama performansına etkisinin incelenmesi amacıyla miller üzerine metrik vida açılarak yapılan kaplamalarda, gözle yapılan muayenede kaplama tozlarının vida diş diplerine tam olarak temas etmediği görülmüştür. Metrik vida (üçgen kesitli) yerine yuvarlak kesitli vida açılması durumunda, kaplama tabakası altlık malzemeye daha iyi temas edebilir.

INVESTIGATION OF COATING LAYER AND ITS INTERFACE IN MATERIALS COATED BY FLAME SPRAYING

In this study, specimens whose surfaces are non-threaded and threaded were coated using various powders. Hot and cold flame spraying methods were used. Coating layer-substrate interfaces were investigated. It was found by metallographic

examination that the interfaces of threated specimens were better than those of the plain specimens whilst hot or cold spraying did not influence the interfaces substantially. In addition, thermal shock was also applied to the specimens. After the thermal shock, there were not seen any appearant crack, flaking and geometric distortion in the specimens.

Keywords: Flame spraying, thermal shock, interface bonding

KAYNAKLAR

1. Groover, M.P., Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes and Systems., Prentice-Hall,Inc., 1996.
2. Degarmo, E.P., Black, J. J., Kohser R. A., Materials and Procsses in Manufacturing., 8 th Edition., Prentice-Hall,Inc 1997.
3. Sarı, N.Y., Kaluç, E., Tülbentçi, K., Isıl püskürtme uygulanmış Ç1050 çeliğinin abrasif-erozif aşınma davranışının incelenmesi, sayfa 22-31 MAMTEK'99 ,17-19 Kasım 1999, Manisa.
4. Harvey, D., The tough truth-wear resistant coatings using HVOF, *TWI Bulletin 1*, January/ February, 473(1) 1995.
5. Philips, B. A., Knapp, J. K., Thermal spray coatins reduce wear and corrosion on calender rolls, *Tappi Journal*, 1995, Vol 78(10), 197-205
6. Sarı, N. Y., Akay, S., Kaluç, E., , Isıl Püskürtme, *Mühendis ve Makine*, Vol. 38, Num. 448, 1997, pp. 19-25
7. Harvey, D., Surfacing armoury broadens to combat industry bane, *TWI Bulletin 6*, November/ December, 1991. 416 (6), pp 32-35.
8. Harvey, D., The ultimate coating-thermal spraying at Abington, *TWI Bulletin 2*, March/April, 1994, 456(2), pp 28-30.
9. Resistant and solid-state welding and other joining processes, Chapter 12, 1984, *Aws Welding Handbook*, Seventh edition, Vol 3, welding processes.
10. *Agard Technical Bulletin*, Materials coating techniques LS-106, March, 1980, London, 1-4.
11. Anık, S., *Kaynak teknolojisi el kitabı*, Ergör Matbaası, 1983, İstanbul.
12. Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., *1000 Soruda kaynak teknolojisi el kitabı*, Cilt I, Birsen Yayınevi, 1993, 270-290, İstanbul.
13. Sulzer Metco, *Technical Bulletin* Sept 1977, July 1980, Apr 1984, Oct 1980.
14. Lian, D., Suga, Y., Shou, G., Kurihara, S., An ultrasonic testing method for detecting delamination of sprayed ceramic coating, *Journal of Thermal Spray Technology*, 1996, Volume 5(2), pp 128-133.

Montaj Sırası Planlama Sistemlerinde Bir Optimizasyon Yaklaşımı

Cem SİNANOĞLU
Dr.
E.Ü. Mühendislik Fakültesi,
Makine Bölümü, KAYSERİ

H. Rıza BÖRKLÜ
Doç. Dr.
Gazi Üniversitesi Teknik
Eğitim Fakültesi Makine
Eğitimi, ANKARA

Bu makalede, montaj sırası planlama sistemlerine ilişkin geliştirilen bir optimizasyon yaklaşımı açıklanmaktadır. Bu yaklaşım iki kritere dayanmaktadır. Bunlar; ağırlık ve alt montaj serbestlik derecesi kriterleridir. Ağırlık kriterinde, montaj zamanını kısaltmak ve montajı kolaylaştırmak için montajın ağır parçadan hafif parçaya doğru yapılması gerekmektedir. Montaj süresinin kısaltılması montaj maliyetini azaltmaktadır. Alt montaj serbestlik derecesi kriterinde ise; düşük serbestlik derecesine sahip alt montajların seçilmesi söz konusudur. Çünkü, düşük serbestlik dereceli alt montajlarda parçaları bir arada tutabilmek kolaydır. Her iki optimizasyon kriterini de sağlayan montaj sırası optimum olarak seçilmektedir. Yapılan çalışmada, çeşitli montaj sistemleri incelenmiştir. Öncelikle bu sistemlere ait uygun montaj sıralarının belirlenmesi ve temsili gerekmektedir. Bu kapsamda, uygun montaj sıraları çeşitli montaj sınırlayıcıları ile tespit edilmiş ve ikili vektörlerin sıralı listesi ile temsil edilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, uygun sıralar içerisinde en az tercih edilen sırayı da seçmektedir. Örnek sistemlerden pense, menteşe ve kavrama montaj sistemi için birer optimum montaj sırası belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Montaj sırası planlama, optimizasyon.

GİRİŞ

Montaj sırası planlama, özellikle robotlar ile yapılan montajda imalat işleminin önemli bir parçasıdır. Geleneksel yöntemlerle montaj sırası belirleme, montaj çizimlerini dikkatli bir şekilde inceleyen bir operatör tarafından yapılmaktadır. Bu işlem oldukça zor ve zaman alıcı olmaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek, daha hızlı ve etkin sıra planlaması yapabilmek için son zamanlarda yaygın olarak bilgisayarlar kullanılmaya başlanmıştır.

Önceki montaj planlama sistemleri, girdilerden montaj sıralarının üretilmesi ve geometrik muhakeme bilgisi için kullanıcılara soru sormak suretiyle, montaj sıralarını oluşturan kullanıcı etkileşimli tasarlanmıştır [1,2]. Geometrik muhakeme kabiliyetinin otomatik bilgisayar destekli elde edilmesi daha sonraki yıllarda bazı araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir [3, 4].

Bir ürüne ait montaj sıralarının temsili için kullanılan yaklaşımlar genel olarak dört gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Dil Temsili

Bu montaj sırası planlama yaklaşımında, montajın ve montajı oluşturan parçaların temsili için geliştirilmiş özel diller kullanılmaktadır. PADL [5], AUTOPASS [6] ve GDP [7] bu gruba giren dillerden bazılarıdır.

- Çizge Temelli Temsil

Bunlar, kullanıcı tarafından temin edildiği kadar, ürünün BDT veri dosyalarındaki mevcut bilgiyi kullanan temsil metotlarıdır. Bu tür sistemler ile montaj işlemlerinin ayrıntılı bir analizini yapmak mümkündür. Yaygın olarak kullanılan çizge temelli temsil formları; AND/OR ve yön çizgeleri [4], PETRİ ağları [8, 9, 10, 11, 12], hiyerarşik kısmi sıralama çizgeleri [13], temas çizgeleri [14], işlem ağları [15], montaj sıralama çizgesi, yönsüz bloklama çizgeleri, öncelik çizgesi ve ilişki model çizgeleri [16] olarak verilebilir.

- Sıralı Liste Temsili

Sıralı listeler ile temsil; montaj görevlerinin bir listesi, montaj işlem basamaklarının bir listesi ve bağlantı alt kümelerinin bir listesi olarak sınıflandırılabilir. Bu temsil metodunda her bir montaj sıralaması, listelerden oluşan bir küme ile temsil edilmektedir. Montaj sıralamaları, sıralı listeler ile temsil edilebildiğinden dolayı, tüm montaj sıralamalarının bir kümesini, her biri farklı bir montaj sıralamasına karşılık gelen listelerin bir kümesi ile temsil etmek mümkündür [17, 18, 19].

- Öncelik İlişkileri

Montaj sıralamalarını temsil etmek için öncelik ilişkilerinden de faydalanılmaktadır. Burada iki tip öncelik ilişkisi mevcut olup bunlar; montaj işlem basamakları ve bir bağlantının oluşturulması arasındaki öncelik ilişkileri ve farklı bağlantıların oluşturulması arasındaki öncelik ilişkileri olarak tanımlanabilmektedir. De Fazio ve Whitney [2, 20], bir ürüne ait tüm montaj sıralamalarının üretimi için kullandıkları yöntemde öncelik ilişkilerinden bir ara temsil olarak yararlanmışlardır.

AND/OR çizgeleri ve yön çizgeleri kullanan yaklaşımlarda, ürüne ait tüm montaj sıralarını kolaylıkla elde etmek mümkündür. Yön çizge yaklaşımı, büyük sistemlerde uygulanması halinde yetersiz kalmakta ve montaj sıra araştırması zor olmaktadır. Buna karşılık AND/OR çizge yaklaşımları, çok sayıda ve karmaşık parça içeren sistemlere daha kolay uygulanabilmektedir. Ancak burada, sınırlayıcı tanımında bazı güçlükler olabilmektedir. Temas çizgeleri, düz ve eğri yüzeyli parçalarda kullanılabilir. Yönsüz bloklama çizge kullanımı ile, montaj karmaşıklığı hakkında bilgi alma mümkündür. Bu durum, özellikle büyük sistemlerde oldukça önemlidir. AND/OR çizgesinde, işlem karmaşıklığı ve alt montaj serbestlik derecesine bağlı olarak çizge kenarlarına bazı değerler verilmekte ve çeşitli araştırma algoritmaları kullanılarak en uygun sıralama belirlenebilmektedir.

Bu makale kapsamında, montaj sıraları yön çizgesi ile temsil edilen çeşitli montaj sistemlerinin optimum montaj sıralarının belirlenmesine yönelik olarak geliştirilen bir yaklaşım açıklanmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle örnek montaj sistemlerine ilişkin yön çizge temsilleri oluşturulmaktadır. Yön çizgesinde kök düğümünden terminal düğüme giden her bir yol mevcut sistemin uygun montaj sıralarını temsil etmektedir. Geliştirilen optimizasyon yaklaşımı ile belirlenen bu uygun sıralar içerisinde en uygun sıra belirlenebilmektedir.

Bu yaklaşım, montajı yapılan parçaları ağırlıklarına göre değerlendiren ağırlık kriteri ve alt

montajların serbestlik derecelerine göre değerlendiren alt montaj serbestlik derecesi kriterine dayanmaktadır. Ayrıca, geliştirilen yaklaşım uygun sıralar içerisinde en az tercih edilen sırayı da tespit etmektedir. Yaklaşım, üç farklı montaj sistemine uygulanmış ve doğru sonuçlar vermiştir. Bu montaj sistemleri; dört parçalı pense ve menteşe montaj sistemi ve yedi parçalı flanşlı kavrama montaj sistemleridir.

Makale içerisinde ilk kısımda, örnek montaj sistemlerinin modellenmesi açıklanmıştır. Bu amaçla, örnek sistemlerin montaj bağlantı çizgeleri oluşturulmaktadır. Sistemlere ilişkin tüm montaj sıraları ise yön çizgesi ile temsil edilmektedir. Yön çizgesinin geliştirilmesi ikinci kısımda verilmektedir. Yön çizgesi ile uygun montaj sıraları temsil edildikten sonraki aşama ise uygun sıralar içerisinde en uygun sırayı belirlemektir. Bunun için geliştirilen optimizasyon yaklaşımının kullanımı son kısımda verilmektedir.

ÖRNEK MONTAJ SİSTEMLERİ VE MODELLENMESİ

Mekanik bir montaj, kararlı bir birim oluşturan ve birbirleri ile ilişkili parçalardan oluşan bir yapıdır. Montaj sistemini modellemek için; düğümleri, montajı yapılacak parçaları ve kenarları, parçalar arası bağlantıları temsil eden bağlantı çizgesi kullanılmaktadır. Montaj bağlantı çizgesinin geliştirilmesinde;

- Montajı oluşturan her bir parçanın rijit bir nesne oluşturduğu ve geometrik şeklinin değişmeden kaldığı
- Montajı yapılacak olan parçalar arasında tanımlanan yüzeysel temasların bağlı hareket için serbestlik derecesini indirgediği
- Aynı parça çiftlerini birden fazla yolla bağlamak mümkün olmasına karşın, her bir parça çifti için sadece bir tek montaj geometrisinin bulunduğu varsayılmaktadır.

Bir montaj işlemi, her biri alt montajları birleştirmek suretiyle daha büyük alt montajlar oluşturacak olan montaj işlem basamaklarının diziliminden oluşmaktadır. Montaj işlemi, tamamen birbirinden ayrı olan parçalarla başlamakta ve bu parçaların tamamlanmış bir montajı oluşturacak biçimde uygun olarak birleştirilmesi ile bitmektedir.

- Her bir montaj işlemi ile, iki alt montajın birbirine bağlandığı

- Parçaların bağlandıktan sonra montaj işlemi tamamlanıncaya kadar birlikte kalacağı
- İki parça birbirleri ile birleştirildiğinde bunlar arasındaki tüm temasların sağlanacağı varsayımı yapılmaktadır.

Bu varsayımlar ile bir montaj, yönlü bir çizgeyle temsil edilebilmektedir. Bu çizge $\langle P, C \rangle$ şeklinde ifade edilirse;

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\} \quad (1)$$

montaj bağlantı çizgesinin düğümler kümesi,

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_L\} \quad (2)$$

çizgenin kenarlar kümesidir.

Montaj sistemini modellemek amacıyla geliştirilen montaj bağlantı çizgesi, montaj durumunda parçalar arası yüzeysel temas ilişkileri referans alınarak oluşturulmaktadır. Örnek montaj sistemleri ve bunlara ilişkin montaj bağlantı çizgeleri Tablo 1'de verilmektedir.

MONTAJ SIRALARININ YÖN ÇİZGE TEMSİLİ

Bir montaj sistemine ilişkin tüm olası montaj sıralarını temsil etmek için yön çizge temsili kullanılmaktadır. Bu çizgenin düğümleri; vektörlerle veya parça küme bölünmeleri ile temsil edilen montaj işlem basamaklarına karşılık gelmekte, çizgenin kenarları ise; geometrik ve mekanik olarak uygun montaj işlemlerini göstermektedir. Montaj işlem basamakları vektörler veya parça küme bölünmeleri ile temsil edilmektedir. Vektör temsilde, vektörün her bir elemanı parçalar arası bağlantıların sağlanma durumunu belirtmektedir $[c_1, c_2, c_3, \dots, c_L]$. Bu eleman, iki parça arası bağlantı sağlanmış ise; "1", sağlanmamış ise "0" ile gösterilmektedir.

Parça küme bölünmeleri ile temsilde ise, montaj işlem basamakları çeşitli parça alt kümeleri içeren parça kümeleri ile temsil edilir. Örneğin, pense montaj sisteminde; parçaların birbirinden farklı konumlarda bulunduğu ilk montaj işlem basamağı; $\{\{a\}, \{b\}, \{c\}, \{d\}\}$ kümesi ile temsil edilirken, montajın tamamlandığı durum $\{a, b, c, d\}$ kümesi ile belirtilmektedir. Bu montaj işlem basamaklarının vektör gösterimi ise sırasıyla, $[00000]$ ve $[11111]$ 'dir. Pense montaj sisteminde, civata ve alt tutamak arası bağlantının (c_1) sağlandığını gösteren montaj işlem basamağının parça küme bölünmesi

temsili; $\{\{a, b\}, \{c\}, \{d\}\}$, vektör temsili ise, $[10000]$ 'dir.

Bir ürünün tüm montaj sıralarını temsil eden yön çizgesinin kodlanması amacıyla kullanılan bağlantı sağlanma şartlarının elde edilebilmesi için yön çizge düğümlerine yerleştirilen montaj işlem basamaklarının vektörler ile temsil edilmesi gerekmektedir.

Bir montaj sisteminin tüm vektör temsilleri bir montaj işlem basamağına karşılık gelmez. Montaj işlem basamağı oluşturan vektörler bağlantı çizgesi yardımıyla belirlenmektedir. Burada vektör içerisinde sağlanmış bağlantılar ve montaj bağlantı çizgesi eş zamanlı değerlendirilmektedir. Vektördeki sağlanmış bağlantılara göre bağlantı çizgesinden sağlanması gerekli bağlantılar belirlenmektedir. Bu bağlantılarda ilgili vektör temsilde sağlanmışlarsa bu vektörler bir montaj işlem basamağı oluşturmaktadır. Aksi durumlarda bir montaj işlem basamağı oluşturmazlar. Pense montaj sisteminin tüm vektör temsilleri;

[00000] [10000] [01000] [00100] [00010] [00001]
 [11000] [10100] [10010] [10001] [01001] [00101]
 [01100] [01010] [00110] [00011] [11100] [10011]
 [01110] [11010] [11001] [10110] [10101] [01101]
 [01011] [00111] [11110] [11101] [11011] [10111]
 [01111] [11111]

şeklinde elde edilmektedir. Bu vektörlerden bir montaj işlem basamağına karşılık gelenler ise;

[00000] [10000] [01000] [00100] [00010] [00001]
 [11000] [10100] [01001] [00101] [10011] [01110]
 [11111]

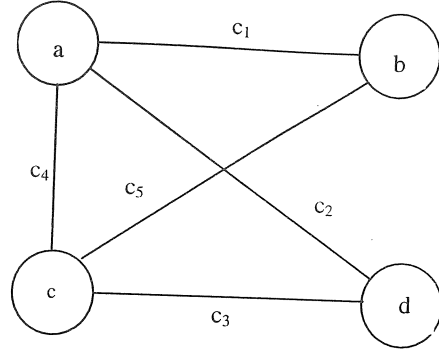
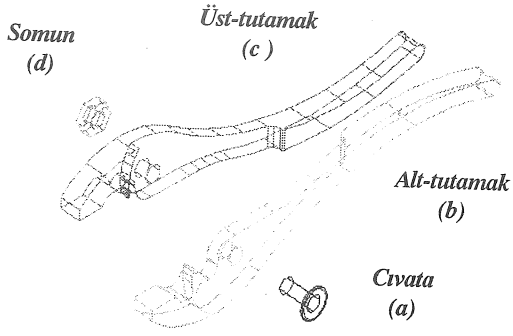
şeklinde tanımlanabilir.

Pense montaj sistemine ilişkin 32 vektör temsiline 13'ü bir montaj işlem basamağı oluşturmaktadır. Örneğin, $[10001]$ vektöründe, a ve b parçaları arası c_1 bağlantısı ve b ve c parçaları arası c_5 bağlantıları sağlanmıştır ('1').

Bu bağlantıların sağlanmış olması, a ve c parçaları arası c_4 bağlantısının sağlanmasını gerektirmektedir (Şekil 1). Ancak bu bağlantı $[10001]$ vektöründe sağlanmamış ('0') olduğundan, $[10001]$ vektörü bir montaj işlem basamağı oluşturmaz.

Tablo 1. Örnek montaj sistemleri ve bağlantı çizge temsilleri

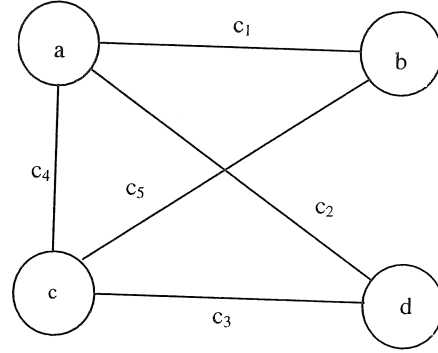
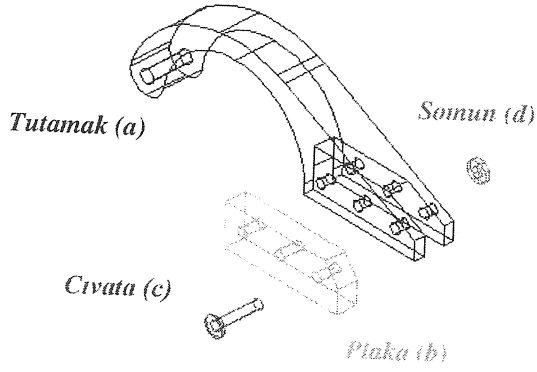
PENSE MONTAJ SİSTEMİ



Çizge düğümleri : a, b, c, d

Çizge kenarları : c_1, c_2, c_3, c_4, c_5

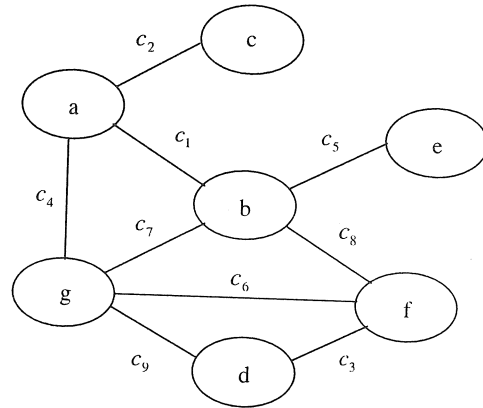
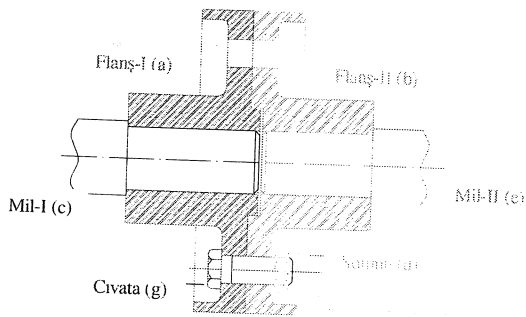
MENTEŞE MONTAJ SİSTEMİ



Çizge düğümleri : a, b, c, d

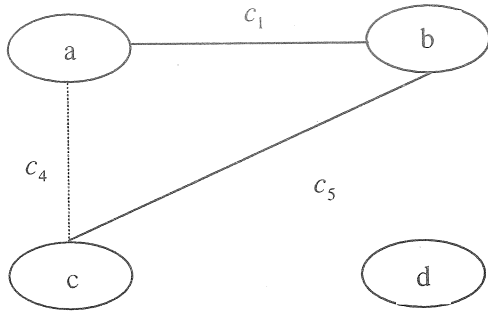
Çizge kenarları : c_1, c_2, c_3, c_4, c_5

FLANŞLI KAVRAMA MONTAJ SİSTEMİ



Çizge düğümleri : a, b, c, d, e, f, g

Çizge kenarları : $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9$



Şekil 1. Pense montaj sisteminde c_1 ve c_5 bağlantılarının sağlanması durumunda c_4 bağlantısının sağlanma gereksinimi

Menteşe montaj sistemine ilişkin tüm vektör temsilleri ise;

[00000] [10000] [01000] [00100] [00010] [00001]
 [11000] [10100] [10010] [10001] [01100] [01010]
 [01001] [00110] [00101] [00011] [11100] [11010]
 [11001] [10110] [10101] [10011] [01110] [01101]
 [01011] [00111] [11110] [11101] [11011] [10111]
 [01111] [11111]

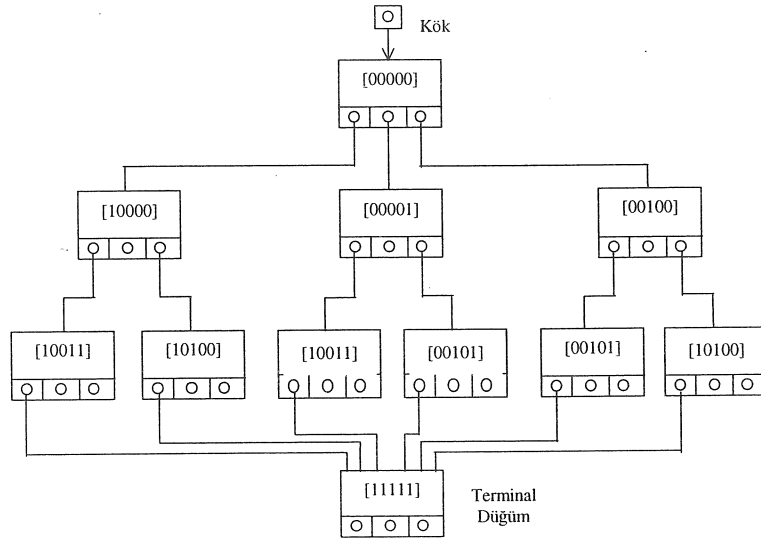
şeklinde. Bu ikili vektör temsilleri içerisinde montaj işlem basamağına karşılık gelenler;

[11000] [10100] [01001] [00101] [10011] [01110]
 [00000] [10000] [01000] [00100] [00010] [00001]
 [11111]

biçiminde belirlenmektedir. Mentеше montaj sisteminde de, 32 vektör ve 13 montaj işlem basamağı bulunmaktadır. Mentеше montaj sisteminin montaj işlem basamakları aşağıda görülmektedir.

[000000] [100000] [010000] [001000] [000100]
 [000010] [000001] [110000] [101000] [100100]
 [100010] [100001] [010010] [010001] [001010]
 [001001] [110010] [110001] [101010] [101001]
 [11111]

Yön çizgesinin oluşturulmasında, montaj işlem basamakları içerdikleri sağlanmış bağlantı sayılarına göre çizge düğümlerine yerleştirilmektedir. Yön çizgesinin kök düğümünden terminal düğüme giden her bir yol ürüne ilişkin uygun bir montaj sırasını vermektedir. Örnek montaj sistemlerinden pensenin yön çizge temsili Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Pense montaj sistemi yön çizge temsili

Pense montaj sistemine ilişkin yön çizgesinden altı uygun montaj sırasının olduğu görülmektedir. Bu montaj sıraları;

1. Montaj Sırası

{ { a }, { b }, { c }, { d } }	: [00000]
{ { a, b }, { c }, { d } }	: [10000]
{ { a, b, c }, { d } }	: [10011]
{ { a, b, c, d } }	: [11111]

3. Montaj Sırası

{ { a }, { b }, { c }, { d } }	: [00000]
{ { b, c }, { a }, { d } }	: [00001]
{ { a, b, c }, { d } }	: [10011]
{ { a, b, c, d } }	: [11111]

5. Montaj Sırası

{ { a }, { b }, { c }, { d } }	: [00000]
{ { c, d }, { a }, { b } }	: [00100]
{ { c, d, b }, { a } }	: [00101]
{ { a, b, c, d } }	: [11111]

Menteşe montaj sisteminin yön çizge temsili Şekil 3'de gösterilmektedir.

2. Montaj Sırası

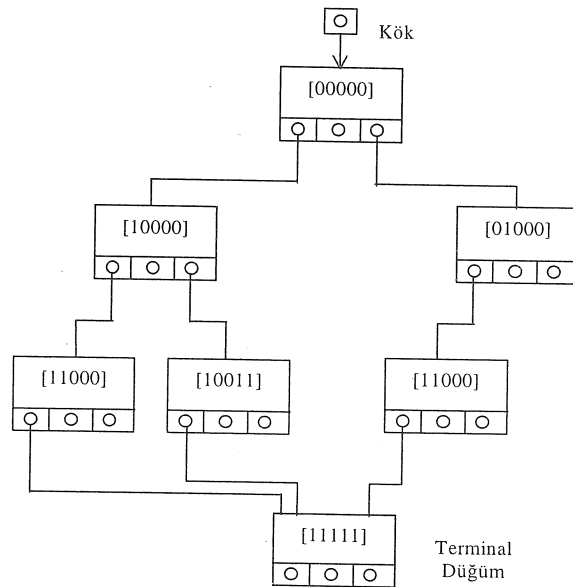
{ { a }, { b }, { c }, { d } }	: [00000]
{ { a, b }, { c }, { d } }	: [10000]
{ { a, b }, { c, d } }	: [10100]
{ { a, b, c, d } }	: [11111]

4. Montaj Sırası

{ { a }, { b }, { c }, { d } }	: [00000]
{ { b, c }, { a }, { d } }	: [00001]
{ { b, c, d }, { a } }	: [00101]
{ { a, b, c, d } }	: [11111]

6. Montaj Sırası

{ { a }, { b }, { c }, { d } }	: [00000]
{ { c, d }, { a }, { b } }	: [00100]
{ { c, d }, { a, b } }	: [10100]
{ { a, b, c, d } }	: [11111]



Şekil 3. Mentşe montaj sistemi yön çizge temsili

Menteşe montaj sisteminde de yön çizgesinin kök düğümünden terminal düğümüne giden her bir yol uygun bir montaj sırasına karşılık gelmektedir.

Burada, üç uygun montaj sırası belirlenmiştir. Bu uygun montaj sıraları aşağıda görülmektedir.

1. Montaj Sırası

$\{ \{ a \}, \{ b \}, \{ c \}, \{ d \} \}$: [00000]
$\{ \{ a, b \}, \{ c \}, \{ d \} \}$: [10000]
$\{ \{ a, b, d \}, \{ c \} \}$: [11000]
$\{ \{ a, b, c, d \} \}$: [11111]

2. Montaj Sırası

$\{ \{ a \}, \{ b \}, \{ c \}, \{ d \} \}$: [00000]
$\{ \{ a, b \}, \{ c \}, \{ d \} \}$: [10000]
$\{ \{ a, b, c \}, \{ d \} \}$: [10011]
$\{ \{ a, b, c, d \} \}$: [11111]

3. Montaj Sırası

$\{ \{ a \}, \{ b \}, \{ c \}, \{ d \} \}$: [00000]
$\{ \{ a, d \}, \{ b \}, \{ c \} \}$: [01000]
$\{ \{ a, b, d \}, \{ c \} \}$: [11000]
$\{ \{ a, b, c, d \} \}$: [11111]

Flanşlı kavrama montaj sistemine ilişkin 370 uygun montaj sırası belirlenmiştir. Bu sıralardan bir kısmı Tablo 2'de verilmektedir.

Yön çizgesinin düğümlerine yerleştirilen montaj işlem basamaklarının her birisi, montaj sırası oluşturmaya yönelik bazı sınırlayıcıları sağlamaktadır. Bu sınırlayıcılar; geometrik ve mekanik uygunluk, alt montaj ve kararlılık sınırlayıcılarıdır. Bu şartların tümünü sağlayan montaj işlem basamakları yön çizge düğümlerine yerleştirilir.

Geometrik uygunluk sınırlayıcısı montaj işlem basamağının belirttiği montaj işleminin geometrik olarak uygun olmasını ifade etmektedir. Örneğin pense montaj sisteminde, civata (a) ve somun (d) parçaları arası c_2 bağlantısının sağlandığını belirten [01000] vektörü bir montaj işlem basamağı oluşturur. Ancak, civata ve somun bir kez monte edildikten sonra oluşan bu alt montaja alt-tutamak ve üst-tutamağın montajı olanaksızdır. Dolayısıyla bu montaj işlem basamağı geometrik olarak uygun değildir ve yön çizgesinde yer almamalıdır.

Alt montaj sınırlayıcısı ise, montaj işlem basamağının alt montaj şartını sağlama durumunu ifade etmektedir. Bir montaj işlem basamağı, içerisinde montaj bağlantı çizgesinde bulunmayan bir bağlantıyı içermediği sürece bir alt montaj oluşturmaktadır.

Örneğin menteşe montaj sisteminde plaka (b) ve somun (d) parçaları arası bağlantının sağlandığını gösteren $\{ \{ b, d \}, \{ a \}, \{ c \} \}$ montaj işlem basamağı alt montaj şartını sağlamaz. Çünkü burada menteşe montaj bağlantı çizgesinde aralarında bağlantı olmayan iki parçanın birbirine bağlandığını gösteren $\{ b, d \}$ alt kümesi bulunmaktadır. Vektör temsilleri bağlantı çizgesinde olmayan bir bağlantıyı içermediğinden dolayı bunların her biri bir alt montaj oluşturmaktadır.

Kararlılık sınırlayıcısında yerçekimi kuvveti etkisi altında parçalar arası bağlantının çözülmemesi söz konusudur. Yapılan çalışmada, alt montaj şartını sağlayan tüm montaj işlem basamaklarının kararlı bir yapı oluşturduğu varsayımı yapılmaktadır.

Tablo 2. Flanşlı kavrama montaj sistemi için örnek montaj sıraları

000000000	100000000	110000000	110010000	111010000	111010010	111111111
000000000	100000000	110000000	110010000	110011000		111111111
000000000	100000000	110000000	110010000	110010010	111010010	111111111
000000000	100000000	110000000	110010000	110010010	111010010	111111111
000000000	100000000	110000000	110010000	110010001		111111111

MONTAJ SIRALARI OPTİMİZASYONU

Bu kısım kapsamında, montaj sırası planlama sistemi için geliştirilen optimizasyon yaklaşımı açıklanmaktadır. Bu amaçla, örnek montaj sistemleri kullanılmaktadır. Önceki kısımda, bu örnek sistemlere ilişkin uygun montaj sıraları elde edilmiştir. Geliştirilen yaklaşım iki temel kritere dayanmaktadır. Bunlardan ilkinde; montaj işlem basamakları ağırlıklarına göre değerlendirilmekte ikincisinde ise, işlem basamaklarının belirttiği alt montajların serbestlik dereceleri dikkate alınmaktadır. Böylece, yön çizgesinde her bir montaj işlem basamağına giren çizge kenarlarına belirli ağırlıklar (maliyet) verilmektedir. İki kritere göre maliyetleri belirlenen yön çizgesinde, kökten terminal düğüme giden her bir yolun (montaj sırası) toplam maliyet değerleri hesaplanmaktadır. Sonuçta minimum maliyete sahip montaj sırası optimum olarak seçilmektedir. Geliştirilen bu yaklaşım ile sadece en uygun montaj sırası belirlenmeyip, uygun sıralar içerisinde en az uygun olanları da tespit edilmektedir.

Ağırlık Kriterine Göre Optimizasyon

Montaj sıraları içerisinde optimumu belirlemek için, montaj sıralarını oluşturan tüm montaj işlem basamakları dikkate alınmalıdır. Burada amaç, öncelikle büyük kütleli veya hacimli parçaları temel parça (*Base Part*) olarak seçmek ve daha küçük ağırlıklı veya hacimli parçalara doğru montajı gerçekleştirmektir. Böylece, en küçük hacimli parçalar montajda kullanılan bağlayıcı elemanlar (civata, somun v.s.) olmaktadır.

Parça ağırlıkları veya hacimleri, kullanılan katı modelleme programında dosya olarak oluşturulmaktadır. Bu dosyalardan, ilgili parçaların ağırlık veya hacim değerleri alınmaktadır. Buna göre, en ağır parçadan başlayarak, hafif parçaya doğru gerçekleşen bir montaj işlemindeki, montaj işlem basamaklarının ağırlıkları belirlenmektedir. Bu ise, montaj işlem basamağı içerisindeki sağlanmış bağlantıların ağırlıklarını toplayarak bulunmaktadır. Böylece, her bir montaj işlem basamağının ağırlık (maliyet) değerleri tespit edilmektedir. Bu aşamadan sonra, farklı montaj işlem basamakları için, hesaplanan bu maliyet değerleri referans alınır. Montaj sıralarını oluşturan her bir montaj işlem basamağının belirlenmiş ağırlık değerleri ile, olması gereken ağırlık değerleri (optimum ağırlık) farkı hesaplanır. Bu ağırlık farkları birim ağırlık maliyeti (100) ile çarpılır. Dolayısıyla, tüm montaj işlem basamaklarının ağırlık maliyetleri bu şekilde belirlenir. Ağırlık kriterine göre maliyetleri

hesaplanmış olan yön çizgesinde, kökten terminal düğüme giden her bir yolun ağırlık maliyet değerleri (toplam maliyet) hesaplanır. Sonuçta en düşük maliyet değerine sahip olan montaj sırası ağırlık kriterine göre optimum olarak bulunur.

Ağırlık kriterine göre optimum montaj sırasında bulunan her bir montaj işlem basamağındaki sağlanmış bağlantıların ağırlıkları toplamı;

$$Ow_{m,j} = \sum_{i=1}^n (W)_O \text{ (Optimum Ağırlık)} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada W ; sağlanmış bağlantıların ağırlığı, (n); sağlanmış bağlantıların sayısı ve (m); montaj işlem basamaklarının seviyesi ve (j) ise ürünün değerlendirilmekte olan montaj sırasını göstermektedir. Ow_m ; optimum montaj sırasındaki montaj işlem basamaklarının optimum ağırlıklarıdır.

Ağırlık kriterine göre optimum montaj sırasını belirleyebilmek için, uygun montaj sıralarının her bir montaj işlem basamağının ağırlıkları hesaplanmalıdır. Bu ağırlıklar ilgili montaj işlem basamağında bulunan sağlanmış bağlantıların ağırlıkları toplamı olup;

$$Cw_{m,j} = \sum_{i=1}^n (W)_H \text{ (Hesaplanan Ağırlık)} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada, W ; montaj işlem basamağındaki sağlanmış bağlantıların ağırlığı, (n); sağlanmış bağlantı sayısı, (m); montaj işlem basamağı seviyesi ve (j) ise montaj sırasını belirtir.

Uygun montaj sıralarına ait tüm montaj işlem basamaklarının optimum ve hesaplanan ağırlık değerleri belirlendikten sonra, optimum ağırlık değerleri referans olarak alınır. Hesaplanan ağırlıklar ve optimum ağırlıklar arası fark belirlenir. Ağırlık farkı;

$$Dw_{m,j} = Ow_{mj} - Cw_{mj} \quad (5)$$

biçiminde tanımlanmaktadır. Uygun sıralardaki her bir montaj işlem basamağı için belirlenen ağırlık farkları birim ağırlık maliyeti ($U_{wv} = 100$) ile çarpılır. Çarpım sonucu elde edilen Wc_m , montaj işlem basamaklarının ağırlık maliyetleridir. Burada, (m) montaj işlem basamağı seviyesini göstermektedir. (j) montaj sırasındadır.

$$Wc_{m,j} = Dw_{m,j} \cdot U_{wv} \quad (6)$$

Herhangi bir uygun montaj sırasının toplam ağırlık maliyeti;

$$W_{t,j} = \sum_{i=1}^l ((Wc)_{mj}) = \sum_{i=1}^l ((Ow_{mj} - Cw_{mj})xUwv) =$$

$$= \sum_{i=1}^l \left(\left(\sum_{i=1}^n W \right)_O - \left(\sum_{i=1}^n W \right)_H \right) xUwv \quad (7)$$

biçiminde hesaplanır. Burada, (l) uygun montaj sırasındaki montaj işlem basamaklarının sayısıdır. En düşük $W_{t,j}$ toplam ağırlık maliyetine sahip montaj sırası ağırlık kriterine göre optimum olarak seçilmektedir. Bu ifadede de (j) montaj sırasını göstermektedir.

Örnek olarak montaj sistemine ilişkin uygun montaj sıraları bir yön çizgesi ile temsil edilebilir. Bu durumda, ağırlık kriterine göre, yön çizgesinde kök düğümünden terminal düğüme kadar tüm montaj işlem basamaklarının ağırlık maliyetleri belirlenerek, her bir montaj sırasının toplam ağırlık maliyet değerleri bulunabilir. Sonuçta, minimum toplam ağırlık

maliyetine sahip olan montaj sırası optimum olarak tespit edilir.

Montaj Parçaları Özellikleri (Ağırlık ve Hacim)

Montajı oluşturan parçaların özellikleri, kullanılan katı modelleme programından doğrudan alınmaktadır. Bunun için katı modelleme programının, montaj (Assembly) kısmı altındaki, Analiz (Analysis) özelliğinden, kütle özellikleri (Mass Properties) seçilmektedir. Buradan, montaj birimi (Assembly Units); mm, Ağırlık birimi; kg, koordinat sistemi; WCS (World Coordinate System), ve malzeme olarak ta yumuşak çelik (Mild Steel) seçilmiştir. Belirlenen bu özelliklere göre her bir parçanın ağırlık, hacim veya moment gibi değerlerini içeren bir dosya oluşturulmaktadır.

Pense montaj sistemine ilişkin parça özellikleri Tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3. Pense montaj sistemi için parça özellikleri

Parça/Alt montaj	Civata (a)	Alt-Tutamak (b)	Üst-Tutamak (c)	Somun (d)
Ağırlık (kg)	0.0163	0.3843	0.3843	0.0092

Tablodan, alt-tutamak ve üst-tutamak parçalarının aynı ağırlık veya hacim değerine sahip olduğu görülmektedir. Ağırlığı en az olan parça ise, somundur. Geliştirilen ağırlık kriteri optimizasyon yaklaşımında, ağırlık açısından en uygun sıraların;

- Alt-Tutamak (0.3843 kg), Üst-Tutamak (0.3843 kg), Civata (0.0163 kg), Somun (0.0092 kg)
- Üst-Tutamak (0.3843 kg), Alt-Tutamak (0.3843 kg), Civata (0.0163 kg), Somun (0.0092 kg)

olduğu belirlenmektedir. Bu montaj sıraları, küme ayrışmaları ve vektörler ile temsil edilebilir. Bu durumda;

- {{a}, {b}, {c}, {d}} [00000] (1. montaj işlem basamağı)
- {{b,c}, {a}, {b}} [00001] (2. montaj işlem basamağı)
- {{b,c,a}, {d}} [10011] (3. montaj işlem basamağı)
- {{a, b, c, d}} [11111] (4. montaj işlem basamağı)
- {{a}, {b}, {c}, {d}} [00000] (1. montaj işlem basamağı)
- {{c,b}, {a}, {d}} [00001] (2. montaj işlem basamağı)
- {{c,b,a}, {d}} [10011] (3. montaj işlem basamağı)
- {{a, b, c, d}} [11111] (4. montaj işlem basamağı)

elde edilmektedir. Bu montaj sıralarından, her bir montaj işlem basamağında olması gereken toplam sağlanmış bağlantı ağırlıkları belirlenmektedir.

Pense montaj sisteminde, 2. montaj işlem basamağında; (b) ve (c) parçaları arası; c_5 bağlantısı sağlanmıştır. 3. montaj işlem basamağında, bu bağlantıya ilaveten, (a) ve (b) parçaları arası; c_1 ile (c) ve (a) parçaları arası; c_4 bağlantıları sağlanmıştır. 4. montaj işlem basamağında ise, parçalar arası tüm bağlantılar sağlanmıştır. Her bir bağlantı ağırlığı;

$$\text{Ağırlık } (c_1) = \text{Ağırlık (a)} + \text{Ağırlık (b)} =$$

$$0.0163 + 0.3843 = 0.4006 \text{ kg}$$

$$\text{Ağırlık } (c_2) = \text{Ağırlık (a)} + \text{Ağırlık (d)} =$$

$$0.0163 + 0.0092 = 0.0255 \text{ kg}$$

$$\text{Ağırlık } (c_3) = \text{Ağırlık (c)} + \text{Ağırlık (d)} =$$

$$0.3843 + 0.0092 = 0.3935 \text{ kg}$$

$$\text{Ağırlık } (c_4) = \text{Ağırlık (a)} + \text{Ağırlık (c)} =$$

$$0.0163 + 0.3843 = 0.4006 \text{ kg}$$

$$\text{Ağırlık } (c_5) = \text{Ağırlık (b)} + \text{Ağırlık (c)} =$$

$$0.3843 + 0.3843 = 0.7686 \text{ kg}$$

şeklinde belirlenmektedir. Buradan, 2., 3. ve 4. montaj işlem basamaklarında olması gereken toplam bağlantı ağırlıkları belirlenebilir. Buna göre;

2. Montaj İşlem Basamağı:

Bu montaj işlem basamağında c_5 bağlantısı sağlanmıştır. Dolayısıyla sağlanmış bağlantıların sayısı $n = 1$ olmaktadır. Ayrıca, bu montaj işlem basamağı optimum montaj sırasında 2. seviyede olduğundan $m = 2$ 'dir. Bu montaj işlem basamağının optimum ağırlığı;

$$Ow_{2,1} = \sum_{i=1}^{n=1} (W)_O = W(c_5) = 0.7686kg$$

olarak hesaplanmaktadır.

3. Montaj İşlem Basamağı:

Bu montaj işlem basamağında, c_1 , c_4 ve c_5 bağlantıları sağlanmıştır. Dolayısıyla montaj işlem basamağındaki sağlanmış bağlantıların sayısı $n = 3$ ve montaj işlem basamağı seviyesi ise $m = 3$ 'dür. Bu montaj işlem basamağının optimum ağırlığı;

$$Ow_{3,1} = \sum_{i=1}^{n=3} (W)_O = W(c_1) + W(c_4) + W(c_5) = 0.4006 + 0.4006 + 0.7686 = 1.5698kg$$

4. Montaj İşlem Basamağı:

Bu montaj işlem basamağında parçalar arası tüm bağlantılar sağlanmıştır. Dolayısıyla, sağlanmış bağlantıların sayısı $n = 5$ 'dir. Ayrıca, bu montaj işlem basamağı 4. seviyede bulunmaktadır ($m = 4$). Bu montaj işlem basamağının optimum ağırlığı;

$$Ow_{4,1} = \sum_{i=1}^{n=5} (W)_O = W(c_1) + W(c_2) + W(c_3) + W(c_4) + W(c_5) = 0.4006 + 0.0255 + 0.3935 + 0.4006 + 0.7686 = 1.9888kg$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Dolayısıyla pense montaj sisteminde, optimum bir montaj sırasında olması gereken optimum montaj işlem basamak ağırlıkları;

$$Ow_{2,1} = 0.7686kg$$

$$Ow_{3,1} = 1.5698kg$$

$$Ow_{4,1} = 1.9888kg$$

olarak hesaplanmıştır. Ağırlık kriterine göre optimum montaj sırasının belirlenebilmesi için, hesaplanan bu ağırlık değerleri referans alınarak, pense montaj

sistemine ilişkin uygun montaj sıralarını oluşturan her bir montaj işlem basamağının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Pense montaj sistemine ilişkin montaj sıraları ve bunların değerlendirilmesi şu şekilde verilebilir;

• 1. Montaj Sırası

$$\{ \{ a \}, \{ b \}, \{ c \}, \{ d \} \} : [00000]$$

$$\{ \{ a, b \}, \{ c \}, \{ d \} \} : [10000]$$

$$\{ \{ a, b, c \}, \{ d \} \} : [10011]$$

$$\{ \{ a, b, c, d \} \} : [11111]$$

Bu montaj sırası için montaj işlem basamaklarında elde edilen ağırlık değerleri şu şekilde bulunabilir;

• 2. Montaj İşlem Basamağı:

$$\{ \{ a, b \}, \{ c \}, \{ d \} \}, [10000]$$

Bu montaj işlem basamağında, (a) ve (b) parçaları birleştirilmiş ve c_1 bağlantısı sağlanmıştır. Bu montaj işlem basamağının hesaplanan ağırlığı;

$$Cw_{2,1} = \sum_{i=1}^1 (W)_H = W(c_1) = 0.4006kg$$

olarak hesaplanır.

Bu montaj işlem basamağında, optimum ağırlık ve hesaplanan ağırlık arası fark;

$$Dw_{2,1} = Ow_{2,1} - Cw_{2,1} = 0.7686 - 0.4006 = 0.368kg$$

şekindedir. Bu ağırlık farkı birim ağırlık maliyeti $U_{wv} = 100$ ile çarpılırsa, pense montaj sisteminin 1. montaj sırasının 2. montaj işlem basamağının ağırlık maliyeti belirlenebilir.

$$Wc_{2,1} = Dw_{2,1} \cdot U_{wv} = 0.368 \times 100 \cong 37$$

• 3. Montaj İşlem Basamağı :

$$\{ \{ a, b, c \}, \{ d \} \}, [10011]$$

Bu montaj işlem basamağında, (a) ve (b) parçaları arası; c_1 , (a) ve (c) parçaları arası; c_4 ve (b) ve (c) parçaları arası; c_5 bağlantısı sağlanmıştır. Bu montaj işlem basamağının hesaplanan ağırlığı;

$$Cw_{3,1} = \sum_{i=1}^3 (W)_H = W(c_1) + W(c_4) + W(c_5) = 0.4006 + 0.4006 + 0.7686 = 1.5698kg$$

olarak elde edilir. Optimum ağırlığı $Ow_{3,1} = 1.5698kg$ olup ağırlıklar farkı;

$$Dw_{3,1} = Ow_{3,1} - Cw_{3,1} = 1.5698 - 1.5698 = 0 \text{ kg}$$

olmaktadır. Bu değer birim ağırlık maliyeti ile çarpıldığında, 1. Montaj sırasına ait bu montaj işlem basamağının ağırlık maliyeti;

$$Wc_{3,1} = Dw_{3,1} \cdot U_{wv} = 0 \times 0 = 0$$

olarak hesaplanır.

4. montaj işlem basamağında tüm bağlantılar sağlanmıştır. Bu basamağın optimum ağırlığı 1.9888 kg'dır. Bu ağırlık değeri, 4. montaj işlem basamağının hesaplanan ağırlık değerine eşit olduğundan, ağırlıklar arasındaki fark "0 kg" olarak elde edilir. Bu değer birim ağırlık maliyeti ile çarpımı sonucunda, "0" maliyeti elde edilmektedir.

Benzer işlemler pense montaj sistemine ait diğer uygun montaj sıralarına da uygulanmaktadır. Sonuçta, pense montaj sistemine ait uygun montaj sıralarında yer alan tüm montaj işlem basamaklarının ağırlık maliyetleri belirlenir. Ancak, 1. ve 4. montaj işlem basamakları tüm montaj sıralarında aynı olduklarından optimum montaj sırasının toplam ağırlık değerinin belirlenmesinde dikkate alınmayabilir. Pense montaj sistemi için uygun sıraların montaj işlem basamakları ağırlık maliyetleri Tablo 4'te gösterilmektedir.

Buradan, ağırlık kriterine göre optimize edilen sıralardan en düşük maliyetlisinin 3. montaj sırası olduğu görülmektedir. Bu sıranın toplam ağırlık maliyeti;

$$Wt,3 = Wc_{2,3} + Wc_{3,3} = 0 + 0 = 0$$

olarak hesaplanmıştır.

Örnek montaj sistemlerinden, menteşe montaj sisteminin parça ağırlıkları; tutamak; 4.9253 kg, plaka; 2.8192 kg, civata; 0.0638 kg, somun; 0.0158 kg'dır. Menteşe montaj sisteminin montaj sıraları dört farklı montaj işlem basamağından oluşmaktadır. Bu montaj işlem basamaklarının ilki; [00000] ve sonuncusu [11111]'dir. Bunlar tüm montaj sıraları için aynı olduğundan değerlendirilmesine gerek yoktur. Menteşe montaj sistemine ait montaj sıralarının hesaplanan ağırlık maliyetleri Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablodan menteşe montaj sistemi için ağırlık kriterine göre en optimum sıranın 2. montaj sırası olduğu görülmektedir. Bu sıranın toplam ağırlık maliyeti $Wt,2 = 0$ olarak hesaplanmıştır.

Diğer bir örnek montaj sistemi olan flanşlı kavrama montaj sistemine ait parça ağırlıkları ise; Flanş-I; 0.3945 kg, Flanş-II; 0.345 kg, Mil-I; 0.25 kg, Somun; 0.25 kg, Mil-II; 0.0165 kg, Rondela; 0.0093 kg ve Civata; 0.0042 kg'dır. Bu montaj sistemine ilişkin örnek montaj sıralarına ilişkin çeşitli montaj işlem basamaklarının ağırlık maliyetleri Tablo 6'da görülmektedir. Ayrıca, montaj sıralarının toplam ağırlık maliyetleri ve optimum montaj sırası bu tabloda gösterilmiştir. Bu tabloda hesaplanan ağırlıklar ($Cw_{m,j}$), tırnak " " içerisinde verilmiştir.

Tablo 4. Pense montaj sisteminin uygun montaj sıralarının montaj işlem basamakları ağırlık maliyetleri

1. montaj sırası		2. montaj sırası		3. montaj sırası	
$Wc_{2,1} = 37$	$Wc_{3,1} = 0$	$Wc_{2,2} = 38$	$Wc_{3,2} = 78$	$Wc_{2,3} = 0$	$Wc_{3,3} = 0$
4. montaj sırası		5. montaj sırası		6. montaj sırası	
$Wc_{2,4} = 0$	$Wc_{3,4} = 41$	$Wc_{2,5} = 38$	$Wc_{3,5} = 41$	$Wc_{2,6} = 38$	$Wc_{3,6} = 79$

Tablo 5. Menteşe montaj sisteminin uygun montaj sıralarının montaj işlem basamakları ağırlık maliyetleri

1. montaj sırası		2. montaj sırası		3. montaj sırası	
$Wc_{2,1} = 0$	$Wc_{3,1} = 293$	$Wc_{2,2} = 0$	$Wc_{3,2} = 0$	$Wc_{2,3} = 280$	$Wc_{3,3} = 293$

Tablo 6. Flanşlı kavrama montaj sistemine ilişkin birkaç montaj sırası ağırlık maliyeti

MONTAJ İŞLEM BASAMAKLARI AĞIRLIK MALİYETLERİ							
Bağlantı Sağlanmamış	Tek Bağlantı Sağlanmış	İki Bağlantı Sağlanmış	Üç, dört veya beş bağlantı Sağlanmış			Tüm bağlantılar sağlanmış	Wt, j
	$Cw_{2,j}$	$Cw_{3,j}$	$Cw_{3,j}, Cw_{4,j}, Cw_{5,j}, Cw_{6,j}$				
000000000	010000000 "12"	010010000 "14"	011010000 "75"			111111111	101
000000000	010000000 "12"	010010000 "14"	011010000 "75"	011010010 "120"	111010010 "43"	111111111	264
000000000	010000000 "12"	010010000 "14"	011010000 "75"	011010010 "120"		111111111	221
000000000	010000000 "12"	010010000 "14"	010110000 "35"			111111111	61
000000000	010000000 "12"	010010000 "14"	010110000 "35"	010111000 "116"		111111111	177
000000000	010000000 "12"	010010000 "14"	010110000 "35"	010110010 "80"		111111111	141
000000000	010000000 "12"	010010000 "14"	010110000 "35"	010110001 "116"		111111111	177
000000000	010000000 "12"	010010000 "14"	010011000 "74"	110011000 "80"		111111111	180

Bu montaj sisteminde de ilk ve son montaj işlem basamakları aynı olduğundan bu işlem basamaklarının ağırlık maliyetlerinin belirlenmesine gerek yoktur. Bu kritere göre flanşlı kavramaya ait optimum montaj sırası ağırlık maliyeti "61" olarak hesaplanmıştır.

Alt Montaj Serbestlik Derecesi Kriterine Göre Optimizasyon

Alt montaj serbestlik derecesi kriteri, minimum serbestlik dereceli montaj işlem basamaklarının seçilmesi esasına dayanmaktadır. Bir alt montajı oluşturan parçalar arası serbestlik derecesi ne kadar az olursa, bu parçaların bir arada tutulabilmesi ve montajı daha kolay olmaktadır. Bu kriterde, montaj işlem basamaklarının maliyet değerlerini hesaplamak için birim serbestlik derecesi maliyeti kullanılmaktadır. Alt montaj serbestlik derecesi, ağırlık kriterinden daha önemli olduğundan, ağırlık birim maliyetine göre daha küçük bir birim değer belirlenmiştir. Serbestlik derecesi birim maliyeti ($Udofv = 25$) alınmaktadır.

Bu optimizasyon yaklaşımında, öncelikle montaj sıralarını oluşturan her bir montaj işlem basamağındaki sağlanmış bağlantılar dikkate alınmaktadır. Bu bağlantıları oluşturan parça çiftleri için kartezyen koordinat sisteminin altı yönü boyunca çarpışma serbestlikleri belirlenmektedir. Elde edilen serbestlik dereceleri birim serbestlik maliyeti ile çarpılarak, yön çizgesindeki her bir montaj işlem basamağına giren çizge kenarına verilecek serbestlik maliyetleri hesaplanmaktadır.

Bir montaj işlem basamağını oluşturan parça çiftlerinin kesişim ilişkilerinden belirlenen toplam serbestlik derecesi ($Tdof_{s,j}$) olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, uygun bir montaj sırasında bulunan herhangi bir montaj işlem basamağının alt montaj serbestlik derece maliyeti;

$$DOF_{c,s,j} = Tdof_{s,j} \times Udofv \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, (s); montaj işlem basamağının seviyesini, (j) ise montaj sırasını göstermektedir. Uygun bir montaj sırasının toplam serbestlik derece maliyeti ise;

$$DOF_{ct} = \sum_{i=1}^z DOF_{c,s,j} \quad (9)$$

olarak hesaplanır. Burada (z); bir montaj sırasında bulunan montaj işlem basamaklarının toplam sayısınıdır.

Bir ürünün toplam maliyetini hesaplamak için her iki optimizasyon kriterinin de dikkate alınması gerekmektedir. Dolayısıyla, uygun montaj sıralarının toplam maliyeti bir maliyet fonksiyonu (fc) ile gösterilebilir.

$$fc = Wt, j + DOF_{ct}$$

$$fc = \sum_{i=1}^l ((Wc)_{mj}) = \sum_{i=1}^l ((Ow_{mj} - Cw_{mj}) \times U_{wv}) = \sum_{i=1}^l \left(\left(\sum_{i=1}^n W \right)_O - \left(\sum_{i=1}^n W \right)_H \right) \times U_{wv} + Tdof_{s,j} \times Udofv \quad (10)$$

Parça çiftleri arası çarpışma serbestlikleri, kartezyen koordinat sisteminin altı yönü boyunca parçalar arası kesişim durumlarını temsil eden kesişim matrislerinden elde edilmektedir.

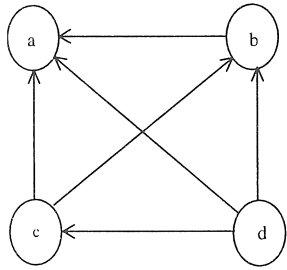
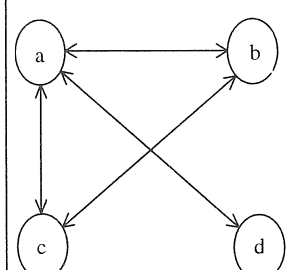
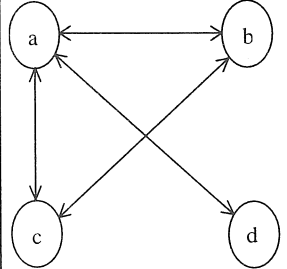
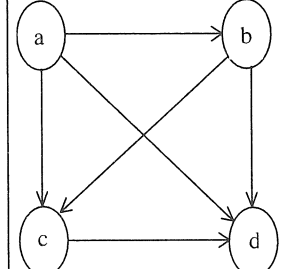
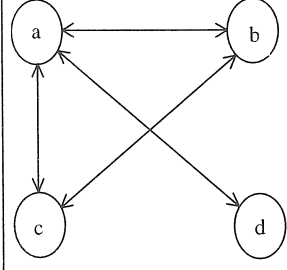
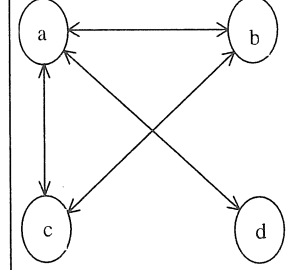
Pense montaj sistemine ilişkin kesişim matrisleri Tablo 7'de görülmektedir. Kesişim matrisleri, kartezyen koordinat sisteminin $\{+x,+y,+z,-x,-y,-z\}$ yönleri dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Bu matrislerde montaj sistemini oluşturan parçalar aşağıda gösterildiği gibi matrisin satır ve sütunlarına yerleştirilmektedir.

$$\begin{array}{cccc}
 & a & b & c & d \\
 A = & b & & & \\
 & c & & & \\
 & d & & &
 \end{array}$$

Kesişim matrislerini elde etmek için, montajı oluşturan parçaların birleştirilmesi esnasındaki çarpışma durumları dikkate alınmaktadır. Bu işlemde parçalar arası çarpışma mevcutsa, kesişim matris elemanı '0'; çarpışma yoksa, '1' değerini alır. Örnek montaj sistemlerinden ilki dört parçadan oluşan pense montaj sistemidir.

Örnek pense montajında, civatanın (a), $\{+x\}$ eksenini boyunca hareketi, diğer parçalar tarafından engellenmemektedir. Böylece bu eksen yönündeki çarpışma durumlarını tanımlayan A_x kesişim matrisinin ilk satır elemanları '1' olur. Ancak alt-tutamağın (b), $\{+x\}$ eksenini yönündeki hareketi civata tarafından engellenmektedir (Tablo 1). Buradaki çarpışma ilişkisini gösteren, A_x kesişim matrisinin 2. satır 1. sütun elemanı '0' olur.

Tablo 7. Pense sistemine ilişkin kesişim matrisleri ve çizge gösterimleri

 $A_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	 $A_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
 $A_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	 $A_{-x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
 $A_{-y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	 $A_{-z} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

Pense montaj sistemine ait montaj işlem basamaklarının serbestlik derece maliyetleri şu şekilde hesaplanabilir.

• **[10000] montaj işlem basamağı**

Bu montaj işlem basamağında $\{a\}$ ve $\{b\}$ parçaları arası c_1 bağlantısı sağlanmıştır. Bu parça çiftleri arası hareket serbestlikleri Tablo 8'de görülmektedir.

Tablo 8. $\{a\}$ ve $\{b\}$ parçaları arası hareket serbestlikleri

$c_1 \Rightarrow (a \div b)$	+x	+y	+z	-x	-y	-z
a/b	1	0	0	0	0	0
b/a	0	0	0	1	0	0

Buradan, [10000] montaj işlem basamağı için serbestlik derecesi ($Tdof_{1,1} = 2$) olarak belirlenmektedir. Bu değer birim serbestlik maliyeti ($Udofv = 25$) ile çarpıldığında, [10000] montaj işlem basamağının toplam serbestlik derecesi maliyeti;

$$DOFc_{1,1} = Tdof_{1,1} \cdot Udofv = 2 \cdot 25 = 50$$

olarak hesaplanmaktadır.

• **[10011] montaj işlem basamağı**

Bu montaj işlem basamağında $\{a\}$, $\{b\}$ parçaları arası; c_1 , $\{a\}$, $\{c\}$ parçaları arası; c_4 ve $\{b\}$ ile $\{c\}$ parçaları arası c_5 bağlantıları sağlanmıştır. Bu parça çiftleri için hareket serbestlikleri Tablo 9'da görülmektedir.

Tablo 9. $\{a\}$, $\{b\}$, $\{c\}$ parçaları arası hareket serbestlikleri

$c_1 \Rightarrow (a \div b)$						
$c_4 \Rightarrow (a \div c)$	+x	+y	+z	-x	-y	-z
$c_5 \Rightarrow (b \div c)$						
a/b	1	0	0	0	0	0
b/a	0	0	0	1	0	0
a/c	1	0	0	0	0	0
c/a	0	0	0	1	0	0
b/c	1	0	0	0	0	0
c/b	0	0	0	1	0	0

Tablodan [10011] montaj işlem basamağının toplam serbestlik derecesi ($Tdof_{2,1} = 6$) olarak belirlenir. Bu değer birim serbestlik derece maliyeti ile çarpıldığında, toplam serbestlik derece maliyeti;

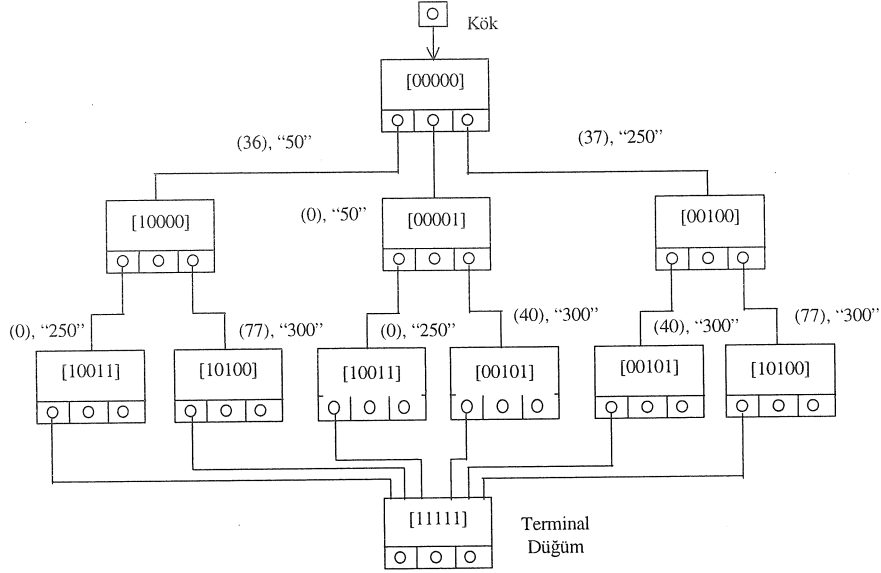
Pense montaj sisteminin her bir montaj işlem basamağı bu şekilde dikkate alınarak tüm uygun montaj sıralarının alt montaj serbestlik derecesi için serbestlik derece maliyet değerleri belirlenir. Bu sonuçlar Tablo 10'da görülmektedir.

Buradan, alt montaj serbestlik derecesi kriterine göre pense montaj sistemi için "300" toplam serbestlik derece maliyeti ile 1 ve 3. montaj sırası optimum olarak bulunmuştur.

Pense montaj sistemine ilişkin uygun montaj sıraları ve bu sıralara verilen maliyet değerleri Şekil 4'de görülmektedir. Burada ağırlık maliyeti parantez () içinde, serbestlik derece maliyeti ise tırnak " " içinde verilmektedir.

Tablo 10. Pense montaj sistemi montaj sıraları alt montaj serbestlik derece maliyetleri

1. montaj sırası		2. montaj sırası		3. montaj sırası	
$DOFc_{2,1} = 50$	$DOFc_{3,1} = 250$	$DOFc_{2,2} = 50$	$DOFc_{3,2} = 300$	$DOFc_{2,3} = 50$	$DOFc_{3,3} = 250$
4. montaj sırası		5. montaj sırası		6. montaj sırası	
$DOFc_{2,4} = 50$	$DOFc_{3,4} = 300$	$DOFc_{2,5} = 250$	$DOFc_{3,5} = 300$	$DOFc_{2,6} = 250$	$DOFc_{3,6} = 250$



Şekil 4. Pense montaj sistemi ağırlık ve serbestlik derece maliyetleri

Şekil 4'den, 2. ve 3. montaj işlem basamaklarındaki vektörler dikkate alındığında, 3. montaj sırası, "0" lık ağırlık maliyeti ve "300" lük serbestlik derece maliyeti ile optimum sıra olarak tespit edilir.

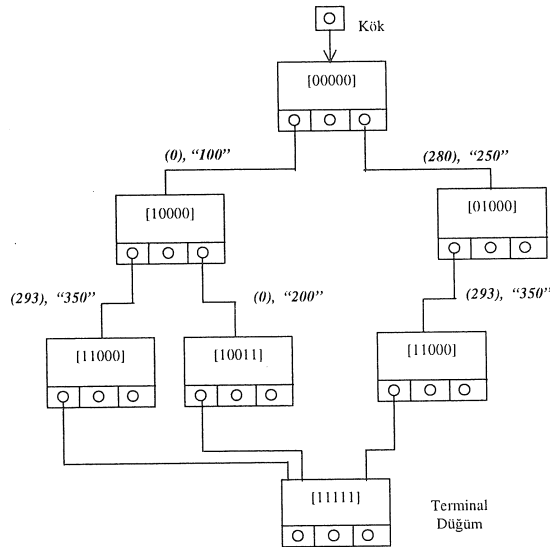
Ayrıca, "114" ağırlık maliyeti ve "550" lik serbestlik derecesi maliyeti ile 6. montaj sırası uygun sıralar içerisinde en az tercih edilen sıradır.

Örnek montaj sistemlerinden menteşe montaj sistemine ilişkin kesişim matrisleri aşağıda görülmektedir.

Bu sistemin uygun montaj sıralarının ağırlık maliyetleri ve kesişim matris elemanları kullanılarak belirlenen serbestlik derece maliyetleri Şekil 5'te gösterilmektedir.

$$A_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_z = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{-x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{-y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{-z} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Şekil 5. Menteşe montajı ağırlık ve serbestlik derece maliyetleri

Şekilden, menteşe montaj sistemi için optimum sıra "0" lık toplam ağırlık maliyeti ve "300" lük toplam serbestlik derece maliyeti ile 2. montaj

$$A_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{-x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Bu sistem için alt montaj serbestlik derecesi kriterine göre optimum montaj sıraları "300" maliyetine sahiptir. Bu montaj sıraları şu şekilde verilebilir.

[00000000], [01000000], [01001000], [01011000], [11111111]
 [00000000], [01000000], [01001000], [01001010], [11111111]
 [00000000], [00100000], [00011000], [01011000], [11111111]
 [00000000], [00001000], [01001000], [01011000], [11111111]
 [00000000], [00001000], [01001000], [01001010], [11111111]
 [00000000], [00001000], [01001000], [01001010], [11111111]
 [00000000], [00001000], [00011000], [01011000], [11111111]
 [00000000], [00001000], [00001010], [01001010], [11111111]
 [00000000], [00000010], [00001010], [01001010], [11111111]
 [00000000], [00000010], [01000010], [01001010], [11111111]
 [00000000], [00000010], [01000010], [01000011], [11111111]

şeklindedir.

Geliştirilen optimizasyon yaklaşımında bir montaj sistemine ilişkin herhangi bir uygun sıranın optimum olabilmesi için her iki optimizasyon kriterini de sağlaması gerekmektedir. Dolayısıyla, bu montaj sırası pense montaj sistemi için;

[00000], [00001], [10011], [11111]

şeklindedir. Bu sıra; öncelikle alt-tutamak ve üst-tutamak arası c_5 bağlantısının sağlanmasını daha sonrasında ise bu alt montaja civatanın monte edilerek c_1 ve c_4 bağlantısının sağlanmasını ve son olarak ta somunun montajı ile tüm bağlantıların sağlanması gerektiğini belirtmektedir.

Menteşe montaj sistemi için optimum montaj sırası;

[00000], [10000], [10011], [11111]

şeklindedir. Bu montaj sırası; öncelikle plaka ve tutamak parçaları arası c_1 bağlantısının sağlanması,

sırasındır. Uygun sıralar içerisinde az tercih edileni ise, 3. montaj sırasındır.

Flanşlı kavrama montaj sistemine ait kesişim matrislerinin bir kısmı aşağıda görülmektedir.

daha sonra bu alt montaja civatanın (c_4, c_5) ve son olarak ta somunun monte edilmesi gerektiğini belirtir.

Flanşlı kavrama sistemi için her iki optimizasyon kriteri için minimum maliyete sahip olan optimum montaj sırası;

[00000000], [01000000], [01001000], [01011000], [11111111]

olup, burada; 1. montaj işlem basamağında, Flanş-I ve Mil-I parçaları, 2. montaj işlem basamağında, Flanş-II ve Mil-II parçaları monte edilmektedir. 3. montaj işlem basamağında oluşan bu alt montaja civata monte edilmekte, 4. montaj işlem basamağında ise; rondela ve somun montajı yapılarak işlem tamamlanmaktadır.

SONUÇ

Bu yaklaşım, bir montaj sistemine ilişkin ikili vektörlerden oluşan uygun montaj sıralarını optimize etmek için geliştirilmiştir. Dolayısıyla, öncelikle ürünün uygun montaj sıralarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla montaj sistemi bağlantı çizgesi ile temsil edilmektedir. Bu çizgenin düğümleri montaj parçalarını ve kenarları ise, montaj konumunda kartezyen koordinat sisteminin altı yönü boyunca parçalar arası temas ilişkilerini tanımlamaktadır. Temas ilişkileri montaj resminin çeşitli görünüşlerinin taranması ve farklı parçalara ait renk kodlarının işlenmesi ile otomatik oluşturulmaktadır. İkili vektörler montaj işlem basamaklarını temsil etmek için kullanılmıştır. Bu vektörlerin bir kısmı montaj işlem basamağı oluşturmaz. Bu durumu belirlemek amacıyla bağlantı çizgesinden faydalanılmıştır. Ayrıca, montaj işlem basamaklarının uygun bir montaj sırasında bulunanlarını belirlemek için çeşitli sınırlayıcılar kullanılmıştır. Bunlar; alt montaj, kararlılık ve geometrik uygunluk sınırlayıcılarıdır. Montaj işlem basamaklarının geometrik uygunlukları, parçalar

arası çarpışma ilişkilerini temsil eden kesişim matrisleri vasıtasıyla belirlenmiştir. Bu matrisler de montaj görünüşlerinden elde edilmiştir.

Uygun olduğu tespit edilen montaj sıralarının optimizasyonu için montaj sırası planlama sistemlerinde kullanılabilecek bir optimizasyon yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım ile bir ürüne ait uygun olduğu belirlenen montaj sıraları içerisinde en uygununu belirlenebilmektedir. Yaklaşım iki temel kriteriye dayanmaktadır. Bunlardan ilki ağırlık, ikincisi ise serbestlik derecesi kriterleridir. Bu yaklaşım, üç farklı montaj sistemine uygulanmıştır. Örneğin dört parçadan oluşan pense montaj sisteminde, öncelikle alt-tutamak ve üst-tutamağın birleştirilmesi, daha sonrasında bu alt montaja sırasıyla civata ve somunun monte edilmesi mantığa uygundur. Ayrıca, bu yaklaşıma dayalı tamamen otomatik çalışan bir optimizasyon sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, montaj sırası planlama amaçlı geliştirilen bir sistemin optimizasyon ünitesini oluşturmaktadır. Optimizasyon yaklaşımı, uygun montaj sıraları farklı metotlar ile temsil edilen sistemler için de verimli şekilde kullanılabilir. Ayrıca bu yaklaşım vasıtasıyla montaj sistemleri için en uygun ve uygun sıralar içinden en az tercih edilen montaj sırası da belirlenebilir.

AN OPTIMIZATION APPROACH IN ASSEMBLY SEQUENCE PLANNING SYSTEMS

This paper presents an optimization approach for assembly sequence planning systems. The approach is based on two criteria that are weight and degree of freedom for subassemblies. The weight criteria makes it necessary to assemble from heavy parts to light parts in order to reduce assembly time and to conduct assembly process easily. Reducing assembly time also decreases assembly cost. The subassembly degree of freedom criteria makes it necessary to choose subassembly which is low degree of freedom in order to hold parts in low degree of freedom. Assembly sequence which was applied to both optimization criteria was selected as optimum one. In this work, various assembly systems were examined. At first, it was necessary to determine feasible assembly sequences of these systems. Therefore, feasible assembly sequences were determined by various assembly constraints and then they were represented by sequence of binary vectors. Pincer, hinge and clutch assemblies are taken as sample systems and their optimum assembly sequences are determined.

Keywords: Assembly sequence planning, optimization.

KAYNAKÇA

1. Homem de Mello, L.S., ve Lee, S., *Computer-Aided Mechanical Assembly Planning*, Kulwer Academic Publishers, Massachusetts, 1991.
2. De Fazio, T.L. ve Whitney, D.E., Simplified Generation of All Mechanical Assembly Sequences, *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 3 (1987) 6, 640-658.
3. Homem de Mello, L.S. ve Sanderson A. C., A Correct and Complete Algorithm for the Generation of Mechanical Assembly Sequences, *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, 7 (1991) 2, 228-240.
4. Homem de Mello, L.S., ve Arthur, C.D., AND/OR Graph Representation of Assembly Plans, *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, 6 (1990) 2, 188-199.
5. Wilson, R.H., *On Geometric Assembly Planning*, PhD Thesis, Stanford University, Stanford CA, 1992.
6. Lieberman, L.I. and Wesley, M.A., AUTOPASS: An Automated Programming System For Computer Controlled Mechanical Assembly, *IBM Journal of Research and Development*, 21, 321-333, 1977.
7. Pandey, P.C. and Sarvanathan, V.C., *Automated Assembly Sequence Planning System for Mechanical Parts*, M. Eng. Thesis, Industrial System Engineering Program, Asian Inst. of Tech, Bangkok, 1997.
8. Zhang, W., Representation of Assembly and Automatic Robot Planning by Petri Net, *IEEE Trans. On Systems, Man, and, Cybernetics*, 19 (1989) 2, 418-422.
9. Cao, T. ve Sanderson, A.C., Task Sequence Planning in a Robot Workcell Using AND/OR Nets, *IEEE Int. Symp. On Intelligent Control*, 239-244, Arlington, VA, 1991.
10. Suzuki, T., Kanehara, T., Inaba, A. ve Okuma, S., On Algebraic and Graph Structural Properties of Assembly Petri Nets, *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 507-514, Atlanta, GA, May 1993.
11. Thomas, J.P., A Petri Net Framework for Representing Mechanical Assembly Sequences, *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Raleigh, NC, 2116-2121, July 1992.
12. Groppetti, R., Santucci, A. and Senin, N., On the Application of Coloured Petri Nets to Computer Aided Assembly Planning, *IEEE Symp. On Emerging Technologies & Factory Automation*, Tokyo, Japan, 381-387, November 1994.
13. Lee, S. ve Shin, Y.G., Assembly Planning based on Geometric Reasoning, *Computation and Graphics*, 14 (1990) 2, 237-250

14. Jentsch, F. K., Automatic generation of Assembly Sequences, *Art. Int. and Inf. Control Systems of Robots*, Tcheoslovaquie, 197-200, 1984.
15. Bullinger, H.J. ve Jiedel, A., *Assembly Sequence Planning Using Operations Networks*, In *production research Approaching 21 st Century* (Editors: Pridhan, M. and O.E. Brien, C), Taylor and Francis, 495, 1991.
16. Wolter, J.D., *On the Automatic Generation of Plans for Mechanical Assembly*, PhD thesis, Univ. of Michigan, 1988.
17. McHugh, J.A., *Algorithmic Graph Theory*, Prentice-Hall Int., Inc., Int. edition, 1990.
18. Boothroyd, G., Product design for manufacture and assembly, *CAD*, 26, 7, 505-509, 1994.
19. O'Grady, P. vd., A review of approaches for assembly, *Concurrent Engineering*, 1, 3, 5-11, 1991.
20. Zeid, I., *CAD/CAM Theory and Practice*, McGraw-Hill, Inc., Press, New York, 1991.

MikroElektroMekanik Sistemler (MEMS): Genel bir Tanıtım

Melik Dölen

Dr. Mak. Yük. Müh.
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
06531 ANKARA

Halit Kaplan

Dr. Mak. Yük. Müh.
Wisconsin Üniversitesi
Mak. Müh. Bölümü
Madison, WI 53706, A.B.D.

Bu makale yeni bir araştırma dalı olan mikro-elektro-mekanik sistem teknolojilerini tanıtmayı hedeflemektedir. Makalede, yüzey/gövde mikro-işleme, elektro-erozyon, lazerle işleme ve yüksek derinlik oranlarına sahip mikro yapıların üretiminde kullanılan LIGA teknikleri gibi başlıca mikro-üretim yöntemleri kısaca ele alınıp, karşılaştırmalı olarak tanıtılacaktır. Bu üretim teknikleriyle yapılmış silisyum tabanlı mikro-duyucu ("micro-sensors") ve mikro eyleyicilere ("micro-actuators") çeşitli örnekler verilecektir. Bu makalede ayrıca mikro-mekanik sistemlerin (dizgelerin) tasarlanmasında kullanılan ölçeklendirme kanunları ele alınacaktır.

GİRİŞ

En genel anlamıyla mikro-elektro-mekanik sistemler (MEMS) küçük ölçekli elektro-mekanik düzeneklerin ve sistemlerin incelendiği disiplinler arası bir bilim dalıdır. İlgili sistemlerin karakteristik boyutu çoğunlukla birkaç mikrondan (μm) birkaç cm'ye kadar değişebilir. Bu araştırma alanının bilimsel kaynaklarda çok değişik isimleri vardır: mikro-mekanik sistemler, mikro sistem teknolojisi (MST) ve mikro-mühendislik bunlardan sadece bazılarıdır. Kimi bilimsel çevrelerde, bu bilim dalı nano-teknoloji olarak da anılır. Ancak nano-teknoloji çoğunlukla bir nanometreden bir mikrona kadar değişen boyuttaki sistemleri kapsar ve MEMS'in aksine, ilgilendiği sistemleri atomik seviyeden başlayarak oluşturmaya çalışır.

Bir mekanik sistemi mikro ölçekli olarak küçültmenin birçok yararı vardır. Öncelikle böyle bir sistemde, hacimle ilgili kuvvetler (ağırlık/atalet) önemini yitirir. Bunun doğal sonucu ise, çok hızlı mekanik sistemlerin mikro ölçekli dünyada gerçekleştirile-bileceğidir. Böylece anlık hareket ettirilip/durdurulabilen mekanizmalardan çok büyük ivmeli hareketlere dayanabilecek duyuculara kadar, birçok sistemi (mikro-ölçekli dünyada) hayata geçirmek mümkün olur. Ayrıca mikro-mekanik

sistemler büyük ölçekli makina sistemlerine göre daha az yer kaplayıp, daha az güç harcarlar. Uygun seri-üretim teknikleriyle, bu tip sistemlerin çok ucuza da imal edilebilecekleri önemli bir gerçektir.

Aslında mikro-mekanik sistemler kendi başlarına da önemli uygulama alanları bulsa, MEMS teknolojisinin en temel amacı bu tip sistemleri mikro-elektronik teknolojisiyle bütünleştirerek, aynı yapı (kırıkmık) altında uygun bir işlevi yerine getirecek tümleşik sistemi yaratmaktır. Günümüzde olgunlaşma aşamasına gelen mikro-elektronik teknolojisinin üretim teknikleriyle, hiç şüphesiz minyatürleştirilmiş mekanik, elektro-mekanik, ve optik sistemlerin üretilmesi mümkündür. En geniş anlamıyla, bu üç farklı sistemi bir araya getiren bilim dalına mikro-opto-elektro-mekanik sistem (MOEMS) teknolojisi adı da verilebilir; teknik kaynaklarda MEMS, MOEMS'i de kapsayan bir kavram olarak kullanılmaktadır.

MEMS'in mikro-elektronik teknolojisiyle önemli benzerlikleri vardır. MEMS çoğunlukla ana malzeme olarak silisyumu kullanmasının yanında; fotolitografi, katkılama, kimyasal buharla biriktirme vs. gibi mikro-elektronik teknolojisinin temel üretim tekniklerinden yararlanır. Bunu en önemli nedeni, hali hazırdaki mikro-elektronik malzeme ve üretim teknolojilerinin kolaylıkla bu yeni alana uyarlanabilmesidir. Bunun dışında, MEMS ile mikro-elektronik teknolojisi arasında belirgin farklılıklar da vardır. Öncelikle, mikro-elektronik cihazlar çoğunlukla iki boyutludur ve sadece işaret/bilgi (elektron akışı) temelli çalışırlar. MEMS ise genelde üç boyutlu bir yapıya sahiptir ve çok değişik fiziksel ortamlarla (akışkanlar, sıcaklık, elektro-manyetik dalgalar vs.) etkileşim halindedir. Ayrıca üç boyutlu yapısı gereği MEMS, mikro-elektronikte kullanılmayan bazı yeni malzeme ve üretim teknolojilerini de beraberinde getirir. Biyolojik sistemlerle MEMS arasında basit bir benzerlik (analoji) kurulursa, MEMS'in bünyesinde yer alan mikro-elektronik sistem bu yapının beynini, elektro-mekanik donanımlarsa onun duyu (ve kas) sistemini oluşturur.

MEMS'in günümüzde en yaygın uygulama alanı; hiç şüphesiz ki, duyucu ("sensor") sistemleriyle bu sistemlerin sağladığı verileri (işaretleri) işleyerek, yararlı sonuçlar üreten tümleşik sistemlerdir. Son zamanlarda otomotiv sektörü için üretilen ve kaza

anında hava yastığını devreye sokan sistem, bunun en güzel örneğidir. Bu kırmık (Analog Devices ADXL50); bir ivme ölçer ve belirli bir yavaşlama (eşik) değeri için hava yastığındaki ateşlemeyi tetikleyecek bir mikro-elektronik devreden oluşur [1]. Böylesi tümleşik sistemlerin yukarıda sözü edilen olumlu yanlarının yanında, güvenilirliği de oldukça fazladır. Şöyle ki titreşim, dinamik kuvvetler ve çeşitli ısı etkiler nedeniyle; duyucu ve onun ölçümlerini değerlendiren (elektriksel) kontrol/denetim sistemlerinde (örneğin elektriksel motor sürücüleri) ortaya çıkan arızaların temel kaynağı, duyucuyu sisteme bağlayan iletim hatlarındaki veya bağlantı elemanlarındaki kopukluklardır [2]. Uygun bir paket altında toplanan böyle MEMS uygulamaları, bu tür sorunları ortadan kaldırır. Günümüzde MEMS aslında birçok değişik araştırma alanına girmiştir. Tablo 1, kısaca MEMS cihazların kullanıldığı bazı uygulama alanlarını göstermektedir.

Tablo 1 Günümüzdeki MEMS uygulama alanları.

Alan	Uygulama
Akışkanlar Mekaniği	Kayma gerilmesi ölçümü, düşük Reynolds sayılı akışkanlar mekaniği uygulamaları
Bilgisayar	Optik esaslı bilgi depolama ve disk sürücü teknolojisi, mürekkep püskürtmeli yazıcılar
Biyoloji ve Tıp	DNA analizi, mikro-cerrahi aletler, kimyasal duyucular, sinirsel elektrodlar/sondalar
Elektronik	Cihazlar ve röleler
Fizik	Gelişmiş mikroskop uygulamaları, mikro ölçekli sıcaklık ölçüm uygulamaları
Haberleşme	Radyo frekansı devre ve filtre uygulamaları
Havacılık ve Uzay	Sürüklenme direncinin kontrolü, minyatür hava araçları, mikro-uydular, uydular için az yer kaplayan cihaz uygulamaları, radyasyon ölçüm
Optik	Tümleşik optik sistemler, optik anahtarlama, sayısal ışık işleme, düz panel görüntüleme
Taşıt Tekniği	Basınç/sıcaklık/ivme ölçümü, taşıt güdüm teknolojileri

MEMS'in kurucusu olarak çoğunlukla ünlü fizikçi Richard Feynman anılır. 1959 yılında Feynman, malzemeleri buharlaştırarak veya biriktirerek son derece küçük cihazların üretilebileceği fikrini ortaya atmıştır [3]. Feynman önemli konuşmasında; biyolojik sistemleri örnek göstererek, malzemelerin önce kimyasal olarak sentezini yapıp, ardından da onları fiziksel olarak atomik mertebede bir araya getirerek küçük makinalar üretilmesi önerisinde bulunmuştur. Bu düşüncenin sınırlı bir çerçevede de olsa hayata geçirilmesi altmışlı yılların ortalarını bulmuştur. Mikro cihazların o zamanki üretim teknikleri, gelişmekte olan tümleşik devre teknolojisinin doğal bir uzantısıdır. Mikro röleler, basınç duyucuları ve debi ölçerler bu yıllarda üretilmeye başlanmış mikro-ölçekli mekanik sistemlere örnektir. Yetmişli yıllarla beraber, tümleşik devre teknolojisinden uyarlanan

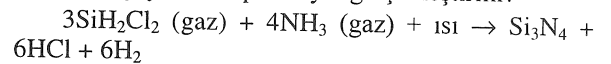
üretim yöntemleri daha da gelişim göstermiştir. Katkılama yardımıyla kazıntı/aşındırma ("etching") durdurma teknikleri sayesinde birçok mikro ölçekli duyucu (basınç, sıcaklık ve görüntü) başarıyla üretilir hale gelmiştir. Seksenli yılların sonlarına doğru yeni yüzey mikro-işleme ("surface micromachining") teknikleri ortaya çıkmış [4] ve sonucunda rezonanslı duyucular ve mikro eyleyiciler (tahrik elemanları, motorlar) gibi sistemler seri olarak üretilme aşamasına gelmiştir. Yüzey mikro-işleme tekniklerinin en önemli özelliği şudur: Bu teknik yardımıyla; bağlama elemanları, yataklar, esnek destekleme parçaları, vs içeren mikro-mekanik sistemler doğrudan doğruya silisyum plaka/pul üzerine inşa edilebilmektedir. Böylece, çok masraf ve zaman gerektiren makina montaj işlemi ortadan kaldırılmaktadır. Doksanlı yılların başıyla beraber, yüksek enerjili X-ışını litografisine bağlı teknikler (LIGA) gelişim göstermeye başlamış [5], nispeten yüksek derinliğe ("aspect ratio") sahip mikro-mekanik sistem ve cihazların üretilmesi mümkün olmuştur. İlerleyen yıllar, yeni LIGA tekniklerini (geçici katmanlı LIGA teknikleri) beraberinde getirmiş [6]; desteklenmemiş mikro-mekanik yapıların ve elemanlarının üretilmesi imkan dahilinde olmuştur. Bir sonraki bölümde burada sözü edilen yöntemler daha detaylı olarak irdelenecektir.

MİKRO-ÜRETİM TEKNİKLERİ

MEMS teknik kaynaklarında çok sayıda mikro-üretim tekniği bulunmaktadır. Bu teknikler kullanılarak, boyutları birkaç mikrondan birkaç mm'ye kadar değişen türlü amaçlı mikro-cihazlar üretilmektedir. Bu makalede, bu tekniklerden önemlileri kısaca tanıtılacaktır.

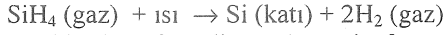
1. Yüzey Mikro-işleme

Bu teknikte, nispeten alçak yüksekliğe (birkaç mikron) sahip mekanik sistemler, çeşitli geçici ve esas malzeme katmanları şekillendirilerek, bir silisyum pulun yüzeyinde oluşturulur. Mikro-yüzey işleme foto-litografi tekniğine dayalı bir üretim tekniğidir. Şekil 1 bu teknikte kullanılan önemli işlem adımları göstermektedir. Öncelikle yabancı maddelerden arındırılmış silisyum plakanın yüzeyi ince bir yalıtım katmanıyla (genellikle Si_3N_4) kaplanır (Şekil 1.1). Bu işlemde kimyasal buharlama tekniği kullanılıp, nispeten düşük sıcaklık (70-100°C) ve vakumlu (çok düşük basınçlı) özel bir tepkime odasında, şöyle bir tepkimeyle gerçekleştirilir:



Ardından onun üzerinde ince bir ana malzeme (çoğunlukla çok kristalli silisyum: poli-silisyum) katmanı oluşturma aşamasına geçilir (Şekil 1.2). Yine benzeri bir yöntemle genellikle 580-650°C sıcaklık ve çok düşük bir basınç altında (40-70 Pa), plakanın

yalıtma katmanının üzerinde arzu edilen (çok yönlü) silisyum kristali geliştirilir:



Bir sonraki adım, foto-direnç (örneğin foto-polimer) malzemesiyle en son yüzeyin kaplanmasıdır (Şekil 1.3). Bu amaçlı birçok kaplama tekniği bulunmakla beraber; 10 µm'den ince foto-direnç katmanları için dönel kaplama ("spin coating") yöntemi çoğunlukla kullanılır. Bu teknikte, sıvı fazındaki foto-direnç malzemesi (hızla) döndürülmekte olan plakanın üzerine (merkezden) damlatılarak, sıvının ince bir film halinde yüzeye yayılması sağlanır. Bu adımı genellikle bir ön-pişirme izler. Daha sonra foto-direnç katmanı bir maskeden geçirilen (optik, X-ışını, mor-ötesi vs.) bir ışımaya tabî tutulur (Şekil 1.4). Burada söz konusu olan maske yüzeyde oluşturulmak istenen şekli içerir ve çoğunlukla cam üzerine krom kaplanarak elde edilir. Işıma altında kalmış foto-direnç malzemesi kimyasal olarak değişime uğrar (Şekil 1.5). Bu değişimi foto-polimerler (organik malzeme) için şöyle ifade etmek mümkündür:

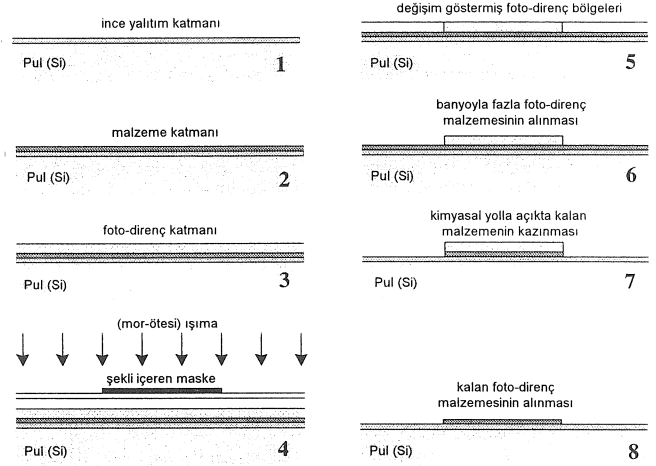


Burada ∇ Planck sabitini ve v ışının frekansını ifade etmekte; MW_i bozulmaya uğramamış (orijinal) foto-direnç malzemesinin (ortalama) molekül ağırlığını, MW_s ise değişmiş olanını belirtmektedir. Bu işlemi takiben, plaka (çoğunlukla alkol temelli) bir kimyasal çözelti içinde banyo edilir. Bu kimyasal banyo sırasında değişime uğramış foto-direnç malzemesi erir ve böylece şekli içeren bir foto-direnç malzemesi geriye kalır (Şekil 1.6).

Aslında foto-direnç malzemesinin banyoda erime hızı MW (molekül ağırlığı) ile ters orantılıdır. Foto-direnç malzemelerinde ışımaya ortaya çıkan kimyasal tepkimeler iki türdür. Bir grup foto-polimer ışımaya tabî tutulduğunda, bazı moleküllerinin bağları koparak, yerini daha küçük (hafif) moleküllere bırakır. Dolayısıyla ışımaya bırakılan alanda $\text{MW}_s \ll \text{MW}_i$ olduğundan; bu bölümdeki malzeme banyoda (diğer bölümlere göre) daha hızlı erir. Bu durumda maskedeki şekil olduğu gibi foto-direnç katmanına aktarıldığı için bu tür malzemelere *pozitif* foto-direnç adı verilir. Bir diğer foto-direnç malzemesindeyse (lastiksi foto-dirençler), ışımaya ilgili tepkime daha önce sözü edilenin tam tersidir. Işıma etkisine bırakılan bölümdeki malzemenin moleküllerinden bir kısmı yeni kimyasal bağlar oluştururlar. Sonuçta $\text{MW}_s \gg \text{MW}_i$ olduğundan; banyoda sırasında değişim göstermemiş malzeme (diğer bölgelerdekine göre) daha kolaylıkla erir. Böylece maskedeki görüntünün negatifi (tümleyeni) foto-direnç katmanına işlendiğinden; bu türden malzemelere *negatif* foto-direnç adı verilir.

Maskedeki şekil foto-direnç katmanına aktarıldıktan sonra, olası kirlenmeye karşı (çoğunlukla plazma yardımıyla) arındırılır; son bir

fırınlamanın ardından; başka kimyasal banyo (asit temelli) ile açıkta kalan esas malzeme katmanı kazınır (Şekil 1.7). Foto-direnç malzemesi, onun altında yer alan malzeme tabakasını kimyasal banyonun etkilerinden korusa da, özellikle foto-direnç malzemesinin köşelerinde malzeme kazınması (alttan kazınma) görülebilir. Bu işlemin ardından, kalan foto-direnç malzemesi yukarıda sözü edilen tekniklerle alınır (Şekil 1.8). Söz konusu işlem ardışık olarak uygulanarak, birçok gecici ("sacrificial") ve yapısal ("structural") katman oluşturulabilir. İşlem sonunda, gecici katmanlar kazınır ve geriye tamamen montajı yapılmış mekanik sistem ortaya çıkar.



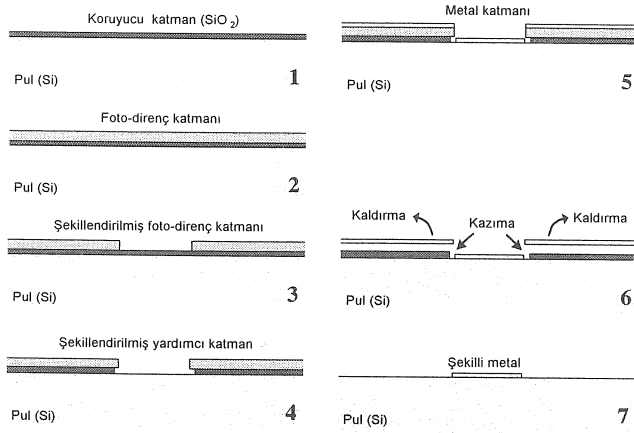
Şekil 1 Yüzey mikro-ışılama tekniği.

Hassas cihaz ve tümleşik devre teknolojisinde sık kullanılan *elektro-kaplama* ("electroplating") tekniği mikro-ışılama teknikleri içinde de yer almaktadır. Bu yöntemde; Au, Ag, Cu, Ni, Pt, Pd gibi değerli metaller, elektrokimyasal olarak silisyum veya cam pulun üzerinde büyütülerek, mikroyapılar oluşturulur. Daha sonraki bölümlerde de açıklanacağı üzere, bu tekniği kullanarak yüksek (birkaç mm) mikro-yapılar da oluşturmak mümkündür. Elektro-kaplamanın en önemli yararlarından biri, standart ekipmanlar kullanması ve kaplama işleminin "temiz oda" dışında gerçekleştirilebilmesidir.

Bir başka önemli mikro işleme tekniği de kaldırma yoluyla mikro-ışılama. Bu teknikte, kimyasal karışımlarla kazınmanın (aşındırmanın) güç olduğu değerli metaller (altın, gümüş, iridyum gibi) silisyum pul üzerinde şekillendirilir. Şablonlama ve tabaka halinde kaldırmaya dayalı bu işlemi, Şekil 2 ayrıntısıyla göstermektedir. Öncelikle, ince bir film halinde bir yardımcı katman (oksit) silisyum taban üzerinde oluşturulur. Ardından, foto-direnç malzemesiyle kaplanan üst yüzey, yukarıda sözü edilen foto-litografik tekniklerle şekillendirilir. Oksit tabakasının açıkta kalan kısımları, asit banyosu yardımıyla alınır. Foto-direnç katmanının

köşelerinde yer alan oksit malzemesinde bir miktar alttan kesme olması arzu edilir. Bu işlemi, metalin yüzeye buharlaştırma tekniğiyle biriktirilmesi izler. Böylece metal, foto-direnç katmanının boşluklarından geçerek pul üzerine "şablonlanmış" olur. Yukarıda kalan (istenmeyen) metal, foto-direnç katmanının (aseton gibi ıslak aşındırıcı sayesinde) kazınmasıyla birlikte kalıp halinde ortadan kalkar. Son olarak yardımcı oksit katmanı alınarak, işlem son bulur.

Silisyum yüzey mikro-işleme tekniklerinin en çekici yanı, mikro-elektronik endüstrisinde hali hazırda kullanılmakta olan donanım ve işlemlerden faydalanmasıdır. Bunun doğal sonucu olarak da, mikro-işleme elde edilen mekanik sistemler kolaylıkla CMOS elektronik donanımla aynı kırmık üzerinde birleştirilebilmektedir. Bu tekniğin en önemli sakıncalarından biri, mikro yapıların kalınlıklarının sadece birkaç mikron sınırlı olmasıdır. İleriki bölümlerde de irdeleneceği üzere; bu özellik mikro eyleyiciler (tahrik elemanları) için önemli bir kısıtlamadır çünkü elemanın oluşturduğu kuvvet (moment) onun yüksekliğine büyük ölçüde bağlıdır. Bu tür sınırlamalara rağmen yüzey mikro-işleme tekniği çok yaygın olarak kullanılmaktadır ve yüzey mikro-işlemenin standart bir süreç olarak yapıldığı mikro-fabrikasyon merkezleri vardır.



Şekil 2 Kaldırma tekniğiyle mikro-işleme.

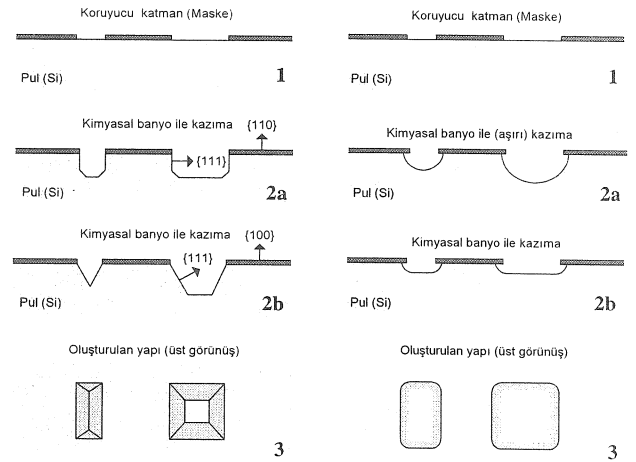
2. Gövde Mikro-işleme

Bu işleme tekniğinde, mikro-mekanik cihazlar silisyum kristalin üzerinde nispeten derin bir aşındırma yapılarak, çoğunlukla kanallar, yarıklar, piramitler, çeşitli şekillerdeki çukurlar oluşturulur. Kullanılan aşındırıcı ortamın özelliklerine bağlı olarak, çeşitli gövde mikro-işleme ("bulk machining") yöntemleri geliştirilmiştir [7].

Bunlardan bir tanesi olan ıslak kazıma, çoğunlukla asit temelli (sıvı) kimyasal maddeler kullanılır. Şekil 3'de de gösterildiği gibi, foto-

litografik yöntemlerle yüzeyi maskelenmiş silisyum plaka, asit temelli kimyasalları içeren banyoya daldırılarak bekletilir. Kullanılan kazıyıcı maddenin özelliklerine bağlı olarak açıkta kalan malzeme farklı biçimlerde kazınır.

Anizotropik kazıma, potasyum hidroksit (KOH), EDP (çeşitli oranlarda $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2$, $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$, H_2O , $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2$ içeren bir kimyasal), hidrozin gibi maddeler kullanılır ve bunlar değişik kristal doğrultularında farklı hızlarda kazıma yapar. Şekil 4 silisyum kristalinin yapısını ve farklı düzlemlerdeki atomik yoğunluğu göstermektedir. Söz konusu kimyasal maddeler, atomik yoğunluğunun fazla olduğu düzlemlerde (örneğin (111) düzlemi) çok yavaş kazıma yaparlar öyle ki bu tip kristal düzlemlere *durdurma düzlemleri* adı da verilir. Banyo zamanı, kazıyıcı içindeki katkı maddeleri, silisyumun içinde yer alan yabancı atomlar, kristal kafesinin doğrultusu ve maskenin yönü gibi birçok etmen anizotropik kazıma sonucu elde edilecek şekli etkiler. Sonuçta anizotropik kazıma, Şekil 3-a gösterildiği gibi, daha çok V şekilli yarıklar, piramidler ve silisyum plaka üzerinde kanallar elde etmek için kullanılır. Buna benzer olarak, *izotropik kazımadaysa*, HF, HCl gibi kimyasal maddelerden yararlanır. Şekil 3-b'den de anlaşılacağı gibi, kazıma hemen bütün yönlerde aynı hızda ilerler ve silisyum üzerinde yuvarlak şekilli yapılar elde edilir. Anizotropik kazımının aksine, bu tür kazıma; üretilecek yapının geometrisi üzerinde çok hassas bir denetim sağlamak göreceli olarak zordur.



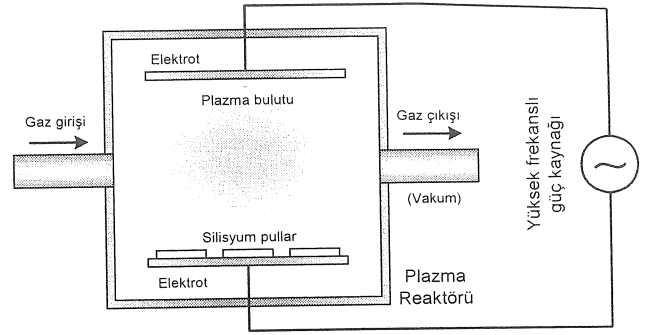
a. Anizotropik kazıma

b. İzotropik kazıma

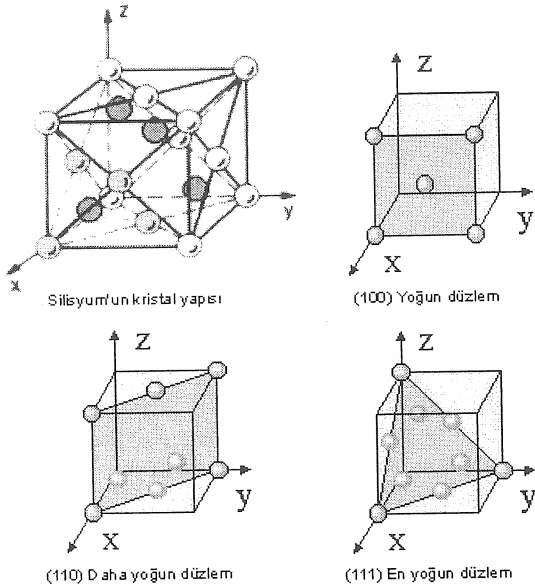
Şekil 3 Islak kazımayla gövde mikro-işleme.

Bir başka gövde mikro-üretim tekniği de *kuru kazıma*dır. Bu tür üretimin en çok uygulanan tekniklerinden biri *derin tepkili ion kazımadır* ("deep reactive ion etching"). Bu üretim tekniğinde Şekil 5'deki gibi bir paralel elektrodlu tepkime odasından yararlanır. Üzerleri şekilli bir koruyucu katmanla

kaplanmış pullar, tepkime odasının (güç) elektroduna yerleştirilir. Odaya çok düşük basınç altında kazıyıcı bir gaz (örneğin Freon 14) gönderilir. Elektrodlar arasına uygulanan yüksek potansiyel nedeniyle gaz ionlaşır. Ortaya çıkan iyonlar kazınacak malzemeye doğru ivmelendirilerek, hareket yönündeki kazıma tepkimesi önemli ölçüde hızlandırılmış olur. Her istenen şekilde olan ve nispeten yüksek derinliğe (10 mikron civarı) sahip yapıları bu teknikte kolaylıkla üretmek mümkündür.



Şekil 5 Paralel elektrodlu tepkime odasında plazmayla kazıma.



Şekil 4 Silisyum'un kristal yapısı ve çeşitli Düzlemlerdeki atomik yoğunluk ([8]'den uyarlanmıştır).

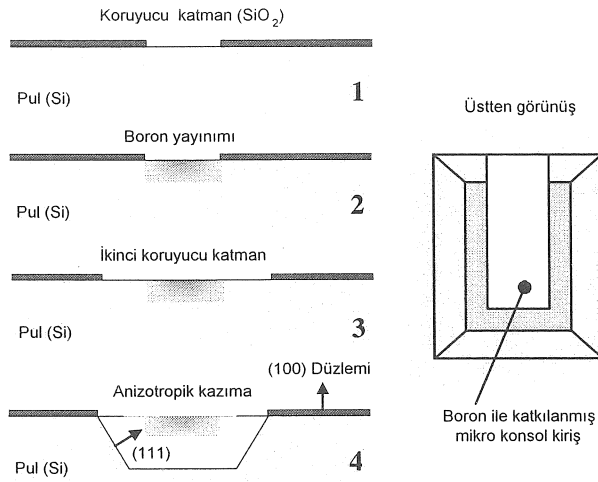
Bu yöntem büyük ölçüde anizotropik kazıma özelliği sergiler. Ancak benzeri olan ıslak kazıma tekniklerinin aksine, bu teknik silisyumun kristal düzlemlerine bağımlı değildir ve Si, SiO₂, Si₃N₄, Al gibi birçok değişik malzeme bu teknikte işlenebilmektedir. Teknik kaynaklarda plazmaya dayalı birçok kuru kazıma yöntemi vardır. Bu teknikler de Şekil 5'tekine benzer tepkime odalarından faydalanır. Ancak derin tepkili ion kazımasından farklı olarak, pullar topraklanmış elektroda yerleştirilir. Dolayısıyla, oluşturulan plazma, sadece kimyasal yollarla kazıma yapar. Tablo 2 sözü edilen kuru kazıma tekniklerini karşılaştırmalı olarak özetlemektedir. Bu tabloda geçen "seçicilik" kazıyıcı ortamın sadece arzu edilen malzemeyi kazıması ve pul üzerinde bulunabilecek diğer malzeme türlerine zarar vermemesi anlamına gelmektedir.

Bu grupta yer alan bir başka üretim tekniğiye *konsantrasyona bağlı kazımadır*. Silisyum içinde yer alan yabancı atomlar, KOH gibi kimyasallarla yapılacak (ıslak) kazımanın hızını önemli ölçüde düşürür. Örneğin, yüksek oranda Boron ile katılanmış silisyumun kazınması neredeyse durmuş sayılabilir. Bu ilkeye dayandırılmış üretim tekniği Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu yöntemde, nispeten kalın bir oksit tabakası silisyum pul üzerinde oluşturulduktan sonra, foto-litografik tekniklerle şekillendirilir. Ardından pul, özel bir ocağa konarak; açıkta kalan silisyumun Boron (kaynağı) ile temasa geçmesi sağlanır. Bir süre boyunca, Boron atomları difüzyon (yayınım) yoluyla silisyum kristali içine yayılır. Daha sonra pul üzerindeki oksit katmanı (difüzyon maskesi) alınır ve bir başka oksit katmanı yüzey üzerinde oluşturulup, şekillendirilir. Pul KOH banyosuna daldırılarak, açıkta kalan ve Boronla katılanmamış olan silisyum anizotropik olarak kazınır. Oksit katmanı kaldırılmasıyla işlem sona erer. Bu teknikte, çoğunlukla basınç ve sıcaklık duyucularının ihtiyaç duyduğu konsol (ankastre) mikro kirişler ve çeşitli geometrilerdeki zar (ince kabuk) tipi yapılar üretilebilir. Ayrıca, sonradan bir araya getirilmek üzere bağımsız mikro-mekanik yapı elemanları da oluşturmak mümkündür.

Gövde-mikroişleme teknolojisinin bir uzantısı da çözülmüş-pul tekniğidir. Bu işlemden, mikro yapılar yine pul üzerinde boron katılama ile belirlenir. Bütün pul bir anizotropik kimyasal maddeye atılır ve katılanmamış silisyum tamamen çözülerek, yapılar serbest bırakılır [9].

Gövde mikroişleme tekniği çoğunlukla silisyum pul *birleştirme* tekniklerine ihtiyaç gösterir. Böylelikle, bu teknikte üretilmiş birçok pul birleştirilerek, değişik ölçülerde ve karmaşıklıkta mikro-mekanik yapılar meydana getirilir. Birleştirme tekniği olarak, *anodik bağlama* ve *silisyum kaynağıyla bağlama* oldukça yaygın olarak kullanılır [10]. Aslında *silisyum plaka* birleştirme teknikleri çok katlı mikro-yapıları üretilmesi yanında, yalıtım/salmastra [11], montaj [12] ve paketleme [13, 14] gibi işlemlere de uyarlanmıştır. Sıradan

kaynaklama işlemine benzeyen plaka birleştirmenin şu gibi temel adımları vardır: **i.** bağlanacak plakaların yüzeyleri tozdan ve yabancı parçacıklardan arındırılır; **ii.** plakaların üzerindeki mikro-yapılar bir hizaya getirilir; **iii.** yüzeyler oda sıcaklığında temas ettirilir; **iv.** hazırlanmış plakalar yüksek sıcaklığa çıkartılırlar. Bazı durumlarda ara katmanlar da (cam türevleri [15], yapıştırıcılar [16]) işlem sırasında kullanılabilir. Birleştirmeye yardımcı olması amacıyla; basınç, elektrostatik alan veya ıslanmış yüzeyler arasındaki (kimyasal) çekim gibi unsurlara bazen başvurulduğu da görülebilir. Sözü edilen birleştirme teknikleri yüksek sıcaklık veya yüksek gerilime dayalı olduklarından; ısıl şok hem mikro-yapıya hem de mikro-elektronik devrelere önemli zarar verebilir. Bu nedenle, düşük sıcaklıkta gerçekleşen birçok pul birleştirme tekniği de geliştirilmiştir [17-18].



Şekil 6 Konsantrasyona bağlı kazıma.

Tablo 2 Kuru kazıma tekniklerinin karşılaştırması.

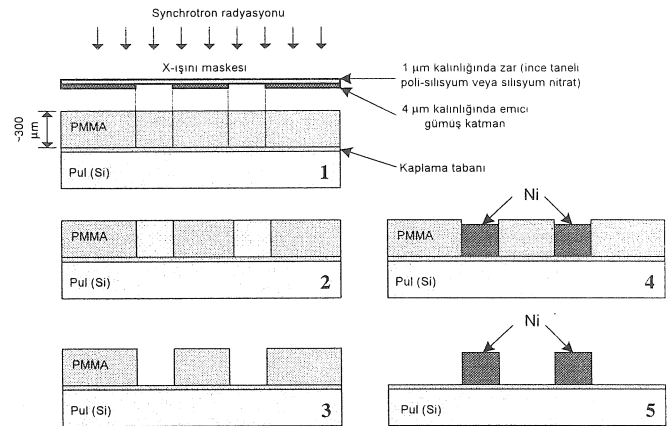
	İon	Tepkili ion	Plazma
Kazıma mekanizması	Fiziksel ion bombardımanı	Fiziksel ve kimyasal	Hızlı kimyasal
Kazıma şekli	anizotropik	anizotropik	izotropik
Seçicilik	kötü	orta	iyi
Basınç [Pa]	0...1	1...10	10...25
Uyarı enerjisi	yüksek	orta	Düşük

3. Geliştirilmiş LIGA İşlemi

LIGA tekniği, Karlsruhe Nükleer Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiş bir üretim işlemi olup, birçok değişik teknolojiyi bünyesinde toplamıştır [5]. Terim bir terim olarak, LIGA Almanca *Lithographie* (Litografi), *Galvanoformung* (Elektro-kaplama), *Abformung* (presle kalıplama) terimlerinin baş harflerinden oluşturulmuştur. Bu işlemde, pleksi-glas benzeyen PMMA (poli-metilmet-akrilit) malzemesi (foto-polimeri) kullanılır. Şekil 7'de de gösterildiği üzere; PMMA özel bir

maske yardımıyla, nispeten yüksek enerjili bir X-ışını radyasyonuna ("synchrotron radiation") maruz bırakılır. Açıkta kalan PMMA'nın moleküllerinden bazılarının bağları kopar ve kimyasal olarak değişime uğramış PMMA çözülebilir hale gelir (Şekil 7-2). Metil-iso-bütül-keton (MIBK) yada iso-propil-alkol (IPA) içeren özel bir kimyasal çözelti banyosu aracılığıyla değişime uğramış PMMA çözülür (Şekil 7-2). Bu yöntemde oldukça yüksek duvarlı yapılar (0.3mm) büyük bir hassasiyet (0.1-0.3µm) ile üretilebilir. Daha sonra açıkta kalan kısımlar metal (Cu, Au, Ni) bir tabakayla (elektro-kaplama tekniğiyle) kaplandıktan sonra (Şekil 7-4), kalan PMMA kimyasal yöntemlerle ayrılır. Metal en son yapı olabileceği gibi (Şekil 7-5), gerekirse, enjeksiyon (press) kalıbı olarak kullanılarak; değişik tipteki plastik parçalar üretilebilir.

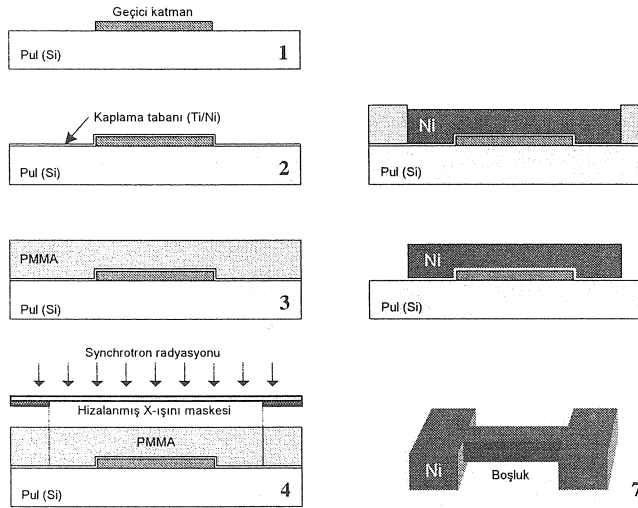
PMMA'nın ışın soğurma ("absorption") davranışı incelendiğinde; bu malzemeyi kullanarak, 300 mikrondan (3 ışın soğurma dalga boyu) daha yüksek mikro-yapıları üretmenin teoride mümkün olduğu görülür. Ancak kalın foto-polimer katmanını çok yüksek foton akısına sahip (3000 eV üstü) bir ışımaya maruz bırakmak gerekir. Ayrıca, malzemenin ışın altında kalma zamanı da önemli ölçüde artar. Bunun ötesinde, kalın PMMA'da polimerizasyon işlemi sırasında önemli ölçüde iç gerilme meydana gelir ve sonuçta oluşturulacak mikro-yapının geometrik toleransları olumsuz olarak etkilenir. Sonuç olarak, LIGA ile üretilecek mikro yapıların yükseklik oranını, büyük ölçüde foto-polimerin kimyasal ve fiziksel (mekanik) yapısı belirler. daha yüksek mikro-yapılar elde etmek için, *derin X-ışını litografisi* adı verilen teknikler geliştirilmektedir.



Şekil 7 Temel LIGA işlemi [19].

Yukarıda sözü edilen LIGA tekniği tek aşamalı bir işlem olup, sabit ve prizmatik mikro-yapıların üretilmesi için uygundur. Ancak geçici ("sacrificial") bir malzeme katmanını yardımıyla, hareketli mikro-ölçekli parçalar da üretilebilir [20]. SLIGA

("Sacrificial LIGA") adı verilen bu teknikte, Titanyum (Ti) en çok kullanılan malzemedir çünkü Ti elektro-kaplama işleminde kullanılan temel metallere (krom, nikel, bakır, altın vs.) iyi yapışmasının yanında; sözü konusu metallere zarar vermeyen hidroflorik asit yardımıyla da kolayca kazınabilir. Şekil 8 bu işlemin temel adımlarını göstermektedir. Silisyum pulun üzerinde (şekillendirilmiş) geçici bir katman oluşturduktan sonra (Şekil 8-1), bunun üstü (elektro-kaplama tabanı işlevini görecek) ince bir Ti katmanıyla kaplanır (Şekil 8-2). Ardından üzerine PMMA dökülüp, fırınladıktan sonra (Şekil 8-3), yeni oluşturulan foto-polimer katmanı uygun olarak şekillendirilir (Şekil 8-4). Elektro-kaplama tekniği kullanılarak, açıkta kalan kaplama tabanının üzeri Nikel (Ni) ile kaplanır (Şekil 8-5). Daha sonra, PMMA ve kaplama tabanı alınır (Şekil 8-6); böylece geçici katmana erişim kolaylaşır. Geçici katman kimyasal olarak kazındıktan sonra, Nikel yapı serbest kalır (Şekil 8-7). Bu yöntem kullanılarak, tek bir kırık üzerinde binlerce karmaşık yapı mekanik sistem son derece ekonomik olarak üretilebilir. Mikro- türbinler, dişli çarklar, elektrikli motorlar, ivme ve basınç duyucuları bu teknikle üretilebilen mikro-sistemlerin başında gelir.



Şekil 8 Geliştirilmiş LIGA (UW) işleminin adımları [20].

4. Elektro-Erozyonla Mikro-işleme

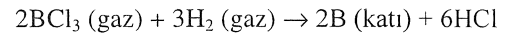
Toshiba Üretim Mühendisliği Araştırma Laboratuvarları'nda geliştirilen bu teknikte, 10 mikron çapındaki bir elektrod teli yardımıyla iletken olan herhangi bir malzeme elektriksel yük boşaltımı (elektro-erozyon) yoluyla çok hassas olarak şekillendirilebilmektedir [21]. Mikro-üretim için

geliştirilen makina, standard takım tezgahı araç ve gerecini (teknolojisi) kullandığı gibi; atelye üretim teknikleriyle de tamamen uyumludur. Ancak, diğer üretim tekniklerinin aksine; bu teknikte her parça tek tek üretildiğinden; yöntem şu an ki konumu itibarıyla paralel (çoklu) üretime elverişli değildir. Paralel elektrodlar yardımıyla seri-üretim konusunda araştırmaların devam ettiği bildirilmektedir.

5. Laserle Mikro-işleme

Bu teknikte, silisyum pul Cl_2 gibi bir buhar ortamına konur. Laser ışını, kazıma tepkimesini hızlandırmak için kullanılır. Laser ışınına maruz bırakılan bölgede ortaya çıkan yerel ısınma, tepkimenin hızını önemli ölçüde artırır. Bunun yanında, eğer laser için doğru bir dalga boyu seçilmişse (örneğin, Cl_2 için 500nm) fotoliz yoluyla laserle temas eden gazda (Cl^* gibi) serbest radikaller ortaya çıkar ve $SiCl_4$ gibi kolayca buharlaşan silisyum bileşikler meydana getirir. Bu üretim tekniğiyle, delikler, kanallar, karmaşık yapı ve genel boyutları 1 mm altındaki mikro-yapılar üretilebilir [22].

Lazer, kazıma tepkimesini arttırmak yerine "biriktirme" tepkimesini başlatmak için de kullanılabilir. Bunun ilginç bir örneği [23] tarafından verilmiştir. Bu çalışmada 514.5nm dalga boyuna sahip Ar^+ (Argon) lazeri kullanarak, karmaşık 3-boyutlu Boron yapıları üretilmiştir. Kullanılan tepkime şu şekildedir:



Mekanik ve optik yöntemler kullanılarak yönlendirilen lazer ışını, taradığı yüzeydeki bir nokta üzerinde biriktirme tepkimesini başlatır. Ardından, arzu edilen bir başka noktada Boron gelişimini sağlamak amacıyla, ışın başka noktalara yönlendirilir. Bu teknikte, lazerin gücüne bağlı olarak amorf ya da kristal yapısında Boron mikro-yapılar üretmek mümkündür. Elektro-erozyon yönteminde gibi, laser mikro-işleme teknikleri paralel üretime elverişli değildir.

MEMS ÜRETİM TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Bir önceki bölümde teknik kaynaklarda yer alan başlıca MEMS üretim teknikleri kısaca tanıtılmıştır. Foong ve diğerleri [6] bu mikro-işleme yöntemlerinin teknik sınırlarını ve yeteneklerini karşılaştırmalı olarak incelemiş ve Tablo 3 gösterildiği gibi özetlemiştir. Benzer olarak, Tablo 4'de MEMS üretim teknolojisinde kullanılan belli başlı malzemelerle, bu malzemeler için uygulanan önemli üretim adımlarını göstermektedir.

Tablo 3 Mikro-işleme yöntemlerinin teknik özellikleri.

	Geniş çaplı mikro-işleme	Yüzey mikro-işleme	Geliştirilmiş LIGA
Malzeme	Tek (yönlü) Si kristali	Poli-silisyum	PMMA, Ni, Cu, Au, Seramik
Geometri	Piramid ve kutu şekilli giriş/diafram	Sabit kesitli dizi geometrisi	Sabit kesitli dizi geometrisi
Hareketli Parça	Yok	Var	Var
Boyut [m]	$10^{-6} - 10^{-3}$	$10^{-6} - 10^{-3}$	$10^{-8} - 10^{-3}$
Yükseklik Oranı	$10^2 - 1$	<1	$10^2 - 10^2$

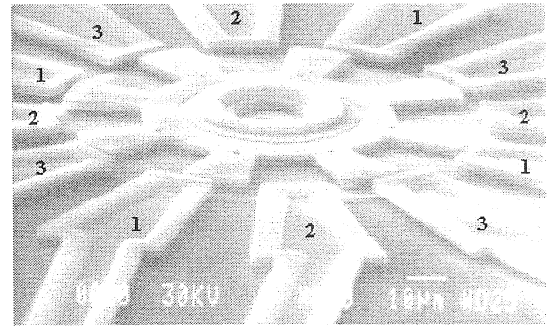
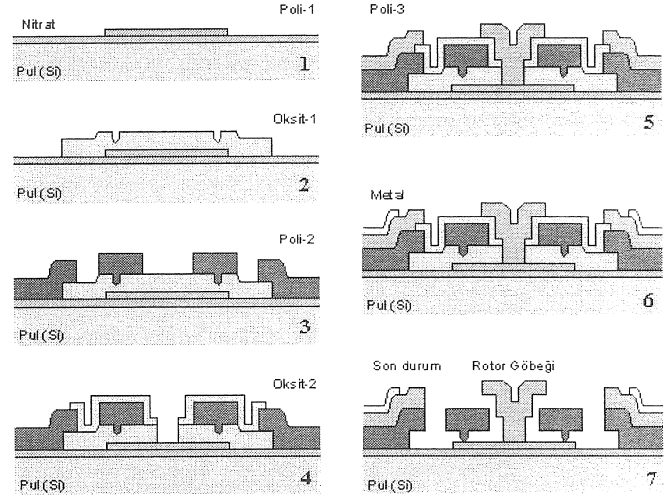
MİKRO-SİSTEM UYGULAMALARI

Bir önceki bölümde, mikro duyucu ve eyleyicilerin ("actuator") üretimi için geliştirilmiş mikroüretim teknolojileri kısaca ele alınmıştır. Bu bölümde bu sözü edilen teknikleri kullanarak, üretilmiş ve ticari uygulama alanı bulmaya mikro-sistemler kısaca incelenecektir.

Tablo 4 MEMS'de kullanılan çeşitli malzemelerin özellikleri [6].

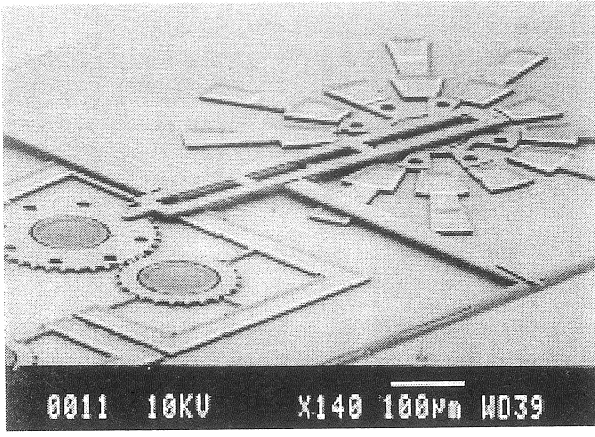
Malzeme(ler)	Fonksiyon(lar)	İşlem Adımları
Tek Kristalli Silisyum	Temel yapı	<ul style="list-style-type: none"> Tek yönlü kristal büyüme Kimyasal buhar biriktirme
	Mikro-mekanik yapı	<ul style="list-style-type: none"> Gövde mikro-işleme
	Yarı-iletken	<ul style="list-style-type: none"> Tümleşik devre üretim işlemleri
Çok Kristalli Silisyum (Poli-silisyum)	Mikro-mekanik yapı	<ul style="list-style-type: none"> Yüzey mikro-işleme
Silisyum Dioksit (SiO ₂)	Gecici katman	<ul style="list-style-type: none"> Oksitleme Kimyasal buhar biriktirme
	Kazıma maskesi	
	Anodik birleştirme ortamı	
	Dielektrik	
Silisyum Nitrat (Si ₃ N ₄)	Kazıma maskesi	<ul style="list-style-type: none"> Kimyasal buhar biriktirme
	Yağlama katmanı	
	Yüzey edilgenleştirme	
	Elektriksel yalıtım	
	Dielektrik	
Boron Katkılı Silisyum	Yüzey edilgenleştirme	<ul style="list-style-type: none"> İon etkili difüzyon
	Kazıma durdurma katmanı	
	p-tipi kristal	
Polimid	Gecici katman	<ul style="list-style-type: none"> Elektro-şekillendirme
PMMA, Nikel, Bakır, Seramik	Mikro-mekanik yapı	<ul style="list-style-type: none"> Kalıplama

Mikro yüzey işleme tekniği çokça kullanılan MEMS üretim tekniğidir. Bu teknik kullanılarak üretilmiş bir elektro-statik motor, (MCNC'den uyarlama) Şekil 9'da gösterilmektedir. Ayrıca motor sisteminin üretimi sırasındaki (basite indirgenmiş) ana işlem adımları da görülmektedir [24]. Burada oksit (1 ve 2) gecici katman malzemesi ve poli-silisyum (çok kristalli silisyum) da (1, 2 ve 3) yapı malzemesidir. Oksit tabakaları kaldırıldığında, rotor serbest kalır ve ortaya birleştirilmiş motor sistemi çıkmaktadır.



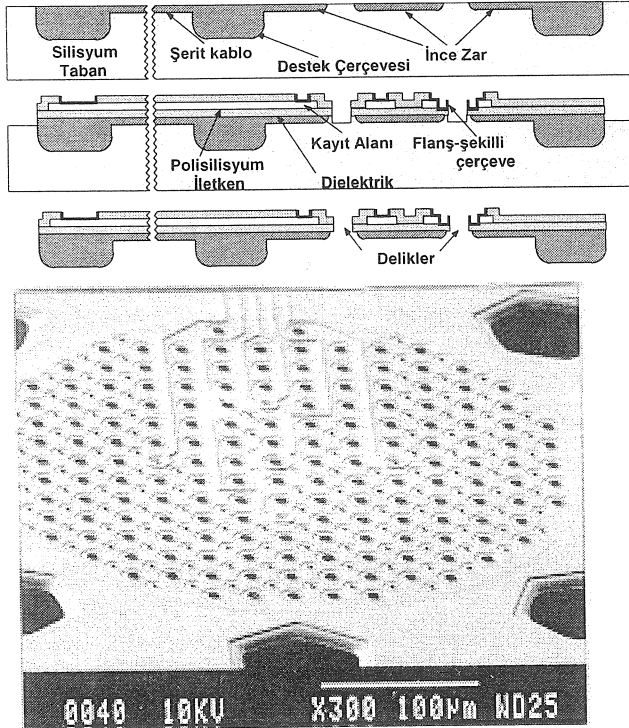
Şekil 9 Yüzey mikro-işleme tekniğiyle üretim ([24]'den uyarlama).

Daha önce sözü edildiği üzere, pulu-pula-yapıştırma tekniğiyle çok değişik üç boyutlu mikro yapılar kolayca elde edilebilmektedir. Yüzey mikro-işleme, pulu-pula yapıştırma ve çözülmüş pul üretim tekniğinin ortaklaşa kullanılmasıyla üretilmiş bir başka mikro-motor Şekil 10'da gösterilmiştir. Burada mikro-motorun parçaları Boron katkılı silisyum pul üzerinde belirlenmiş, daha sonra bu silisyum pul bir cam pula anodik olarak bağlanmış ve en son olarak bütün yapı EDP adı verilen bir kimyasalın içine atılarak, şekilde görülen motor elde edilmiştir [25].



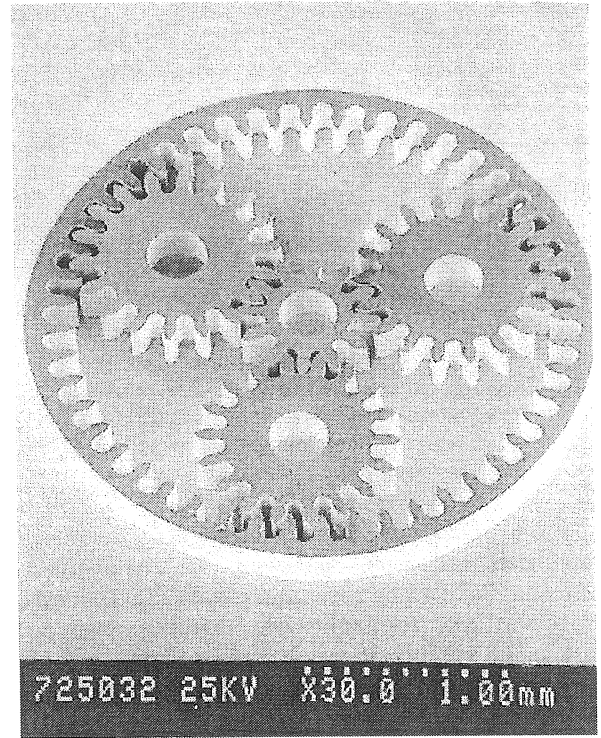
Şekil 10 Silisyum yüzey mikro-işleme tekniğiyle üretilmiş elektro-statik mikro-motor sistemi [25].

Gövde mikro-işleme tekniğine örnek olarak vücut içindeki elektrik akımlarını ölçmek için kullanılan eleksi elektrodu verilebilir. Şekil 11 çözülmüş-pul yöntemiyle üretilmiş böyle bir elektrodun yapısını ve üretim aşamalarını göstermektedir. Burada elektrot 300 µm çaplı bir zar (diyafram) içine delinmiş 1µm kadar küçük çaplı deliklerden oluşmaktadır. Kesilmiş bir çevre siniri bu elektrodun iki tarafına yerleştirildiğinde sinirdeki aksonlar delikten geçerek, büyümekte ve bu sayede deliklerin etrafındaki metal yapılarla sinir hücrelerindeki elektriksel etkinlikler kaydedilebilmektedir [9].

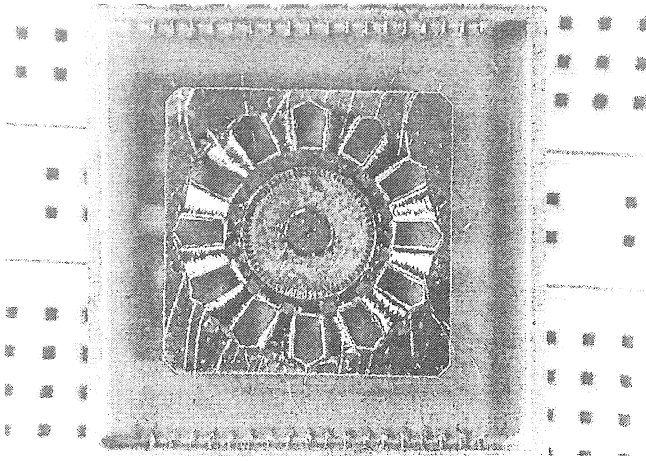


Şekil 11 Çözülmüş-pul tekniğiyle elde edilen elek-tipi elektrodunun yapısı ve üretim işlemi [9].

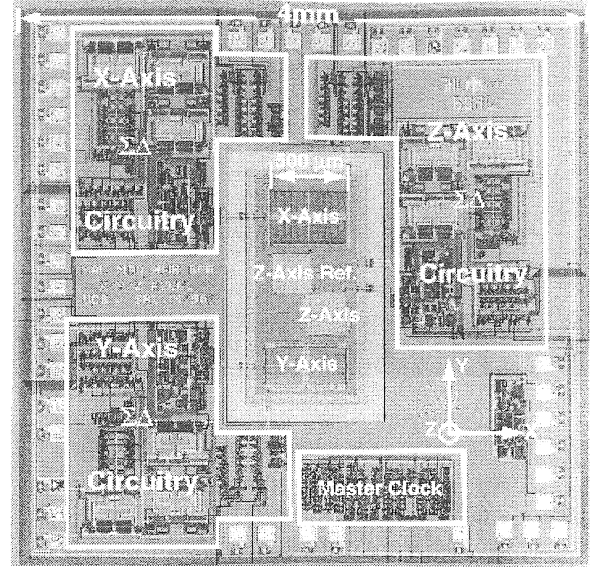
İleri bölümde iredeleneceği üzere, mikro eyleyicilerin ürettiği kuvvet veya moment (tork) yapının derinliğiyle genellikle doğru orantılıdır. Dolayısıyla, nispeten yüksek derinlik oranına ("aspect ratio") sahip mikro yapıların üretilmesine elveren geliştirilmiş LIGA tekniği MEMS teknolojisinde sıkça kullanılan bir üretim yöntemidir. Teknik kaynaklarda LIGA ile üretilmiş, birçok MEMS uygulaması vardır. Burada sadece birkaç tanesine kısaca yer verilecektir. Şekil 12'de bu teknikle üretilmiş bir minyatür planet dişli mekanizması görülmektedir. Nikel tabanlı bu redüktör (hız azaltıcı dişli) sistemini RMB Şirketi (Biel, İsviçre) için Wisconsin Üniversitesi üretmiştir [20]. Benzer olarak, yine aynı tekniği kullanılarak yapılmış minyatür bir asenkron motor Şekil 13'te gösterilmiştir [26]. Elle montajı ve stator sargısı yapılmış bu sistem, senkron (veya adım) motorların pratik olarak işe yaramayacağı alanlarda kullanmak üzere tasarlanmış olup, halen geliştirme aşamasında olduğu bildirilmektedir [20, 26]. Benzer olarak, Şekil 14, yine LIGA ile üretilmiş kütle spektroskopisinde kullanılan 20 hiperbolik kutuplu bir dizini göstermektedir. İçinde Sandia Ulusal Laboratuvarları'nın da yer aldığı bir konsorsiyum, bu hassas yapıyı üretmiştir [20, 27].



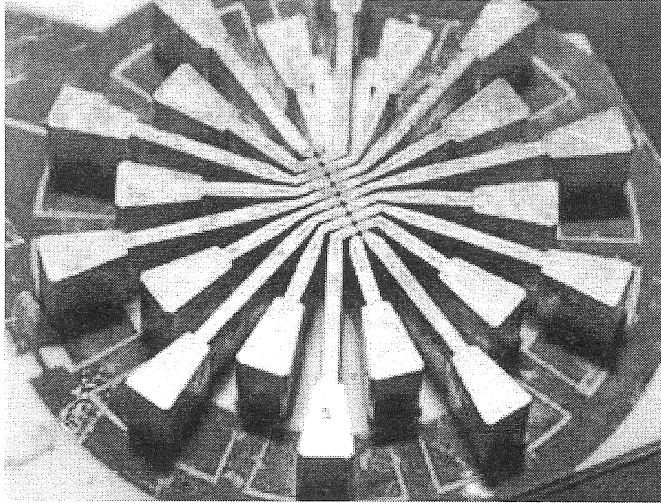
Şekil 12 Geliştirilmiş LIGA (UW-MEM) tekniğiyle üretilmiş planet dişli mekanizması [20].



Şekil 13 On iki kutuplu minyatür asenkron motor (motorun rotor çapı ≈ 5mm) [26].



Şekil 15 Üç-eksenli (mikro) ivme ölçer [27, 28].



Şekil 14 Geliştirilmiş LIGA tekniğiyle üretilmiş kütle spektroskopisinde kullanılan doğrusal dizin (dış çapı ≈ 2 cm; kalınlık 3.4mm) [20, 27].

Son olarak, California Üniversitesi (Berkeley) tarafından tasarlanan üç-eksenli bir ivme ölçer sistemini Şekil 15'de gösterilmektedir [28]. Tümleşik CMOS/MEMS teknolojileriyle üretilmiş olan bu sistem, üç eksenli (kuvvet-dengeli) ivme ölçerlerin yanı sıra; zamanlama birimi, sayısal bilgi çıkış birimi gibi gerekli bütün üniteleri bünyesinde toplamıştır. Eksenler foto-litografik yolla hizalandıklarından, kırmağın üretimi için elle montaja ve çeşitli ayarlamalara gerek duyulmamaktadır.

MİKRO-MEKANİK SİSTEM TASARIMI VE ÖLÇEKLENDİRME

Mikro-mekanizmaların tasarımı, yeni felsefeleri ve yaklaşımları da beraberinde getirir. Bu tip sistemlerin genel topolojisi, yapısal bileşenleri, malzemeleri, motor elemanları (eyleyiciler) ve kontrol biçimi; sistemin çalıştığı mikro-ortam ve bu ortamla uyumlu ölçeklendirme kanunlarıyla belirlenir.

Daha önce de irdendiği gibi; geleneksel makina tasarımında en önemli unsurlar kütle/atalet, sönüm, sistem rijitliği (katılığı), ve sistemin birinci dereceden dinamik yanıtıdır. Ancak, mikro-ölçekte (makina sisteminin) yüzey alanının hacmine oranı oldukça arttığından; bu gibi etmenler önemini yitirmektedir. Bunlar yerine sürtünme, yüzey gerilmesi, adhezyon, ve diğer sınır kuvvetleri gibi ikincil etkiler makina tasarımı üzerindeki baskın unsurlar olmaktadır.

Mikro-mekanik sistemleri tasarlayabilmek için öncelikle mikro ortamda kuvvet, ivme, güç gibi önemli fiziksel büyüklüklerin nasıl ölçeklendirildiğini kavramak gerekir. Ölçeklendirme kurallarını açıklayabilmek için; (x, y, z) boyutlarına sahip bir prizmatik bir parçanın minyatürleştirilerek (x',y',z') boyutlarına getirildiği varsayalım:

$$\frac{x'}{x} = \frac{y'}{y} = \frac{z'}{z} = \sigma \quad (1)$$

Burada σ (izometrik) ölçek katsayısıdır ($0 < \sigma < 1$). Yoğunluğun (ρ) sistemin boyutlarına bağlı bir fiziksel özellik olmadığı düşünülürse, kütleler (m) için,

$$\frac{m'}{m} = \frac{\rho x' y' z'}{\rho xyz} = \frac{V'}{V} = \sigma^3 \quad (2)$$

yazılabilir. Burada V hacmi (oylumu) belirtirken ($'$) sembolü küçültülmüş sisteme ait fiziksel büyüklükleri ifade etmektedir. Bu basit mekanik sisteme etkiyen kuvvetin (F)

$$\frac{F'}{F} = \sigma^N \quad (3)$$

şeklinde ölçeklendirildiği düşünülün. Burada, N **çoğunlukla** $\{1, 2, 3, 4\}$ değerlerinden birini alabilen bir katsayıdır. Makro ortamda olduğu gibi; mikro-ölçekli ortamda da kuvvetler üç temel fiziksel yolla oluşturulabilir: **i.** elektrostatik; **ii.** manyetik; **iii.** hidrolik basınç veya hava basıncı. Mekanik sisteminde faydalanılan temel fiziksel mekanizmaya ve doğal olarak bunun sistem içinde kullanma koşullarına bağlı olarak; (3) nolu denklemdeki N katsayısı seçilir. Örnek olarak, Şekil 16'daki elektromanyetik sistem göz önüne alınsın. Burada hareketli parçaya uygulanan manyetik (relüktans) kuvvet (şiddeti)

$$F = 0.25n^2 \mu_0 (h/\delta) i^2 \quad (4)$$

olarak verilebilir [29]. Bu ifade, μ_0 serbest boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısıdır ve $4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m] olarak alınabilir. (4) nolu denklemdeki diğer fiziksel büyüklükler şekil üzerinde gösterilmiştir. Sarımdan geçen akım için

$$i = JA \quad (5)$$

yazılabilir. Burada J akım yoğunluğunu, A da akımı geçiren iletkenin kesit alanını belirtmektedir. İzometrik olarak küçültülen bir sistem için,

$$\frac{F'}{F} = \frac{0.25n^2 \mu_0 (h'/\delta') J^2 (A')^2}{0.25n^2 \mu_0 (h/\delta) J^2 (A)^2} = \frac{(A')^2}{(A)^2} = \sigma^4 \quad (6)$$

oranı elde edilir. Bu ölçeklendirme J akım yoğunluğunun sabit kalacağı gibi gerçekçi bir varsayıma dayanmaktadır. Ancak bu varsayımla elde edilen oran, oldukça zayıf bir manyetik kuvvetin küçültülmüş sistemde oluşturulabileceğini işaret etmektedir. [30]'da akım yoğunluğunun işletim koşullarına bağlı olarak; farklı seçildiği durumlar incelenmiş, kuvvetin σ^2 , σ^3 gibi ölçeklendirilebileceği gösterilmiştir. Aslında, yukarıdaki gibi bir elektromanyetik sistemde sarım sayısını da (n') değiştirerek de MMF'i (magnetomotive kuvvet) arttırmak mümkündür. Böylece daha yüksek mikro-sistem kuvvetlerinin elde edilebileceği düşünülebilir. Ancak bu, çekirdeği manyetik

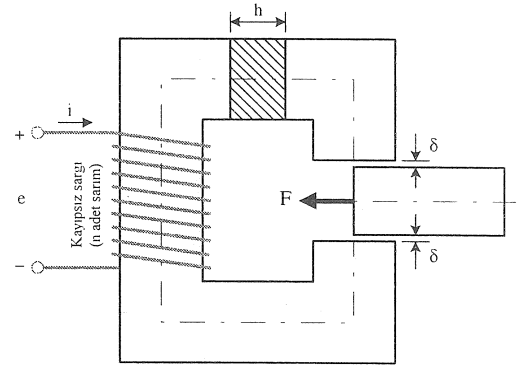
doyunluğa ("saturation") ulaştırabileceği gibi, sarım sayısının doğurduğu önemli üretim ve işletme güçlükleri de ortaya çıkarabilir.

Elektro-statik kuvvetler mikro-ölçekte daha avantajlı olarak gözükmektedir. Elektrostatik kuvvetlerin ölçeklendirilmesi çoğunlukla elektriksel alanın boyuta bağlı olarak değişimine bağlıdır. Elektrik alan şiddetinin ($E'/E = 1$) sabit kaldığı düşünülürse, $F'/F = \sigma^2$ olduğu gösterilebilir [30]. Benzer olarak, mikro sistemde elektriksel alan ($E'/E = \sigma^{0.5}$) şeklinde arttırılırsa, $F'/F = \sigma$ gibi çok iyi bir kuvvet ölçeklendirmesi elde edilir. Manyetik alan şiddetinde olduğu gibi, elektriksel alan şiddetini de arttırmanın belirli fiziksel sınırları vardır. Genel olarak, elektriksel alan şiddeti çok arttırıldığında kullanılan yalıtkanların bozulma problemi ortaya çıkar. Ayrıca elektriksel alanın uygulandığı aralık eğer çok kısalsa, elektriksel alanın çökeceği de bilinen bir gerçektir.

Hidrolik (veya pnömatik) kuvvetler, basınçın bir alan üzerine etkisiyle oluştuğundan; ($F'/F = \sigma^2$) gibi iyi bir kuvvet ölçeklendirmesine yol açarlar. Biyolojik sistemlerdeki kas kuvvetleri de, kasın kesit alanıyla orantılıdır. Dolayısıyla, hidrolik kuvvetlere benzer bir kuvvet ölçeklendirmesini beraberinde getirir.

Kuvvet ölçeklendirilmesi tamamlandıktan sonra, ivmelerin oranı Newton'un ikinci hareket yasası ($F = ma$) yardımıyla hesaplanabilir:

$$\frac{a'}{a} = \frac{F'/m}{F/M} = \frac{F' m'}{F m} = \sigma^N \sigma^{-3} = \sigma^{N-3} \quad (7)$$



Şekil 16 Ölçeklendirme örneğindeki elektromanyetik sistem [29].

Benzer olarak, mekanizmayı (sabit ivmeli olarak) bir noktadan diğerine ulaştırma zamanı, $L = (1/2)at^2$ (L : ulaşım mesafesi) bağıntısı kullanılarak bulunabilir:

$$\frac{L'}{L} = \sigma = \frac{(1/2)a'(t')^2}{(1/2)a(t)^2} = \sigma^{N-3} (t'/t)^2 \quad (8)$$

$$\frac{t'}{t} = \sigma^{2-N/2} \quad (9)$$

Son olarak, öz-güç (birim hacim için oluşturulan ortalama güç) bütün bu sözü edilen bağlantılar kullanılarak saptanır:

$$p = \frac{(FL/t)}{V} \quad (10)$$

$$\frac{p'}{p} = \frac{F' L' V' t'}{FLVt} = \sigma^{3N/2-4} \quad (11)$$

Bu mantığı kullanarak, diğer fiziksel büyüklüklerin de ölçeklendirilmesi yapılabilir [30]. Görüldüğü üzere, fiziksel sistem küçüldükçe, sistemin davranışı köklü biçimde değişmekte ve makro ortam için geliştirilen seziler geçerliliğini büyük ölçüde yitirir.

Mikro-sistemlerin tasarımı sırasında ortaya çıkan bir başka önemli unsur da, beraber çalışması gereken mikro-mekanik sistem parçalarının toleranslarıyla ilgilidir. Her ne kadar MEMS teknolojisinde mikro-sistemlerin karakteristik boyutları mikronlarla ifade edilse de, izometrik olarak küçültülmüş bir sistemde orijinal toleransların aynısının tutturulması günümüz teknolojiyiyle mümkün olmamaktadır. Hatta, günümüzün büyük hassasiyetle üretilmiş mikro-sistemleri, ölçeklendirilmiş tolerans açısından incelendiğinde, 18. yüzyılda kullanılan mekanizmalarla benzer toleranslara sahip olduğu görülür [24]. Bu nedenle, MEMS'leri tasarlarken alışlagelmiş tasarım uygulamalarının dışına çıkarak, mikro-ölçekli dünyanın gereksinimlerine uygun yenilikçi tasarım ilkelerinin benimsenmesi gerekir.

Kısacası, gelecekteki mikro-sistemlerin günümüzdeki makinalardan çok farklı olacağı ve biyolojik sistemlerle önemli benzerliklerinin olabileceği düşünülmektedir. Yeni tasarım kavramlarının geliştirilmesi, organik dünyayla ilgili gözlem ve araştırmalara bağlı olacağı açıktır. Mikro-sistemlerin işletim kurallarını saptamak amacıyla; uygun boyutsuz fiziksel parametre grupları tanımlayarak, bu sistemlerin makro modelleri üzerinde deneysel çalışmalar yürütmek gerekecektir.

SONUÇ

Son yıllarda silisyum tabanlı mikro duyucular ve eyleyiciler konusunda yoğun çalışmalar olmuş ve çarpıcı gelişmeler meydana gelmiştir. Bu makalede, MEMS teknolojileri üzerinde durulmuş, bu tip sistemlerin üretiminde kullanılan belli başlı mikro-işleme teknikleri kısaca tanıtılmıştır. Bu mikro-işleme yöntemleriyle üretilmiş ve ticari uygulama alanı bulmaya başlamış mikro-sistemlere çeşitli örnekler verilmiştir. Ayrıca, bu makalede MEMS'lerin tasarımında önemli rol oynayan ölçeklendirme yasaları detaylı olarak ele alınmış, bu tip sistemlerin tasarlanması sırasında dikkat edilmesi gereken noktalar kısaca vurgulanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu makaleye yaptığı teknik katkılardan ötürü Sn. Doç. Dr. Tayfun Akın'a (ODTÜ) teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- [1] Analog Devices, "ADXL150/ADXL250 rev.0" *Ürün kataloğu*, Norwood, MA, 1996.
- [2] Lorenz, R. D., "Sensorless Control: High Bandwidth Tracking of Spatial Saliencies using Persistent Excitation," *WEMPEC/CAST Seminar Notes*, University of Wisconsin - Madison, 1999.
- [3] Feynman, R. P., "There's Plenty of Room at the Bottom," presented at the American Physical Society Meeting in Pasadena CA, Dec. 26, 1959; (tekrar basım) *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 1:1, 60-66. Mart 1992
- [4] Howe, R. T., "Surface Micromachining for Microsensors and Microactuators," *Journal of Vac. Sci. Technology*, B., 6, , 1809-1813, Aralık 1988.
- [5] Menz, W., Bacher, W., Harmening, M., and Michel, A., "The LIGA Technique - a Novel Concept for Microstructures and the Combination with Si-Technologies by Injection Molding," *IEEE Proceedings of Micro Electro Mechanical Systems*, Nara, Japan, 69-73, 1991.
- [6] Foong, C. S., Wood, K. L., and Busch-Vishniac, I., "Design Assessment of Micro-Electromechanical Systems with Applications to a Microbiology Cell Injector," *Micromechanical Systems, ASME DSC*, vol. 46, 49-63, 1993.
- [7] Kovacs, G. T. A., Maluf, N. I., and Petersen, K. E., "Bulk Machining of Silicon," *Proc. of the IEEE*, vol. 86:8, 1536-1551, Ağustos 1998.
- [8] Sze, M., *Semiconductor Sensors*, John Wiley & Sons Inc., NY, 1994.
- [9] Akın, T., Najafi, K., Smoke, R., and Bradley, R. M., "A Micromachined Silicon Sieve Electrode for Nerve Regeneration Applications," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. BME-41, No. 4, 305-313, Nisan 1994.
- [10] Shimbo, I. M., Furukawa, K., Fukuda, K., and Tanzawa, K., "Silicon-to-Silicon Direct Bonding Method," *J. Applied Physics*, vol. 60, 2987-2989, 1986.
- [11] Mack, S., Baumann, H., and Gosele, U., "Gas Tightness of Cavities Sealed by Silicon Wafer Bonding," *IEEE Proceedings of Micro Electro Mechanical System*, Nagoya, Japan, 488-493, Jan. 1997.

- [12] Schomburg, W. K., Maas, D., Bustgens, B., and Fahrenberg, J., Menz, W., and Seidel, D., "Assembly for Micromechanics and LIGA," *J. of Micromechanics and Microengineering*, vol.5, 57-63, 1995.
- [13] Shoji, S., Kikuchi, H., and Torigoe, H., "Anodic Bonding Below 180°C for Packaging and Assembling of MEMS Using Lithium Aluminosilicate- α -Quartz Glass-Ceramic," *IEEE Proceedings of Micro Electro Mechanical Systems*, Nogoya, Japan, 482-487, Ocak 1997.
- [14] Ando, D., Oishi, K., Nakamura, T., Umeda, S., "Glass Direct Bonding Technology for Hermetic Seal Package," *IEEE Proceedings of Micro Electro Mechanical Systems*, Nogoya, Japan, 186-190, Ocak 1997.
- [15] Quenzer, H. J., Dell, C., and Wagner, B., "Silicon-Silicon Anodic-Bonding with Intermediate Glass Layers Using Spin-On Glasses," *IEEE Proceedings of Micro Electro Mechanical Systems*, San Diego, California, sf. 272, Şubat 1996.
- [16] Maas, D., Bustgens, B., Fahrenberg, J., Keller, W., Ruther, P., Schomburg, W. K., and Seidel, D., "Fabrication of Microcomponents Using Adhesive Bonding Techniques," *IEEE Proceedings of Micro Electro Mechanical Systems*, San Diego, California, 331-336, Şubat 1996.
- [17] Field, L. A., and Muller, R. S., "Fusing Silicon Wafers With Low Melting Temperature Glass," *Sensors and Actuators*, A21-A23, 935-938, 1990.
- [18] Tong, Q. Y., Cha, G., Gafiteanu, R., and Gosele, V., "Low Temperature Wafer Direct Bonding," *J. Microelectromechanical Systems*, vol. 3:1, 29-35, Mart 1994.
- [19] Guckel, H., et al. "Deep X-Ray Lithographies for Micromechanics," *Technical Digest of the 1990 Solid State Sensor and Actuator Workshop*, Hilton Head Island, SC, 118-122, Haziran 1990.
- [20] Guckel, H., "Micromechanics for Microactuators and Precision Engineering," *Precision Engineering* (Seminer Notları), University of Wisconsin - Madison, Haziran 1997.
- [21] Kinoshita, H., Veda, K. Murai, S., and Hayashi, K., "Micro-wire Electrical Discharge Machining," *Proc. of the 1st IFTOMM International Micro mechanism Symposium*, Tokyo Inst. of Tech. 114-119, Haziran 1993.
- [22] Bloomstein, T. M. and Ehrlich, D. J., "Laser Deposition and Etching of Three-dimensional Microstructures," *Proc. of Transducers '91, the 6th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators Digest of Technical Papers*. San Francisco, CA, IEEE Press, 507-511, 1991.
- [23] Westberg, H., Boman, M., Johansson S., Schweitz, J. A., "Truly Three Dimensional Structures Microfabricated by Laser Chemical Processing," *Proc. of IEEE Transducers*, 516-519, 1991.
- [24] Michalicek, M. A., "Introduction to Microelectromechanical Systems," *online sunu* (<http://mems.colorado.edu/>), University of Colorado, Boulder, Mayıs 2000.
- [25] Gianchandani Y and Najafi, K., "A Bulk Silicon Dissolved Wafer Process for Microelectromechanical Systems," *J. Microelectromechanical Systems*, vol. 1:2, Haziran 1992.
- [26] Klein, J. L., "Preliminary Results for Micro Induction Motor," *Ön doktora tezi*, University of Wisconsin - Madison, Ocak 1997.
- [27] Sandia National Laboratories, "Intelligent Micromachine Initiative," <http://mems.sandia.gov/>.
- [28] Lemkin, M., Ortiz, M., Wongkomet, N., Boser, B., and Smith, J., "A 3-axis surface micromachined sigma-delta accelerometer," *Proc. ISSCC '97*, 202-203, 1997.
- [29] Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Umans, S. D., *Electrical Machinery*, 5/e, McGraw-Hill Inc., NY, 1990.
- [30] Trimmer, W. S. N., "Microrobots and Micromechanical Systems," *Sensors and Actuators*, vol. 19:3, 267 - 287, 1989.

TÜRKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) ve ISO-EN-TS 17025 (Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliği İçin Genel Şartlar)

Macit Karabay

Dr. Mak. Yük. Müh.

Ekonomik krizin her kesimi önemli oranlarda etkilemesine karşın ölçübilimin, kalitenin oluşumundaki yeri ve önemi, ulusal teknolojiye olan katkısını sürdüren Makina Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi ulusal, Ölçübilim Kongresinin dördüncüsünü de başarı ile düzenlemiş, yürütmüş ve sonuçlandırmıştır. Düzenleyicilerle bildiri verenleri, katılımcıları kuzularız. 25-26 Ekim 2001'de Eskişehir osman Gazi Üniversitesinin yerleşkesinde gerçekleşen oturumlarda 27 bildiri sunularak tartışılmış, panel düzenlenerek TÜRKAK sürecinde laboratuvar akreditasyonu gündeme getirilmiştir. Bildirilerin birinde ülkemizde Ölçme ve Kalibrasyon Sorunları-Önemi ve Eğitimi de ele alınmıştır[1]

ISO 9001 (1999) DERKİ

ISO 9001/7.6 (1999)'da özetle, organizasyonun, ürün gereksinim ve özelliklerini gözeterek bunları sağlamak için gerekli ölçme ve kontrol aygıtlarını ve bunlarla yapılacak ölçümlerinin belirlenmesini istemekte; bu aygıtların, kullanmadan önce ve ararının periyodik olarak kalibrasyonunu ve ayarının yapılması zorunluluğunu getirmekte, ayar ve kalibrasyon için kullanılacak aygıtların uluslararası ya da ulusal ölçme standartlarından kalibrasyon almış olmasını koşul olarak beklemektedir. Ayrıca, kalibrasyon süresini doldurmuş olan aygıtların kullanımdan alıkoyulmasını, aygıtların özenli kullanımını, çarpma ve bozulmaya karşı korunmasını, uygun bakım yapılıp özenle depolanmasını, kalibrasyon sonuçlarının kayıtlanmasını zorunlu görmekte, tüm bu ve diğer gerekli işlemler için ISO 10012'ye göre bir ölçübilim sisteminin kurulmasını östemektedir. [2]

ÜLKEMİZDE ÖLÇÜM BİLİMDEKİ BAZI SORUNLAR

- Gelişmiş ülkeler yaklaşık bir asın önce ölçübilim ve kalibrasyonuna yönelik sorunların çoğunu çözmüşler ve endüstriye hakim olmuşlar, örgütlerini kurmuşlardır.

- Ülkemizde bazı konularda örneğin kalibrasyon da en az 50 yıllık gecikme vardır.
- İzlenebilirliği sağlanmış ulusal etkin bir kalibrasyon ağı yoktur.
- Özellikle KOBİ lerde bu sorun büyük boyutlardadır. Küçük işletmeler kalibrasyon için kapı kapı dolaşmak, büyük paralar harcamaktan kaçınmaktadırlar.
- Zorunlu durumlarda bazı firmalar özel olarak kurulmuş olan kalibrasyon laboratuvarlara başvuruyor. Buradaki tekniklerde uyumsuzluklar vardır.
- KOSGEB bu işe girişmiş sonra vazgeçmiştir.
- Ölçübilimde çok başlılık vardır.
- Ufukta bir Ulusal Kalibrasyon Kurumu gibi bir yapı görülmemektedir.
- Oysa, bazı Avrupa ülkelerinin yaptığı gibi mevcut laboratuvarlar, (örneğin üniversitelerdeki) küçük desteklerle en azından yöresel 3 üncü kademe kalibrasyonunu kısmen de olsa üstlenebilirler. Bu Endüstri Üniversite işbirliğine etkin bir örnek olurdu.
- TÜRKAK çok geç gelmiştir. Yasal yapısı tartışmalıdır.
- Ölçübilim eğitimi okulların, bölümlerin kendi anlayış ve kapasitelerine göre denetimsiz yürütülmektedir.
- Ölçübilim için okul ötesi, işbaşı eğitimi işveren örgütlerince yeterince desteklenmemekte, okullarla işbirliği etkin biçimde yapılmamakta olup ölçümledeki belirsizlik kavramı yerleşmemiştir. Yapılan ölçümlere karşı güven duyulamamaktadır.

ÖLÇME ve KALİBRASYON İÇİN DE SİSTEM GEREKLİDİR.

Özellikle duyarlı ölçümlerin sıkça yapıldığı her türlü endüstri kuruluşlarında ölçme kontrol başlı başına önemi olan etkinliklerdendir. Lord KELVİN bir asırdan daha uzun bir süre önce "konuştuklarınızı ölçebiliyor ve onları sayılarla ifade edebiliyorsanız o konuda birşeyler biliyorsunuz sayılır; ölçemiyor ve sayılarla belirleyemiyorsanız sözleriniz yavan olarak algılanır demiştir. Bugün bu cümleye, ayrıca, ölçüm

sonucunun belirsizliğinin de bilinmesi ve sağlıklı kestirilmesi de eklenmelidir.

ISO 10012 standardının kapsam bölümünde, bu standartın amacının üretim birimlerinde güvenilir ölçüm sonuçlarını elde edebilecek bir yetkinliğe erişmelerini sağlamaya yönelik bir SİSTEM bulunmasını ve bu sistemin gereklerini belirtmek olduğu yazılıdır. Standart, 26 sayfalık bir kapsamla, kullanılan ölçme aygıtları için gerekli olan bu sistemin ana özelliklerini belirtmektedir [3].

TÜRKAK VE BEKLENENLER

Geçen yıl yasallaşmış olan TÜRKAK'a kurulma ve etkinleşme aşaması ve çabası içinde olan Türk Akreditasyon Kurumuna başarı ve şans dileriz. Kuşkusuz TÜRKAK gereksinimler sonucu, hepimizin çabaları ile, bazı kişi ve kuruluşların kösteği de olsa, sonunda kurulmuştur.

Ancak son söz söylenmemiş ülkemizin kalite sorunlarının tümü ile kısa bir süre içinde TÜRKAK ile çözüleceği umudu henüz doğmamıştır. Kuruluş amacı gereği TÜRKAK, ölçme ve deney laboratuvarları ile, belgelendirme ve muayene hizmetlerini yürütme iddiası ve hevesinde olan ve kendilerinin yetkin ve etkin olabileceklerini savunan kuruluşları ekredite etmek, böylece ürün/hizmet, sistem, personel ve laboratuvar için verilecek yeterlik belgelerinin ulusal ve uluslararası alanda kabulünü temin etmekle görevli kılınmıştır. TÜRKAK başbakanlık ilgili özel hukuk hükümlerine tabi, tüzel kişiliği haiz, idari ve mali özerkliğe sahip bir başka kurum olarak yerini almıştır [4].

Bunun anlamı, bundan böyle bu kurumun onayını almamış yerli ve yabancı kuruluşların verdiği belgeler, yaptığı deney ve ölçüm sonuçları, danışmanlık hizmetleri "kuşku" ile karşılanacaktır. Anlaşıldığına göre alınan önceki belgelerin geçerliliği de ortadadır. TÜRKAK, bu hali ile ülkemizin ulusal kalite güvence, geliştirme çabaları içinde ancak bir parçadır. Tüm işlevleri kapsayacak bir şemsiye değildir.

AKREDİTASYONA EK OLARAK KALİTEDE GEREKLİ DİĞER İŞLEVLER

Bilinirki Akreditasyona ek olarak standart hazırlama, standart uygulama ve yönetimi metroloji-kalibrasyon hizmetleri, malzeme, ürün test hizmetleri ve denetimi, personel değerlendirme, ürün uygunluk belgeleme, karşılaştırmalı kalite, ithalat-ihracat için kontrol, standart referanslar, endüstriyel kalite kontrol, teşvik-uygulama, kalite için eğitim danışmanlık yapan kuruluşların geliştirilmeleri, teknik yasaların hazırlıkları, teknik denetim, kalite ve kalibrasyon sistemlerin yönetimi gibi, her ülke için ekonomik yaşam için zorunlu işlevler bulunduğu bilinmektedir. Bunların bazıları için birkaç

kurumumuz varsa da eşgüdüm eksikliği nedeni ile ulusal düzeyde sorunlar bulunmaktadır.

Yukarıda sayılan bu işlevlerin çoğu, günümüz endüstrileşmiş ülkelerinde bir biçimde, etkin olarak sağlandığı içindir ki ekonomileri ve endüstrileri rayları üzerinde ileriye gitmektedir. Ülkemizde bütün bu işlevlere bir bütün olarak bakabilecek, bunların karşılıklı etkileşimini sağlayarak boşlukları kapatabilecek bir Türkiye Kalite Yüksek Konseyi bir zorunluluk olarak hala ortada durmaktadır.

ISO-EN-IEC-TS 17025

Avrupa Topluluğu Normlarından olan EN 45001 ile ISO-IEC Guide25 birleştirilip 1999 yılında ISO-EN-IEC 17025 [5] (Deney ve Kalibrasyon laboratuvarlarının yeterliği için Genel Şartlar) başlıklı, oldukça kapsamlı bir standard yürürlüğe girmiştir. Bu standard ölçme, deney ve kalibrasyon yapacak ya da yapmakta olan laboratuvarların yeterliğinin sağlanıp güvenilir sonuçlar verebilmesi için gereken genel koşulları belirtmekte, laboratuvarların bir sistem içinde yeniden düzenlenebilmelerinde ve akreditasyon süreci içinde yapmaları gereken hazırlıkları belirlemektedir.

Bir başka deyişle, bu standardın belirlediği genel çerçeve içindeki koşullar gözetilerek kurulmamış ya da çalışmamakta olan bir laboratuvar, isteğe bağlı olarak başvurduğunda, örneğin T.C. sınırları içinde TÜRKAK'ça onaylanmayacaktır.

Üniversite içindekiler de dahil tüm laboratuvarların bu standardın içi, içeriği, özü, istedikleri ile bunların nasıl sağlanacakları, gerekli ek yatırımlar, çevre ve laboratuvar koşulları, çalışanların iş güvenliği inceden inceye saptanarak çalışmaların belli bir süreç içinde planlı ve hızlı biçimde yürütülmesi uluslararası ve Avrupa normlarına beklenmektedir.

ÜNİVERSİTELERDE, TEKNİK OKULLARDA ÖLÇÜMBİLİM ve LABORATUVAR AKREDİTASYON

Üniversitelerde, Meslek Yüksek Okullarında ve Teknik Mesleki Liselerde teknik konulardan olarak uygun ölçme ve kontrol derslerinin verilmesi zorunlu olmalıdır. Ölçmesiz ve kontrolsüz kaliteli ve ucuz ürün sağlanamayacağına göre, temel oluşturmak için öğrencilere ölçme ve kontrol öğretilmeli, aygıtlar tanıtılmalıdır. Bir ölçüde de bu aygıtlar az-çok kullanılmalıdır. Ayrıca, ölçmedeki yanlışlar, belirsizlikler, istatistiksel yaklaşımlar, teknik resimdeki ve hesaplamalardaki yeni teknikler (geometrik ölçümlendirme ve toleranslama gibi) öğretilmeli bunların bazılarının (örneğin düzlemsellik, yuvarlaklık, diklik gibi) ölçüm tekniklerine değinilmeli yüzey pürüzlükleri ölçümleri ile makinacılık için örneğin vida, dişli çark ölçümleri

ve takım tezgahları testleri kapsanmalıdır. Ölçme ve kalibrasyon laboratuvarlarının nitelikleri ile bu konulardaki uluslararası standartlarla, onay, belgeleme, rapor yazma gibi bilgiler işlenmelidir. Laboratuvar terbiyesi, aygıtların bakımı, korunması, bunların piyasa değerleri vb. Konularda bilinçlendirme sağlanmalı, ISO-EN 17025 tanıtılıp incelenmelidir. Üniversite-Yüksekokul-Teknik Liselerdeki tüm laboratuvarların ISO 17025 bakış açısı ile akredit (onay) alabilecek bir düzeye getirilmeleri için sistemli ve planlı çalışmalar başlatılmalıdır.

SONUÇ

Kalite güvencesi ve yönetiminde ölçme, deney, kontrol ve kalibrasyon gibi yukarı düzeyde teknik eğitimsel alt yapı ve deneyim gerektiren bu konunun, rastlantılara bırakılmadan, sistemli biçimde ele alınarak, her türden laboratuvarların yeterliklerinin gözden geçirilmesi, gerekenlerin yeniden yapılandırılması, kalibrasyon için etkin, ucuz ve yaygın bir örgütün öncelikle kurulması ve işletilmesi,

üniversite laboratuvarlarının bu amaçla yeniden düzenlenmesi, özellikle KOBİ lere açılması kaçınılmazdır. Bu tarihsel sorumluluğu, ilgili herkes içtenlikle duymalı ve katkıda bulunmalı, konuya her türden çekişmelerin üstünde, ulusal özveri ve bilinci içinde yaklaşılmalıdır.

KAYNAKÇA

- [1] Karabay, M., Ülkemizde Ölçme ve Kalibrasyon Sorunları-Önemi-Eğitimi, IV Ulusal Ölçümbilim Kongresi. 25-26 Ekim 2001, Eskişehir.
- [2] ISO 9001 (1999) Kalite Güvence Yönetimi Standardı.
- [3] ISO 10012 (1990) Ölçme ve Kalibrasyon için Sistem Standardı.
- [4] TÜRKAK Kuruluş Yasası
- [5] ISO-EN-IEC-TS 17025, Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliği İçin Genel Şartlar.

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

Contact Mechanics of Coated Bodies

May 2002
Moscow, Russia

Prof. Irena Goryacheva
Institute for Problems in Mechanics,
Russian Academy of Sciences,
Prospekt Vernadskogo 101, Bldg 1, 117526
Moscow, Russia
E-mail: goryache@ipmnet.ru

2002 IEEE International
Conference on Robotics and
Automation

11 - 15 Mayıs, 2002
The Crystal Gateway Marriott
Washington, DC

Prof. William R. Hamel
MAES Department, Univ. of Tennessee
207 Dougherty Hall,
Knoxville, TN 37966
(+1 423 974 6588, ,
+1 423 974 5274 (Fax)
whamel@utk.edu
<http://www.icra2002.org/>

2002 IEEE 11th International
Fuzzy Systems Conference

12 - 17 Mayıs, 2002
Hilton Hawaiian Village Hotel
Honolulu, HI

Dr. David B. Fogel
Natural Selection, Inc.
3333 N. Torrey Pines Ct., Suite 200
LaJolla, CA 92037
(+1 619 455 6449,
+1 619 455 1560 (Fax)
d.fogel@ieee.org

The 35th CIRP
International Seminar on
Manufacturing Systems
Manufacturing Technology in the
Information Age

13 - 15 Mayıs, 2002
Seoul, Korea

Professor Jongwon Kim
Seoul National University
School of Mechanical and Aerospace Engineering
San 56-1 Shilim-dong, Kwanak-ku, Seoul 151-742,
Korea
Tel: +82-2-880-7138, Fax: +82-2-883-1513
E-mail: jongkim@snu.ac.kr
<http://www.cirp-isms2002.org>

ICASSP 2002 – 2002 IEEE
International Conference on
Acoustics, Speech and Signal
Processing

13 - 17 Mayıs, 2002
Renaissance Resort Hotel
Orlando, FL

CMS Management Services
3109 Westchester Ave.
College Station,
TX 77845 7919
(+1 979 693 6000, +1 979 693 6600 (Fax)
icassp2002web@securecms.com
<http://www.icassp2002.com/>

4th International Conference on
Integrated Design and
Manufacturing in Mechanical
Engineering

14 - 16 Mayıs, 2002
Clermont-Ferrand, France

Anne Marie ADEVAH-POEUF
IDMME 2002
INSTITUT FRANÇAIS DE MECANIQUE
AVANCEE, BP 265, Campus de Clermont-Ferrand/
Les Cezeaux, 63175 Aubiere, France
Phone: +33 (0)4 73 28 80 77
Fax: +33 (0)4 73 28 81 00
e-mail: IDMME2002@ifma.fr
<http://www.ifma.fr/IDMME2002/index.htm>

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

Seventh International Conference on Structures under Shock and Impact	27 – 29 Mayıs, 2002 Montreal, Canada	Gabriella Cossutta, Conference Secretariat SUSI 2002, Wessex Institute of Technology Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton SO40 7AA, UK Tel: +44(0) 238 029 3223 Fax: +44(0) 238 029 2853 E-mail: gcossutta@wessex.ac.uk Internet: www.wessex.ac.uk
FATIGUE'2002 Eighth International Fatigue Congress	2 – 7 Haziran, 2002 Stockholm, Sweden	Stockholm Convention Bureau, Fatigue 2002 P.O. Box 6911, SE-102 39 Stockholm, Sweden Phone: +46 8 5465 1500, Fax: +46 8 5465 1599 email: Fatigue2002_abstract@stocon.se http://www.stocon.se/fatigue2002/
Tenth European Conf. on Composite Materials	3-7 Haziran 2002 Brugge, Belgium	Secretariat ECCM-10, c/o Myriam Bourlau MEMC-TW-VUB Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium. E-mail: mbourla@vub.ac.be
11 th Int. Congr. And Trade Fair on 'Metallurgy and Materials'	5-9 Haziran 2002 Istanbul, Turkey	Nur Ogutcu. Tel: +90 212 4663 0881 Fax: +90 212 6630 97374. Internet www.metalurji.org.tr
MCM-2002-XII International Conference on Mechanics of Composite Materials	9-13 Haziran 2002 Riga, Latvia	Dr. K. Cirule, Scientific Secretary, Institute of Polymer Mechanics, 23 Aizkraukles St., Riga, LV-1006, Latvia. Tel.: +371 7543121; Fax: +371 7820467; e-mail: cirule@pmi.lv ; URL: www.ub.es/sis2002
4 th Int. Conf. on 'Materials for microelectronics and nanoengineering'	10-12 Haziran 2002 Espoo, Finland	The Institute of Materials Lisa_bromley@materials.org.uk
6 th Conf. on 'Clean steel'	10-12 Haziran 2002 Blatonfured, Hungary	The Institute of Materials Melanie_boyce@materials.org.uk
European Conference on Vehicle Noise and Vibrations	11-12 Haziran 2002 ImechE Headquarters, London,UK	Automobile Division, Institution of Mechanical Engineers Alison Payton or Matt McKay, Automobile Division, Institution of Mechanical Engineers, 1 Birdcage Walk, London SW1H9JJ, UK Tel: +44(0)20 7304 6829 Or +44(0)20 7304 6828 E-mail: a_payton@imeche.org.uk Or m_mckay@imeche.org.uk
Balkantrib'2002	12-14 Haziran 2002 Kayseri, Turkey	Dr. Yılmaz Ozmen, Pamukkale University, Denizli Meslek Yüksekokulu, Denizli, Turkey. Tel/Fax: +90 258 263 3794, e-mail: yozmen@yahoo.com
KTC 2002-05-13 2 nd In. Mediterranean Conference on Tribology	12-14 Haziran 2002 Kayseri, Turkey	Mediterranean Trib'2002 Conference Secretariat, Erciyes University, Engineering Faculty Department of Mechanical Engineering, 38039 Kayseri, Turkey. Tel: +90 352 4375755, 4375766; Fax: +90 352 4375784,

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

- PM²TEC2002
2002 World Congress on Powder
Metallurgy & Particulate
Materials
- 24th World Conference on the
Boundary Element Method and
Meshless Solutions Seminar
- Euomech 435
Friction and Wear in Metal
Forming
- Simulation of Friction and Wear
in Metal Forming
- The 15th International Conference
on Computer Animation 2002
- 6th International Conference on
Advanced Manufacturing Systems
and Technology
- Int. Conference on
Thermomechanical Processing:
Mechanics, Micostructure &
Control
- 14th U.S. National Congress of
Applied Mechanics
- USNTCAM14 – 14th U.S.
National Congress of Theoretical
and Applied Mechanics
- 16 - 21 Haziran, 2002
Orlando, Florida, USA
- 17 – 19 Haziran, 2002
Sintra, Portugal
- 18-20 Haziran 2002
Valenciennes, France
- 18-20 Haziran 2002
Valenciennes, France
- 19-21 Haziran 2002
Geneva, Switzerland
- 20 - 21 Haziran, 2002
University of Udine, Italy
- 23-26 Haziran 2002
Sheffield, UK
- 23 – 28 Haziran, 2002
Blacksburg, VA, U.S.A.
- 23-28 Haziran 2002
Blacksburg, VA, U.S.A.

Metal Powder Industries Federation
105 College Road East
Princeton, New Jersey 08540-6692, USA
Tel: (609) 452-7700, Fax: (609) 987-8523
Register on-line at www.mpif.org

Susan Hanley, Conference Secretariat
BEM 24, Wessex, Institute of Technology, Ashurst
Lodge, Ashurst, Southampton SO40 7AA, UK
Tel: +44(0) 238 029 3223
Fax: +44(0) 238 029 2853
E-mail: shanley@wessex.ac.uk

Mrs. Corinne Dupin, Euomech 435 – Valuval,
Universit de Valenciennes, Le Mont Houy, F-59313
Valenciennes Cedex, France.
Tel: +33(0)3 27 51 10 72;
e-mail: corinne.dupin@univ-valenciennes.fr;
www.univ-valenciennes.fr/euomech435.

Prof. Jean le Maitre, Industrial and Human
Automatic Control and Mechanical Engineering, Le
Mont Houy, University of Valenciennes, F-59313
Valenciennes Cedex 9, France
E-mail: euomech435@univ-valenciennes.fr

CA2002 Secretariat
E-mail CA2002@miralab.unige.ch
<http://www.miralab.unige.ch/ca2002/>
Fax : 41-2270-57780
AMST'02: F. Miani
Via delle SCIENZE 208, I-33100 Udine, Italy
Tel: ++39 0432 558259, Fax: ++39 0432 558251
E-mail: amst@uniud.it
URL: <http://www.diegm.uniud.it/amst>

Thermomechanical Processing: Mechanics,
Microstructure and Control, c/o IMPETUS Admin
office, Department of Engineering Materials,
University of Sheffield, Sir Robert Hadfield
Building, Mappin Street, Sheffield S1 3 JD, UK

Wanda Hylton, Continuing Education, Mail Code
0364, Virginia Tech., Blacksburg, VA 24060, USA.
Tel: +1 540-231-9617;
Fax : +1 540-231-9886;
E-mail: whylton@vt.edu
Website: www.esm.vt.edu/usncam14/

E.G. Henneke, R.C. Batra or M.W. Hyer, Dept. of
Engineering Science & Mechanics, Virginia
Polytechnic Institute and State University,
Blacksburg, Virginia 24061 U.S.A.
E-mail: henneke@vt.edu, rbatra@vt.edu,
hyerm@vt.edu

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

IJPGC
International Joint Power
Generation Conference

24 - 26 Haziran, 2002
Arizona, USA

John Bendo
Manager, Engineering Programs,
ASME International
Three Park Avenue, New York,
NY 10016-5990, USA
Tel: 212-591-7055, Fax: 212-591-7671
E-mail: bendoj@asme.org

ICRM 2002
2nd International Conference on
Responsive Manufacturing

26 - 28 Haziran, 2002
Gaziantep, Türkiye

ICRM 2002 - Conference Secretariat
University of Gaziantep
Department of Industrial Engineering
27310, Gaziantep - Turkey
Tel: +90-342-360 1200/2600
Fax: +90-342-360 4383
E-mail: rmc2002@gantep.edu.tr
URL: www.gantep.edu.tr/rmc2002

First International Conference on
Design and Manufacture for
Sustainable Development

27 - 28 Haziran, 2002
University of Liverpool, UK

Mrs. Jean Quinn
Department of Engineering
University of Liverpool, Liverpool L69 3GH
Tel: +44 (0) 0151-794 4682
Fax: +44 (0) 0151-794 4693
e-mail: sustain@liverpool.ac.uk
Web site: www.liv.ac.uk/sustain.

XII International Conference on
Surface Forces

29 June - 5 July
Moscow, Russia

Dr. L.B. Boinovich, Institute of Physical Chemistry,
Leninsky Prospect 31, 119991 Moscow, Russia.
Tel.: +7 095 955 4625;
Fax: +7 095 952 5308;
e-mail: SurFore@phyche.ac.ru ;
ame@phyche.ac.ru

ICCE/9 - 9TH International
Conference on Composites
Engineering

1-6 Temmuz 2002
San Diego, USA

Dr. David Hui, University of New Orleans,
Department of Mechanical Engineering, New
Orleans, LA 70148, USA.
Tel: +1 504 280 6652;
Fax: +1 504 280 6192;
e-mail: dhui@uno.edu ;
Web : [http :stm2.nrlnavy.mil/~enr/composite](http://stm2.nrlnavy.mil/~enr/composite)

ICME 2002 3rd CIRP
International Seminar on
Intelligent Computation in
Manufacturing Engineering

3 - 5 Temmuz, 2002
Ischia (Naples), Italy

Ing. Doriana D'Addona
Dept. of Mat. and Prod. Eng.
Univ. of Naples Federico II
Piazzale Tecchio, 80, 80125-Naples, Italy
Phone: +39.081.7682336
Fax: +39.081.7682362
Email: info@www.icme.unina.it
Web site: www.icme.unina.it

2002 7th International
Workshop on Advanced Motion
Control (AMC)

3 - 5 Temmuz, 2002
University of Maribor
Maribor, Slovenia

Dr. Alenka Hren
Faculty of EE & Com. Science
Smetanova 17, 2000 Maribor, SLOVENIA
(+386 2 220 7332,
+386 2 220 7315 (Fax)
alenka.hren@uni-mb.si
<http://www.ro.feri.uni-mb.si/AMC>

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

World Congress on
Computational Mechanics

7-12 Temmuz 2002
Vienna, Austria

Prof. J. Ebershardsteiner, Inst. Strength of Materials,
T U Vienna, Karlsplatz 13/2002, A-1040 Vienna,
Austria
E-mail: general@wccm.tuwein.ac.at

Ninth International Congress on
Sound and Vibration

8 - 11 Temmuz, 2002
Orlando, Florida, USA

ICSV9 Congress Secretariat
c/o Dr. Jamal Nayfeh
College of Engineering and Computer Science
University of Central Florida,
4000 Central Blvd.
P.O.Box 162993,
Orlando, Florida 32816-2993, USA
Tel: 407-823-2455,
Fax: 407-823-6334
E-mail: icsv9@mail.ucf.edu,
Web page: www.mmae.engr.ucf.edu/icsv9

ESDA 2002
6th Biennial Conference on
Engineering Systems Design and
Analysis

8-11 Temmuz 2002
İstanbul Technical University
İstanbul, Turkey

Murat Vural, Turgut Gülmez, Dilek Bayrak
Faculty of Mechanical Engineering, İstanbul
Technical University, Gumussuyu, İstanbul, Turkey
Tel: +90-212-252-7600
Fax: +90-212-251-2007
E-mail: esda2002@mkn.itu.edu.tr
Web Site: <http://www.mkn.itu.edu.tr/esda2002>

Braking 2002

10-12 Temmuz 2002
Yorkshire Centre

Brian Shilton
E-mail: brian.shilton@virgin.net

2002 Japan-USA Symposium on
Flexible Automation
(JUSFA 2002)

15 - 17 Temmuz, 2002
International Conference
Center Hiroshima
Hiroshima, Japan

Prof. Fuminori Oba
Hiroshima University
Higashi-Hiroshima 739 8527, JAPAN
(+81 824 24 7550
jusfa02@hiroshima-u.ac.jp
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/jusfa02/index.htm>

Gordon Research Conference on
Tribology

4-9 August 2002
Rhode Island, USA

Dr. Irwin L. Singer, Tribology Section, Code 6176,
Naval Research Lab., Washington, DC 20375-5342,
USA.
Tel : (+1) 202 767 2327 ;
Fax : (+1) 202 767 3321 ;
e-mail : singer@nrl.navy.mil;
URL: <http://stm2.nrlnavy.mil/~wahl/6176.htm>

2002 16th International
Conference on Pattern
Recognition

11 - 15 Ağustos, 2002
Quebec Hilton
Quebec City, QC, Canada

Dr. Ching Suen
Concordia University
CENPARMI
1455 de Maisonneuve Blvd. West
Suite GM-606, Montreal,
Quebec H3G 1MB, CANADA
(+514 848 7950,
+514 848 4522
suen@cenparmi.concordia.ca
<http://icpr2002.gel.ulaval.ca/>

ICEE 2002
International Conference on
Engineering Education

18-22 Ağustos 2002
UMIST, Manchester, UK

www.meeting.co.uk/icee

KONGRE ADI

TARİH

YAZISMA ADRESİ

Twelfth International Heat
Transfer Conference

18-23 Ağustos 2002
Paris, France

Grenoble, France. Contact: Prof. J. Taine, Ecole
Centrale Paris _ Laboratoire EM2C, 92295
Chatenay-Malabry Cedex, France.
E-mail: ihtc12@em2c.ecp.fr
Web: www.ihtc12.ensma.fr

MOVIC 2002 - 6th International
Conference on Motion and
Vibration Control

20 - 23 Ağustos, 2002
Urawa Royal Pines Hotel
Saitama, Japan

Prof. Takeshi Mizuno
Dept of Mechancial Engineering
Saitama University, Shimo-Okubo 255
Saitama 338-8570, JAPAN
(+81 48 858 3455,
+81 48 858 3712 (Fax)
mizar@mech.saitama-u.ac.jp
<http://www.mech.saitama-u.ac.jp/movic2002>

2nd International Tribology
Conference SITC 2002

25-28 August 2002
Zielona Gora, Poland

Prof. E. Walicki, Conference Coordinator, SITC
2002, Department of Mechanics, Technical
University of Zielona Gora, ul. Szafrana 2, 65-516
Zielona Gora, Poland.
E-mail: E.Walick@wm.pz.zgora.pl ;
Tel: (+48) 68 32 472;
Fax: (+48) 68 32 47 446.

Fifth European Conference on
Structural Dynamics

2 - 5 Eylül, 2002
Technical University Munich

EURODYN 2002 Office
Lehrstuhl für Baumechanik
Technische Universität München
D-80290 Munich, Germany
Phone: +49 89 289 28345
Fax: +49 89 289 28665
e-mail: eurodyn2002@bv.tum.de

2002 8th IEEE International
Conference on Methods &
Models in Automation &
Robotics (MMAR)

2 - 5 Eylül, 2002
Szczecin, Poland

Prof. Zbigniew Emirsajłow
Technical Univ. of Tech., Institute of Control Eng.
ul. Sikorskiego 37,
70-313 Szczecin, POLAND
(+49 91 4495410,
+48 91 4495349 (Fax)
emirsaj@we.ps.pl
<http://www.mmar.ps.pl/>

Junior Euromat 2002
The Major Event for Young
Materials Scientists

2-5 Eylül, 2002
Lausanne, Switzerland

Deutsche Gesellschaft Fur materialkunde ev Anja
Mangold, Beate Toelle Hamburger Allee 26, D-
60486 Frankfurt,
Tel: +49-69-7917-750
Fax: +49-69-7917-733
E-mail: junior-euromat@fems.org
Internet: www.junior-euromat.fems.org

34th Solid Mechanics Conference

2 - 7 Eylül, 2002
Zakopane, Poland

Professor K. Sobczyk
Institute of Fundamental Technological Research
Polish Academy of Sciences
Swietokrzyska 21,
00-049 Warszawa, Poland
Phone: (+48-22) 828 74 71
Fax: (+48-22) 826 98 15
e-mail: solmech@ippt.gov.pl
jbauer@ippt.gov.pl
<http://solmech02.ippt.gov.pl>

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

29th Leeds-Lyon Symposium on Tribology

3-6 Eylül 2002
Leeds, UK

Mrs. S.M. Moore, the University of Leeds, School of Mechanical Engineering, Institute of Tribology, Leeds, LS2 9JT, UK.
Tel; +44 (0) 113 233 2155;
Fax: +44 (0) 113 242 4611;
e-mail: S.M.Moore@leeds.ac.uk;
URL: www.mech-eng.leeds.ac.uk/tribology/leeds-lyon.html

6th International Conference on Mechatronic Design and Modeling, MDM 2002

4 - 6 Eylül, 2002
Kapadokya, Türkiye

6th International Conference on Mechatronic Design and Modeling (MDM2002)
Mechanical Engineering Department
Middle East Technical University (METU)
06531 Ankara – TURKEY
Phone: +90 312 210 5217,
Fax: +90 312 210 1329
E-Mail: mdm@metu.edu.tr
URL: <http://design.me.metu.edu.tr/mdm/>

10th International Conference on Machine Design and Production, umtik2002

4 - 6 Eylül, 2002
Kapadokya, Türkiye

International Machine Design and Production Conference (UMTİK 2002)
Mechanical Engineering Department
Middle East Technical University
06531 Ankara – TURKEY
Phone: +90 312 210 5217
Fax: +90 312 210 1329
E-Mail: umtik@metu.edu.tr
URL: <http://design.me.metu.edu.tr/umtik/>

ECF14
The 14th European Conference on Fracture Mechanics

8 – 13 Eylül, 2002
Cracow, Poland

Prof. Krzysztof Golos
Conference ECF 14
Warsaw University of Technology
Institute of Machine Design Fundamentals
84 Narbutta Str. 02-524 Warszawa, Poland
Tel: +(48) (22) 660 82 62
Fax: +(48) (22) 660 86 22
e-mail: ecf14@simr.pw.edu.pl
<http://ecf14.simr.pw.edu.pl>

23rd ICAS Congress

8 - 13 Eylül, 2002
Toronto, Canada

ICAS Secretariat
66, route de Verneuil, BP 3002
LES MUREAUX CEDEX 78133, France
Tel: 33 1 3906 3423
Fax: 33 1 3906 3615
Email: secr.exec@icas.org
Web: www.icas.org

9th International Conference on Metal Forming

9 – 11 Eylül, 2002
Birmingham, UK

Conference Secretary, Metal Forming 2002,
School of Manufacturing and Mechanical Engineering, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham B15 2TT; UK
Tel: +44 (0) 121 414 4197
Fax: +44 (0) 121 414 3958
E-mail: metalform@bham.ac.uk

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

AVEC '02
6th International Symposium on
Advanced Vehicle Control

9-13 Eylül 2002
JAPAN

Professor shinichiro Horiuchi Department of
Science and Technolog Nihon University 8 Kanda
Surugadai, 1- chome Chiyoda-ku, Tokyo 101-8308
JAPAN
TeleFax: +81-3-3293-8254
URL <http://aveco02.mech.cst.nihon-u.ac.jp>

2002 1st International IEEE
Symposium "Intelligent
Systems"

10 - 12 Eylül, 2002
Sunny Day Marina Hotel
Varna, Bulgaria

Mr. Vladimir S. Jotsov
P.O. Box 161, Sofia 1113,
BULGARIA
(+35 924 44930,
+35 927 08087 (Fax)
jotsov@ieee.org
<http://www.iinf.bas.bg/is>

International Conference on Shot
Peening

16 - 20 Eylül, 2002
Garmisch-Partenkirchen, Germany

Dr. Peter Paul Schepp, Ms. Petra von der Bey
Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.
Hamburger Allee 26,
D-60486 Frankfurt
Phone: +49-69-7917 750
Fax: +49-69-7917 733
E-mail: shot-peening@dgm.de
www.dgm.de/shot-peening

2002 IEEE CCA/CACSD Joint -
Control Applications/Computer
Aided Control Systems Design

18 - 20 Eylül, 2002
Scottish Exhibition and
Conference Centre
Glasgow, Scotland

Mr. Andrew K. Smith
Industrial Control Centre,
University of Strathclyde
50 George St., Glasgow,
G11QE, SCOTLAND
(+44 141 548 2880,
+44 141 548 4203 (Fax)
drew.smith@eee.strath.ac.uk
<http://www.cacsd2002.org/>

3rd AITC AIMETA International
Tribology Conference

18-20 Eylül 2002
Salerno, Italy

Prof. A. D'Agostino, Department of Mechanical
Engineering, University of Salerno, via Ponte don
Melillo, 1, 84084 Fisciano (SA), Italy.
Tel.: +39 089 964245;
Fax: +39 089 964037;
e-mail: a.senatore@unisa.it;
URL: www.aitc.unisa.it

4th International Conference on
Materials Processing Defects
(MPD4)

24-26 Eylül 2002
Cachan, France

M. Predeleanu and A. Poitou, Co-Chairmen of
MPD4, Laboratoire de Macanique et technologie,
ENS de Cachan, CNRS, Universite Paris 6, 61
Avenue du President Wilson,
94 235 Cachan Cedex, France.
Tel.: (33) 1 47 40 47 40 22 52 or
(33) 1 47 40 47 40 28 69
Fax : (33) 1 47 40 27 85
E-mail: poitou@lmt.ens-cachan.fr

MID 2002
5. International Congress Molded
Interconnect Devices

25-26 Eylül 2002
Erlangen, Germany

MID 2002 Conference secretariat Roland Meier
research Association 3-D MID e.V. Egerlandstrabe
7-9 D-91058 Erlangen Germany
Tel: ++49.9131.852 7177
Fax: ++49.9131.852 7713
E-mail: meier@3dmid.de
URL: <http://www.3dmid.de>

KONGRE ADI

TARİH

YAZISMA ADRESİ

Materials Week 2002
ICM-International Congress

30 Eylül – 2 Ekim 2002
Centre Munich

European Congress on Advanced Materials, Their
Processes and Applications
www.materialsweek.org

IROS 2002
IEEE/RSJ International
Conference on Intelligent Robots
and Systems

30 Eylül – 4 Ekim, 2002
Lausanne, Switzerland

Prof. Roland Siegwart
E-mail: roland.siegwart@epfl.ch
URL: <http://iros02.epfl.ch/>

2002 IEEE International
Conference on Systems, Man
and Cybernetics

06 - 09 Ekim, 2002
Hammamet, Tunisia

Dr. Abdelkader El Kamel
Ecole Centrale De Lille
BP 48, F59651 Villeneuve D'Asco, FRANCE
(+33 320 33 5411, +33 320 33 5499 (Fax)
Abdelkader.Elkamel@ec-lille.fr
<http://smc02.ec-lille.fr/>

3rd International Conference on
Surface Engineering – ICSE2002

10-13 Ekim 2002
Chengdu, People's Republic of
China

Dr. Zho Minhao, Tribology Research Institute,
Southwest University, Chengdu 610031, People's
Republic of China.
Tel.: +86 28 7600715;
Fax: +86 28 7600971;
e-mail: ICSE2002@home.swjtu.edu.cn

ASIATRIB 2002

21-24 Ekim 2002
Cheju Island, Korea

Prof. Chung Kyun Kim (Secretary General),
Department of Mechanical and System Design
Engineering, Tribology Research Centre, Hongik
University, 71-1 Sangsu-dong, Mapo-ku, Seoul 121-
791, Korea.
Fax: +82-2-323-8793;
e-mail: secretariat@asiatrib.or.kr;
URL: <http://www.asiatrib.or.kr>.

The Fifth International
Conference and Workshop on
Numerical Simulation of 3D
Sheet Forming Processes

21 - 25 Ekim, 2002
Jeju(Cheju) Island, Korea

Numisheet 2002 Conference Secretariat
CANESM Lab.,
ME 3254, KAIST
Science Town,
Taejon, 305-701, Korea
<http://www.numisheet2002.org>
E-mail: webmaster@numisheet2002.org

7th ICTP International Conference
on Technology of Plasticity

27 Ekim – 1 Kasım, 2002
Yokohama, Japan

.Jun Yanagimoto, Assoc.Prof., Dr.-Ing.
Institute of Industrial Science,
The University of Tokyo,
4-6-1 Komaba, Meguro, Tokyo,
153-8505, Japan,
Fax: +81-3-5452-6203
e-mail: ictp7@iis.u-tokyo.ac.jp
URL: <http://www.ictp7.jstpr.or.jp>

Application and Evaluation of
High-Grade Linepipes in Hostile
Environments

7-8 Kasım 2002
Yokohama, Japan

M. Toyoda, Dept. Manufacturing Materials,
Osaka University, Japan, or R. Denys, University of
Gent, Belgium

KONGRE ADI

International Conference on the Application and Evaluation of High-Grade Linepipes in Hostile Environments

TARİH

7-8 Kasım 2002
Yokohama, Japan

YAZIŞMA ADRESİ

Prof. Dr. Eng. Masao TOYODA,
Department of Manufacturing Engineering, Osaka University, 2-1 Yamada-Oka, Suita, Osaka 565-0871, Japan.
Tel.: +81 (0)6 6879 7559
Fax: +81 (0)6 6879 7559
E-mail: toyoda@mapse.eng.osaka-u.ac.jp

International Mechanical Engineering Congress & Exposition

17-22 Kasım 2002

Prof.dr.ir.Rudi DENYS, Laboratory Soete, Universiteit Gent, St. Pietersnieuwstraat 41, B-9000 Gent, Belgium.
Tel.: +32 (0)9 264 32 53
Fax: +32 (0)9 223 73 26/7885
E-mail: rudi.denys@rug.ac.be

6th International Tribology Conference, AUSTRIB 2002

2 – 5 Aralık, 2002
Perth, Western Australia

New Orleans, Louisiana. Contact ASME, (212) 591-7795

Conference Manager AUSTRIB'02, Tribology Laboratory, Dept. of Mechanical & Materials Engineering, University of Western Australia, 35 Stirling Highway, Crawley, Western Australia 6009.
Tel: +6189380 1858; Fax: +6189380 1024;
E-mail: austrib@mech.uwa.edu.au;
Website: www.mech.uwa.edu.au/AUSTRIB2002

2002 7th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV 2002)

03 - 06 Aralık, 2002
TBC, Singapore

Ms. Merlin Toh
ICARCV 2002 Secretariat
Conference Mgmt Centre/CCE
Nanyang Technological Univ.
Admin. Annex Bldg. #04 06
42 Nanyang Ave., 639815, SINGAPORE
(+65 790 4723,
+65 793 0997 (Fax)
icarcv2002@ntu.edu.sg
<http://www.ntu.edu.sg/eee/icarcv/>

EUCHEM Conference on Molecular Tribology

7-11 Aralık 2002
Marsta, Sweden

"Molecular Tribology", The Swedish National Committee for Chemistry, Wallingatan 24 3 tr, SE-111 24 Stockholm, Sweden.
Tel: +46(0)8 411 52 60/80
Fax: +46(0)8 10 66 78;
e-mail: anna@chemsoc.se.

2002 41st IEEE Conference on Decision and Control

10 - 13 Aralık, 2002
Rio Suite Hotel
Las Vegas, NV

Prof. Umit Ozguner
Ohio State University
2015 Neil Ave.,
Columbus, OH 43210
(+1 614 292 5940,
+1 614 292 7695 (Fax)
ozguner.1@osu.edu

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

14th International Conference on
WEAR OF MATERIALS

30 Mart – 3 Nisan 2003
Renaissance Hotel Washington DC –
USA

Sue Stewart WOM 2003 Editorial office 4 Manor
Farm Barns, Church Lane, Charlton-on-Otmoor,
Kidlington, Oxon OX5 2UA, UK.
E-mail: sue.stewart2@btopenworld.com
Tel: +44(0)1865 331839

ICRA03
IEEE International Conference on
Robotics and Automation

12 – 17 Mayıs, 2003
Taipei, Taiwan

Website: <http://icra2003.org>

ICM9, Ninth International
Conference on the
Mechanical Behaviour
of Materials

18-22 Mayıs 2003
Haifa, Israel

ICM9 Secretariat, PO BOX 50006,
Tel Aviv 61500, Israel.
E-mail: icm9kenes.com
Web: www.kenes.com/icm9

Third International Conference on
Acoustics 2003

16-18 Haziran 2003
Cadiz, Spain

Conference Secretariat, Acoustics 2003, Wessex
Institute of Technology, Ashurst Lodge, Ashurst,
Southampton SO407AA, UK
Tel: +44(0) 238 029 3223
E-mail: wit@wessex.ac.uk
Internet: www.wessex.ac.uk

2nd MIT Conference on
Computational Fluid and Solid
Mechanics

17-20 Haziran 2003
Massachusetts, USA

Professor K. J. Bathe, Massachusetts Institute of
Technology, Room 3-356, 77 Massachusetts
Avenue, Cambridge MA 01239, USA.
Tel.: (617) 253 6645
E-mail: kjb@mit.edu.
Web: www.secondmitconference.org

10th International Conference on
Pressure Vessel Technology

7 – 10 Temmuz, 2003
Vienna, Austria

Institute for Pressure Vessel & Plant Technology,
Gusshausstr. 30/329, A-1040 Vienna, Austria.
Fax: +43 15041588;
E-mail: sekretariat+e329@tuwien.ac.at;
Website: <http://info.tuwien.ac.at/IAA/>

Tenth International Conference
on Pressure Vessel Technology

7-10 Temmuz 2003
Vienna, Austria

Institute for Pressure Vessel & Plant Technology,
Gusshausstr. 30/329, A-1040 Vienna, Austria
Fax +43 1 504 1588
E-mail : sekretariatre329@tuwien.ac.at

Ti-2003
10th World Conference on
Titanium

13-18 Temmuz 2003
CCH-Congress Center Hamburg,
Germany

Dr. P.P. Schepp Ms. P. Von der Bey Ti-2003
Conference Secretariat c/o Deutsche Gesellschaft für
Materialkunde Hamburger Allee 26 60486 Frankfurt,
Germany
Tel : (+49)69 7917 747
E-mail : ti-2003@dgm.de
Website: www.ti-2003.dgm.de

7th International Conference on
Mechanical and Physical
Behaviour of Materials Under
Dynamic Loading

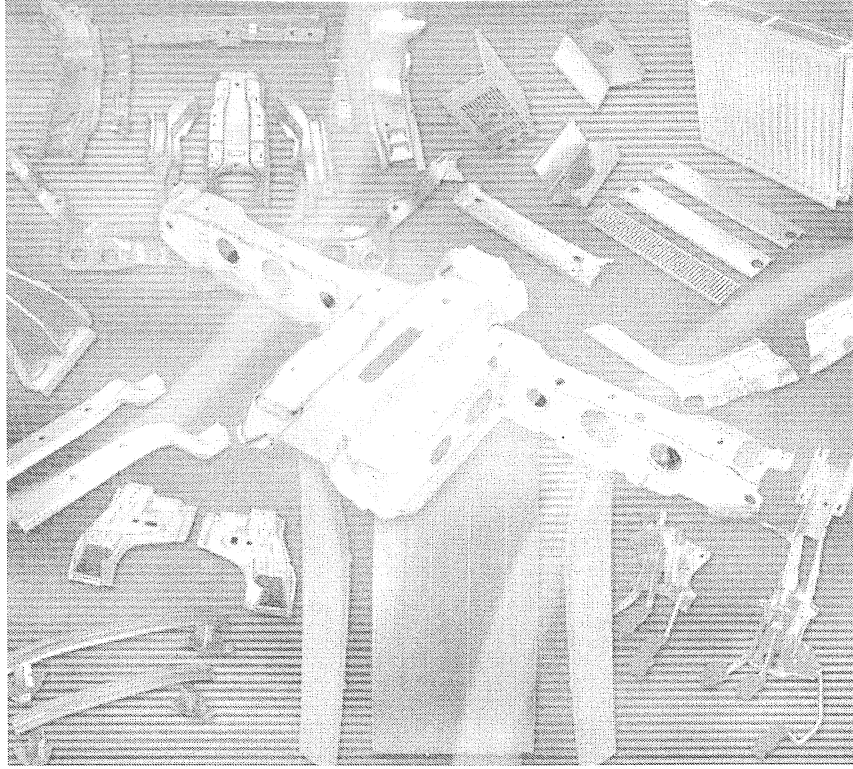
8-12 Eylül 2003
Portugal

DYMAT 2003 Departamento de Engenharia
Mecanica POLO 2- Pinhal de Marrocos 3030
COIMBRA PORTUGL
e-mail : dymant2003@dem.eu.pt

World Tribology Congress 2005

15-16 Ekim 2005
Washington, DC, USA

Mr. Edward Selek, 840 Busse Highway Park Ridge,
IL 60068-2376, USA.
Tel. : +1 847 825 5536 ;
e-mail : esalk@stle.org ;
URL: <http://www.stle.org>



BEYÇELİK
MOLD & DIE-AUTOMOTIVE INDUSTRY CO.

Beyçelik Kalıp ve Oto Sanayi Ticaret Anonim Şirketi

Beyçelik A.Ş. Bursa ili Çalı Beldesinde 15.000 m2 kapalı alan ve 3000 m2 açık alanda 350 personeli ile otomotiv sektörü ve beyaz eşya sektörüne 0.4 mm'den 7 mm'ye kadar sac işlemek üzere progresif, gruplandırılmış, tekli veya transfer kalıp tasarım ve imalatı yaparak kendi presleme atölyelerinde 100-1250 ton kapasitelerde şekillendirme, 30-450 KVA punta hatlarında kaynaklama, elektrostatik toz boya tesislerinde boyama ve montaj işlemleri yapmaktadır.

2001 yılında yurtiçi müşterileri olan FIAT-TOFAŞ/FORD-OTOSAN/BOSCH A.Ş. ye 22 milyon dolar ciro gerçekleştirilmiştir. Yapılan üretimin tamamı yurtiçi için olup anabayiler tarafından ihracat ürünlerinde kullanılmaktadır. Yıllık 30.000 ton sac işleme kapasitesi olan Beyçelik A.Ş. bir aile şirketi olup profesyonel organizasyonlar tarafından yönetilmektedir. Firmada 35 mühendis görev yapmaktadır.

Beyçelik A.Ş. tüm müşterilerinden giriş kontrolsüz sevk yetkisi almış ayrıca TSE den 1996 yılında ISO 9001 ve BVQI'dan 1999 yılında QS 9000 sertifikasyonuna hak kazanmıştır. Beyçelik A.Ş. 1999-2000 yılında Bursa KALDER yönetimindeki yerel organizasyonda EFQM iş

mükemmelliği modeline göre özdeğerlendirme yapmış ve saha ziyaretine kalarak başarı belgesi ile onurlandırılmıştır.

Beyçelik A.Ş. misyonu gereği tüm paydaşlarının kazanmasına yönelik aksiyonlarını hazırlamış ve uygulamaktadır. Halen otomotiv sektöründe faaliyet gösteren yansanayi kuruluşları içerisinde teknoloji ve insan kaynağı bakımından en iyi organize olmuş firmadır. Mevcut müşterilerimiz değerlendirmeleri kapsamında cirosal ve adetsel olarak faaliyet alanımızda en üstte olmaktan gurur duymaktayız.

2002 yılı sonunda Beyçelik A.Ş. bugün organize sanayi bölgesinde 20.000 m2 kapalı alan, 5.000 m2 idari ve 3.500 m2 açık alanı olan yeni fabrika inşaatını tamamlamış olacaktır. Böylece 300-1250 ton kapasiteli 3 hatta 34 adet büyük pres, 10 adet cnc freze, 1 adet cnc lazer, 2 adet cnc tel erzyon imkanını otomotiv sektörüne sunacaktır.

Beyçelik A.Ş. Tasarım yeteneğini geliştirmiş ve CATIA-C3P-IDEAS-UG-AUTOFORM gibi yazılımlardan aldığı destekle codesigner firma olmak için çalışmaktadır. Müşterilerimizin yönlendirmeleri ile faaliyet alanındaki her türlü üründe geliştirmeler yapabilmekte ve seri üretim takımlarını üretebilmektedir.

YAYIN İLKELERİ

Amaç

1. Makina tasarım ve imalatı alanında yerli teknoloji üretimine yönelik kuramsal ve uygulamalı çalışmaları duyurmak.
2. Bu alanda çalışan kişi ve kuruluşlar arasında bilgi alışverişini sağlamak.
3. Yayınlanan çalışmalar üzerinde teknik tartışma ortamı yaratmak.
4. Üniversite – endüstri arasındaki yakınlaşma ve işbirliğinin geliştirilmesine katkıda bulunmak.
5. Türkçe teknik bilgi birikimini arttırmak.

Kapsam

- (a) Dergi amaçları doğrultusunda aşağıda belirtilen konularda veya bunlara yakın konulardaki yazıları yayımlar;

Makina Tasarımı, Mekanik Sistemlerin Tasarımı ve Analizi, Makina Teorisi ve Mekanizma Tekniği, Makina Elemanları, İmalat Yöntemleri, Bilgisayar Yardımı ile tasarım ve İmalat, Robotik ve Esnek İmalat Yöntemleri, Akışkanlar Mekaniği, Malzeme Seçimi ve Malzeme Sorunları, Kalite Kontrolü, Fabrika Organizasyonu ve Üretim Planlaması, Bakım ve Onarım, Derginin amacına uygun diğer konular.

- (b) Dergide yayımlanacak makaleler, bir yeniliği, ilerlemeyi, gelişmeyi, araştırma ya da uygulama sonuçlarını içermek üzere araştırma makaleleri, uygulama makaleleri, derleme makaleleri, çeviri makaleleri ve kısa makaleler olabilir.
- (c) Dergide üyelerimize faydalı olabilecek imalat ve teknoloji ile ilgili araştırma ve çalışmaların sunulduğu veya firma ve kuruluşların tanıtıldığı yazılar yayımlanabilir.

- (d) Derginin kapsamına giren konularda düzenlenen yurtiçi ve yurtdışı konferans, seminer, vb. etkinliklere ve ayrıca bu konulardaki kitap, dergi vb. yayınlara ait duyurular yer alır.

Makalelerin Değerlendirilmesi

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, yayın kalitesi olarak belirli bir düzeyin üstünde kalmayı amaçlamıştır. Türkiye koşullarını da gözönüne alarak, bu kalite düzeyinin sürdürülmesi için gerekli tüm çaba ve titizlik gösterilecektir. Dergi'ye gelen her makale kesinlikle incelemeden geçirilecek ve bu amaçla mümkün olduğu kadar Türkiye çapında ya da yurtdışında konunun uzmanı hakemler tarafından değerlendirilmesine özen gösterilecektir. İnceleme ve değerlendirme sonuçları hakkında makale yazarlarına bilgi verilecektir.

YAYIN HAKKI

Dergide yayımlanan makalelerin her türlü yayın hakkı Makina Tasarım ve İmalat Derneği'ne aittir. Dergideki yazılar, yazılı izin almadan başka yerde yayımlanamaz ve çoğaltılamaz.

ÇALIŞMA İLKELERİ

Derginin yasal sahibi, MAKİNA TASARIM VE İMALAT (MATİM) DERNEĞİ'dir.

"Dergi Yayın Kurulu" dergi yönetimi ile ilgili organdır. Dergi Yayın Kurulu, MATİM Derneği Yönetim Kurulu tarafından bir yıl süre ile seçilir. Yayın Kurulu derginin yayın ilkelerine uygun yayımı ile yükümlüdür. Yayın Kurulu faaliyetleri konusunda MATİM Derneği Yönetim Kuruluna bilgi verir ve onayını alır.

Journal of MECHANICAL DESIGN AND PRODUCTION

Journal of Mechanical Design and Production is a periodical, published by the Turkish Mechanical Design and Production Society, METU, Ankara, Turkey. It is one of the society's aims, to publish qualified research and review papers in Turkish. The published papers are strictly refereed to maintain a high scientific and engineering level at international standard.

MAKALE GÖNDERME KOŞULLARI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi'ne yurt içinden ya da yurt dışından isteyen herkes yayımlanmak üzere makale gönderebilir. Gönderilen makalelerin dergi temel amaçlarına uygun ve dergi kapsamı içinde olması ve aşağıdaki makale kabul ilkelerini sağlaması gerekmektedir. Dergi Yayın Kuruluna gelen her makale en az iki hakem tarafından değerlendirilir ve sonuç olumlu ya da olumsuz olsa da, yazarına bildirilir.

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde aşağıdaki makaleler yayımlanabilir.

- Araştırma Makaleleri.
- Uygulama Makaleleri.
- Derleme Makaleleri: Belirli bir konu üzerinde bilimsel ve teknolojik son gelişmeleri zengin bir kaynakçaya dayanarak aktaran ve bunların değerlendirmesini yapacak nitelikte olmalıdır.
- Çeviri Makaleler: Yerli teknoloji ve bilgi birikimine önemli bir katkıda bulunacak nitelikte olmalıdır.
- Kısa Makaleler: Yapılan bir çalışmayı zaman geçirmeden duyuran veya bu dergede yayımlanan bir makaleyi tartışan yazıdır.
- Diğer: Yukarıda tanımlanan içerikte olmayan, ancak üyelerimize faydalı olabilecek, imalat ve teknoloji ile ilgili çalışma ve araştırmaların sunulduğu, firma ve kuruluşların teknik özelliklerinin tanıtıldığı yazılardır.

Hakem değerlendirmesi için makaleler, biri orjinal olmak üzere dört basılmış kopya ile birlikte bir de elektronik kopyası Makina Tasarım ve İmalat Derneği Yayın Kurulu'na bir başvuru formu ile gönderilmelidir. Bu başvuru formu <http://www.me.metu.edu.tr/matim> sayfasından bulunabilir.

Yazarlar, yayımlanma kabulünü takiben makalenin en son halini elektronik ve bir basılmış kopya olarak göndermelidir. Elektronik kopya makalenin basılmış halinin aynısı olmalıdır. Kelime-işlemci olarak Windows işletim sisteminde çalışan MS Word program paketi kullanılmalıdır. Makalenin kaydedildiği disket/CD veya e-mail kullanılarak kelime-işlemci paket programı ve sürümü belirtilerek gönderilmelidir.

MAKALE KABUL İLKELERİ

Makaleler içerik ve şekil olarak aşağıda belirtilen biçimde hazırlanmalıdır.

Yazım Dili

Kullanılan dilin olabildiğince basit, anlaşılır ve kesin olmasına özen gösterilmelidir. İleri düzeyde teknik ya da alışılmamış kavramlar kullanmak gerektiğinde, bunlar uygun bir şekilde tanımlanmalı ve yeterince açıklanmalıdır.

Makalenin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

- Makalenin adı
- Yazar(lar) ad(lar)ı, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve kuruluşun bulunduğu il.
- Özet ve anahtar kelimeler
- Makalenin ana kısmı
- Teşekkür (gerekli ise)
- İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler
- Kaynakça
- Ek(ler) varsa

Makalenin adı, olabildiğince kısa, gereksiz ayrıntıdan arınmış olmalı, ancak gerekli anahtar sözcükleri içermelidir.

Yazarların ad ve soyadları, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve bulunduğu il verilmelidir. Ayrıntılı görev ve adres ise ayrı bir kağıtta ve yazarların kısa özgeçmişleri ile birlikte belirtilmelidir.

Özette sadece sonuçlar değil makalenin tümü çok kısa ve öz şekilde açıklanmalıdır. Özet, makalenin konusu, kapsamı ve sonuçları hakkında fikir verebilmeli, ilgili anahtar sözcük ve deyimleri içermelidir. 100 kelimeyi geçmeyen Türkçe özetin ve anahtar sözcüklerin İngilizcesi de konulmalı ve makale başlığının İngilizcesi de mutlaka yazılmalıdır. Bu konuda istenirse dergi Yayın Kurulu yardımcı olabilir.

Makalenin ana kısmında makalenin amacından söz edildikten sonra bir mantık zinciri içinde sorun tanıtılmalı, çözüm yolları ve diğer bilgiler verilerek sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi sunulmalıdır.

Teşekkür kısmında gerekiyorsa kişi, kuruluş ya da firmalara teşekkür edilebilir. Özellikle firma adlarının bu bölümünün dışında başka bir yerde verilmemesine özen gösterilmelidir.

Başlıklar

Gerek makalenin yapısını belirlemek, gerekse uzun bölümlerde düzenli bir bilgi aktarımı sağlamak için üç tür başlık kullanılabilir:

- Ana Başlıklar,
- Ara Başlıklar,
- Alt Başlıklar.

Ana Başlıklar: Bunlar, sıra ile, özet, makalenin ana kısmının bölümleri, teşekkür (varsa), kaynakça, ekler (varsa)'den oluşmaktadır. Ana başlıklar büyük harflerle yazılmalıdır.

Ara Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harfle yazılmalıdır.

Alt Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harflerle yazılmalı ve hemen başlık sonunda iki nokta üstüste konularak yazıya aynı satırdan devam edilmelidir.

Matematiksel Bağlantılar

Matematiksel bağlantılar, daktilo ile veya elle anlaşılır şekilde açık ve seçik olarak yazılmalı, Türkçe alfabenin dışındaki karakterleri sayfanın sol tarafındaki boşlukta ayrıca ne oldukları yazı ile belirtilmelidir. Üst ve alt harf veya rakamlar belirgin bir şekilde yazılmalıdır. Özellikle daktilo kullanımında "l" (le) harfi ile "1" (bir) sayısının, "0" harfi ile "0" (sıfır) sayısının karıştırılmamasına özen gösterilmelidir. Metin içindeki bağlantılar 1 (bir)'den başlayarak sıra ile numaralandırılmalı ve bu numaralar eşitliğin bulunduğu satırın sağ kenarına parantez "()" içinde verilmelidir.

Şekiller, Çizelgeler ve Resimler

Şekiller, küçültme ve basımda sorun yaratmamak için siyah mürekkep ile, düzgün ve yeterli çizgi kalınlığında aydın veya beyaz bir kağıda çizilmelidir. Her şekil A4 boyutunda ayrı bir sayfada olmalıdır. Şekiller 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her şeklin altına alt yazılarıyla birlikte yazılmalıdır. Çizelgeler de şekiller gibi, 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her çizelgenin üstüne başlığıyla birlikte yazılmalıdır.

Resimler parlak sert (yüksek kontrastlı) fotoğraf kağıdına basılmalıdır. Ayrıca şekiller için verilen kurallara uyulmalıdır. Özel koşullarda renkli resim baskısı yapılabilecektir.

Çizelge başlıklarının sadece ilk kelimesinin baş harfi büyük harfle, diğer harfleri ve kelimeler küçük harfle yazılmalıdır. Çizelge başlıkları, ayrıca bir sayfada da sıra ile verilmelidir.

Dip Notu

Dip notu gereken yerlerde bu bir üs numarası 1 ile belirtilmelidir. Buna karşılık gelen dip notu aynı sayfanın altında ara metinle bir çizgi ile ayrılmış olarak verilmelidir.

Kaynakça

Makale içinde gönderme yapılan (atıfta bulunulan) her türlü basılı yayın makalede söz edildiği sırada ve köşeli parantez | | içinde verilmelidir. Dergilerde yayımlanan makaleler, kitaplar, raporlar, tezler, kongre ve sempozyumlarda sunulan makaleler aşağıdaki örneklerde verilen şekilde yazılmalıdır.

- Dergi Makalesi
1. Richie, G.S., Nonlinear Dynamic Characteristics of Finite Journal Bearings, *ASME, J. of Lub. Technology*, 105 (1983) 3, 375-376. Kitap
 2. Shigley, J.E. ve Mitchell, L.P., *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983. Rapor
 3. Arslan, A.V. ve Novoseletsky, L.A., *Mathematical Model to Predict the Dynamic Vertical Wheel/Rail Forces Associated with Low Rail Joint*, AAR Technical Center, Technical Report, No.R-462, October 1980. Kongre Makalesi
 4. Adalı, E. ve Tunalı, F., Bilgisayar Denetimli Tezgaha Geçiş, *1. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı*, 287-293, ODTÜ, 1984.

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

Dergide yayımlanacak makaleler 13 makale sayfasını geçmemelidir. Makaleler daktilo ile A4 kağıdının tek yüzüne, iki aralıklı olarak yazılmalı ve sayfa kenarlarında yeteri kadar boşluk bırakılmalıdır. Şekillerin orjinaleri de dahil olmak üzere makale üç kopya gönderilmelidir.

Kabul edilen makaleler dergi için yapılan dizgi ve şekilsel düzenlemeden sonra kontrol için basımdan önce yazarına gönderilir.

Yayımlansın veya yayımlanmasın gönderilen makaleler yazarına geri gönderilmez. Yazılardaki fikir ve görüşler yazarına, çeviriden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.