

Klasik Spline Yöntemi ile Tasarlanan Kam Profillerinin İncelenmesi

Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversites Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü
Konuralp Yerleşkesi, 81620 Konuralp / DÜZCE
Geliş/Received : 05.07.2011, Kabul/Accepted : 20.12.2011

ÖZET

Kamlar küçük kurslu doğrusal alternatif hareket elde etmek için kullanılan makine elemanlarıdır. Kam profili tasarımında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 5. dereceden klasik spline yöntemi kullanılarak 6 mm supap kursu ve 120°, 124°, 128° supap açık kalma süreleri için farklı kam profilleri tasarlanmıştır. Tasarlanan profillerin 3000 d/d motor devri için hız ve ivme grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafikler birbirleri ile kıyaslanarak supap açık kalma süresinin hız ve ivme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sistemde oluşan atalet kuvvetlerinin büyüklüğü, iticinin ivme değerine bağlıdır. 128° supap açık kalma süresi için en düşük hız ve ivme değerleri elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada tasarlanan kamlar tel erozyon kesim yöntemi ile imal edilerek, yüzey pürüzlülük değerleri talaşlı imalat yöntemi ile kıyaslanmıştır. Tel erozyon kesim yönteminin, kam mili imalatı için alternatif bir yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Klasik spline, kam profili, tel erozyon, yüzey pürüzlülüğü.

Investigation of Cam Profiles Obtained Via Classical Spline Method

ABSTRACT

Cam mechanisms are used to generate reciprocal motions having small strokes. Various methods are used in the design of cam profiles. In this paper, using a 5th order classical spline method, cam profiles were obtained for 6 mm stroke and 120°, 124°, 128° lifted-valve periods. Velocity and acceleration diagrams of designed profiles were plotted for 3000 rpm engine speed. The effect of lifted-valve periods on the velocity and acceleration were examined and compared. The magnitude of the inertial forces in the system depends on the follower acceleration values. The minimum values of velocity and acceleration were obtained for 128° lifted-valve period. Also cam shafts were manufactured by wire electro erosion discharge machining and compared surface roughness values with conventional machining method. Wire electro erosion discharge machining method was seen an alternative method for the manufacture of camshafts.

Keywords: Classical spline, cam profile, electrical discharge machining, surface roughness.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kam mekanizmaları sınırsız çeşitlilikteki hareketi sağlayabildiğinden dolayı bir çok tip makinede yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu mekanizmalarda kamdan gelen hareket izleyici ile diğer bir parçaya aktarılır. Makine parçalarına istenen hareketi kazandırabilmek için farklı kam profilleri tasarlanıp imal edilebilir. Kam mekanizmasının dinamik davranışlarını kam tasarım yöntemi ile birlikte, kam mekanizması elemanlarının boyutu ve çalışma hızı da etkilemektedir. Optimum kam boyutu, supap açılıp kapanma periyotlarında oluşan maksimum temas geriliminin kabul edilebilir degerde olduğu kam boyutudur (1).

Düşük hızlarda çalışan kam mekanizmaları için kinematik ve dinamik özellikler önem arz etmemekle birlikte, otomobil motorları gibi yüksek hızlarda çalışan kam mekanizmaları için kinematik ve dinamik değerlerin minimum olması gerekmektedir (2,3). Yüksek de-

virli kam hareket mekanizmalarında izleyici hareketinin hassasiyeti, makine performansını etkiler. Bu nedenle uygulama alanlarına ve yüklere bağlı olarak kam profilleri çok hassas olarak imal edilmelidirler. İçten yanmalı motorlar için yarı oval üçgensel çıkıntılara sahip olan kam profili, kam rampası, temel daire (kam ökçesi) ve kam burnundan oluşur. Kam profilleri bir çok matematiksel yöntem ile tasarlanabilir. Düşük hızlarda çalışan mekanizmalar için kam profilinin herhangi bir noktasında hızın, ivmenin ve sıçramanın sınırlanması gerekmiyorsa, kam profilleri harmonik, sikloid ve polinomik yöntemler gibi geleneksel metotlar ile tasarlanabilir (4). Fakat yüksek hızlı mekanizmalarda hız, ivme ve sıçrama değerlerinin kolaylıkla kontrol edilebildiği çeşitli spline yöntemleri kullanılmaktadır. Tsay ve Lin (5), izleyicinin bekleme - hareket-bekleme konumlarının sentezi için parametrik olmayan rasyonel B-spline yöntemini kullanmışlardır. Dügüm noktası değerlerinin kontrolü ile kinematik eğrilerin tepe noktaları ve basınç açısı degeri küçültülmüştür. Wang ve Yang (6) parçalı polinomlar kullanarak elde ettikleri kam profilini, karesel programlama algoritması kullanarak op-

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: suatsaridemir@duzce.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2011.14.4, 257-262

timize etmişler ve sıçrama değerini minimuma indirmişlerdir. Park ve David (7) yüksek hızlı motorların kam tasarımında, kam profilini 10 ayrı polinomik parçaya bölmüştür. Parçaların her iki ucu sınır şartları ile tanımlanmıştır. Böylece kam profilinin 15 serbestlik dereceli bir optimizasyonu yapılmıştır. Sarıdemir (8), kam profili tasarımında kullanılan hareket denklemlerini tanıtmış ve farklı supap açık kalma süreleri için imal edilen kam profillerinin motorun çalışmasına olan etkilerini incelemiştir. Motor tork ve gücünün, supap açık kalma süresine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Karabulut ve Sarıdemir (9), farklı supap açık kalma süresi ve supap kursları için 5. dereceden klasik spline yöntemi kullanarak kam profilleri elde etmişlerdir. Elde edilen kam profilleri hız, ivme, sıçrama ve basınç açısı yönünden incelenmiştir. Çalışmada aynı supap kursu için supap açık kalma süresi arttıkça hız, ivme ve basınç açısı değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir.

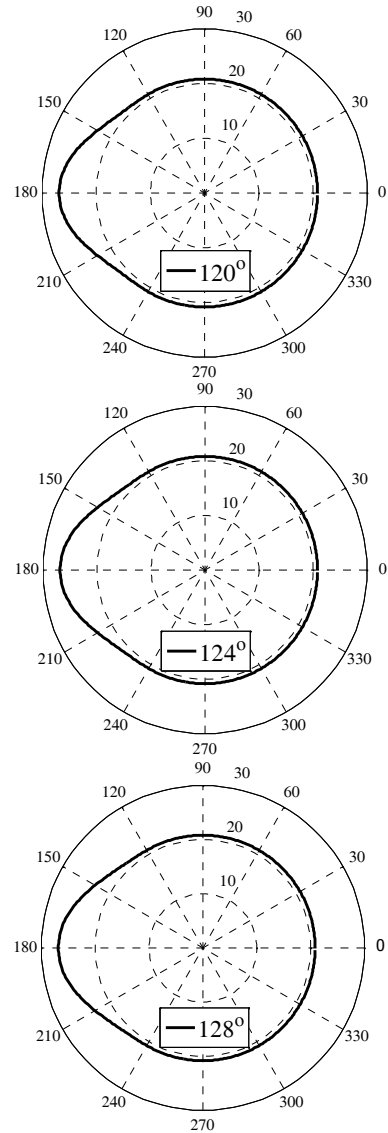
Bu çalışmada iki silindirli dört zamanlı prototip bir motor için, 5. dereceden klasik spline yöntemi kullanılarak 6 mm supap kursuna sahip kam profilleri tasarlanmıştır. 120° , 124° ve 128° supap açık kalma sürelerine sahip bu profillerin hareket, hız ve ivme grafikleri çizilerek kıyaslanmıştır. Ayrıca, tel erozyon kesim yöntemi ile imal edilen kam profillerinin yüzey pürüzlülük ve sertlik değerleri talaşlı üretim imal yöntemi ile kıyaslanmıştır. Taşlamaya gerek kalmaksızın tel erozyon kesim yöntemi ile imal edilen kam profilleri, bir mil üzerine takılarak kam milini oluşturmuştur. Bu kam mili ile motorun düzgün bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Çalışmada tel erozyon kesim yönteminin kam mili imalatı için alternatif bir yöntem olduğu görülmüştür.

2.MATERYAL METOD (MATERIAL METHOD)

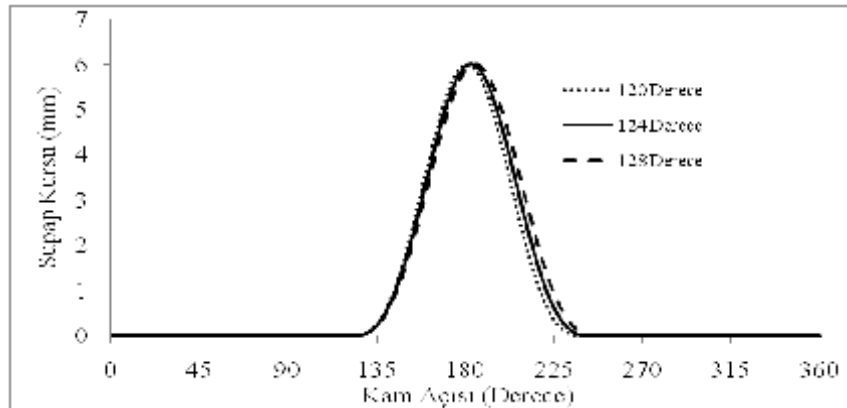
2.1.Kam Profillerinin Tasarlanması (Design of the Cam Profiles)

Bir motorda, karışımın her çevrim için silindir içerisine uygun bir şekilde alınması ve yanmış gazların tamamen dışarıya atılması için supap zamanlaması çok önemlidir. Motor tasarımına bağlı olarak emme ve egzoz süreleri kam mili açısına göre $115^\circ - 130^\circ$ arasında değişir (8). Mevcut çalışmada 120° , 124° ve 128° supap açık kalma sürelerine sahip profillerin tasarımı, Karabulut ve Sarıdemir (9) tarafından tanıtılan 5. dereceden klasik spline yöntemi ile yapılmıştır. Tasarlanan kamla-

rın polar koordinatlarda çizilmiş profilleri Şekil 1’de, bir çevrim için itici hareket diyagramı ise Şekil 2’de verilmiştir.

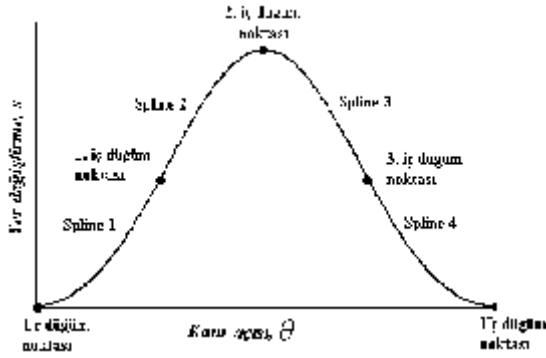


Şekil 1.Farklı supap açık kalma süreleri için klasik spline yöntemi ile tasarlanan kam profilleri



Şekil 2. Farklı supap açık kalma süreleri için klasik spline yöntemi ile elde edilen itici hareket diyagramı

Klasik spline yöntemi ile kam profili tasarımı, supap açık kalma süresinin düğüm noktaları yardımı ile belirli sayıda aralığa ayrılması ve bu aralıklar üzerinde itici hareketinin kamın açılma pozisyonu cinsinden ifade edilmesinden ibarettir. Şekil 3’de görüldüğü gibi kam profili dört ayrı spline fonksiyonunun birleşiminden oluşmaktadır. Bu fonksiyonların her biri itici hareketini tanımlayarak supap hareket grafiğini oluşturur. Supap hareket grafiği oluşturulmasının temel hedefi, çevrim boyunca hareket fonksiyonunun birinci, ikinci ve üçüncü türevlerinin (sırasıyla hız, ivme, sıçrama) sürekli olmasını sağlamaktır. Yani bütün düğüm noktalarında, hareket fonksiyonunun üçüncü mertebeye kadar türevleri sürekli olmalıdır.



Şekil 3. Supap hareket grafiği (8)

Her bir supap açık kalma süresi için kurs miktarı 6 mm alınarak, iç düğüm noktalarındaki yer değiştirme miktarları 1.5 mm ile 3.5 mm arasında, 0.5 mm farklarla değiştirilerek optimize edilmiştir. 41.65 mm temel daire çapı için iç düğüm noktalarındaki yer değiştirme miktarı 2 mm alındığında, en uygun kam profillerinin elde edildiği görülmüştür. Düğüm noktaları değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1 Farklı kam açıları için düğüm noktaları

Fonksiyon	Düğüm Noktaları				
	(30°)	(60°)	(90°)	(120°)	
Yer değiştirme (mm)	0	2	6	2	0
Hız (mm/s)	0	-	-	-	0
İvmeleme (mm/s ²)	0	-	-	-	0
Fonksiyon	(31°)	(62°)	(93°)	(124°)	
Yer değiştirme (mm)	0	2	6	2	0
Hız (mm/s)	0	-	-	-	0
İvmeleme (mm/s ²)	0	-	-	-	0
Fonksiyon	(32°)	(64°)	(96°)	(128°)	
Yer değiştirme (mm)	0	2	5	2	0
Hız (mm/s)	0	-	-	-	0
İvmeleme (mm/s ²)	0	-	-	-	0

Çizelge 2. Ç2080 yağ çeliğinin kimyasal bileşenleri (14)

Element (%)	C	Cr	W	V	Mn	Si	P	S
	2.0-2.35	11.0-13.0	≤ 1	≤ 1.1	0.6	0.6	0.03	0.03

Çizelge 3. Ç2080 yağ çeliğinin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri (14)

Malzeme	Sertlik (HRC)	Elastik Modül (GPa)	İzod Çarpma (J)	CTE (µm/m-°C)
DIN 1.Ç2080	33.0-66.0	207	67.8	10.7

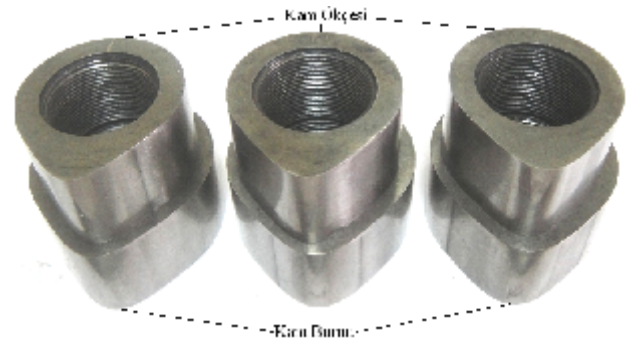
2.2. Kam Mili ve Profillerin İmal Edilmesi

(Manufacture of Camshaft and Profiles)

Kam milleri yüksek kaliteli çelik alaşımlarından genellikle presle dövülerek veya dökülerek tek parça halinde imal edilirler. Isıl işlemden önce kam mili muyluları ve kamlar özel tornalarda işlenerek, kaba ölçüsüne getirilir. Bu işlemde sonra, kam mili ısıl işlemlere tabi tutularak muylu ve kam yüzeyleri sertleştirilir. Daha sonra özel kam mili taşlama tezgahlarında muylu ve kam yüzeyleri hassas olarak taşlanıp, standart ölçüsüne getirilir (10). Talaşlı üretim yönteminden farklı olarak tel erozyon kesim yöntemi ile de kam milleri imal edilebilmektedir (8). Tel erozyon ile kesim yönteminde, dielektrik sıvı ortamında elektriksel kutuplara bağlanan tel elektrot ve iş parçası arasında oluşan elektriksel boşalımlarla oluşan yüksek ısı, metali ergiterek kesme işlemi yapılmaktadır (11,12). Bu tezgahlarda genellikle çapı 0.05-0.4 mm arasında değişen pirinç, molibden, tungsten veya bakır tel kullanılmaktadır. Kopan metal parçacıkları sirkülasyon yapan dielektrik sıvı ile uzaklaştırılmaktadır (13).

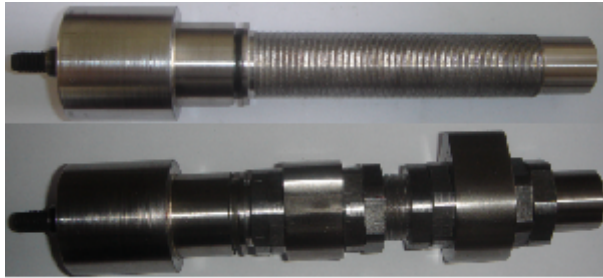
Tasarlanan kam profillerinin tel erozyon ile kesim işlemi için Autocad programı ile çizimleri yapılmıştır. Temel daire çapları, emme kamları için 35.7 mm ve egzoz kamları için 41.65 mm alınmıştır. Kam profilleri 80 mm çapında ve 20 mm genişliğinde 6 tane silindirik Ç2080 yağ çeliğinden imal edilmiştir. Ç2080 yağ çeliğinin kimyasal bileşenleri Çizelge 2’de, bazı mekanik özellikleri ise Çizelge 3’te verilmiştir.

Parçaların yüzeyleri tornada düzeltildikten sonra tornadan sökülmeden merkezleri 22 mm çapında delinerek, M24x1 diş açılmıştır. Bu işlemler eksen kaçıklığı olmaması için hassas olarak yapılmıştır. Daha sonra bu parçalar 47 HRC’ye kadar sertleştirilip, çizilen kam profillerine göre Sodick AQ750 marka tel erozyon makinesi ile kesimi yaptırılmıştır. İmal edilen tipik kam profilleri Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Tel erozyon kesim makinesi ile kesilen kam profilleri

Şekil 4'te görülen kam profilleri için üzerine diş açılmış ve Ç2080 yağ çeliğinden imal edilmiş tipik bir mil Şekil 5'te verilmiştir. Öncelikle bu mil tornada kaba ölçülerine getirilip ısıtma işlemi uygulanarak 47 HRC'ye kadar sertleştirilmiştir. Daha sonra gerginlik giderme tavına tabi tutulmuştur ve torna ile son ölçülerine getirilip, M24x1 diş açılmıştır. Kam profillerinin mil üzerinde sabit durması için, Şekil 5'de görüldüğü gibi profiller iki taraftan kontra yapılarak çift somun ile sıkılmıştır.



Şekil 5. İmalatı yapılan mil ve üzerindeki kamlar

2.3. YüzeY Pürüzlülük Değerlerinin Ölçülmesi (Measurement of Surface Roughness Values)

Kam profillerinin yüzeY pürüzlülüğü iğneli tip Mitutoyo SurfTest SJ-301 yüzeY pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür. İğnenin yüzeYe uyguladığı ölçüm kuvveti 4 mN (0.4 g), yüzeYe zarar vermemektedir. Her bir kam için rasgele seçilen üç yüzeYden 12.5 mm tarama mesafesinde ve 0.5 µm hassasiyet ile ölçümler yapılıp, ortalamaları alınmıştır. Çizelge 4'te, tel erozyon kesim yöntemi ile imalatı yapılan kam profillerinin ve klasik talaşlı üretim ile imal edilen bir kam milinin ortalama pürüzlülük (Ra) değerleri verilmiştir.

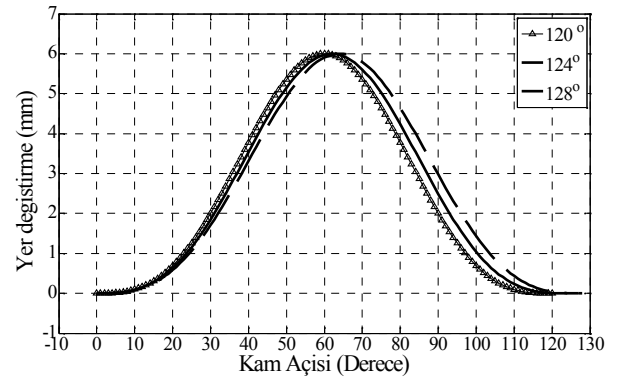
Çizelge 4. Kam profillerinin ortalama pürüzlülük (Ra) değerleri

Kam Açısı (Derece)	Temel Daire Çapı (mm)	Kam Ökçesi Ra (µm)	Kam Burnu Ra (µm)
120	35.7	0.68	0.36
	41.65	0.62	0.42
124	35.7	0.55	0.30
	41.65	0.53	0.36
128	35.7	0.57	0.32
	41.65	0.59	0.34
Klasik İmalat	30	0.33	0.31

3. UYGULAMA VE BULGULARI TARTIŞMA (DISCUSSION OF APPLICATION AND FINDINGS)

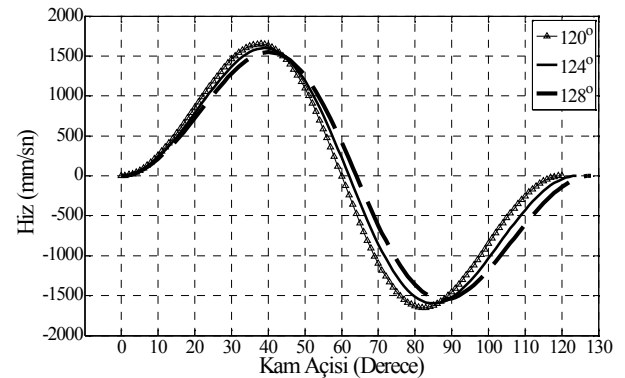
Çalışma hızına bağlı olarak kam profili iticinin hız ve ivme değerinin büyüklüğüne etki eder. Bu değerlerin büyüklüğü parçalar arasındaki sürtünme kuvvetini ve sistemdeki atalet kuvvetlerini artıracaktır (15).

Bu nedenle kam tasarımında, kam profiline ve çalışma hızına bağlı olan iticinin hız ve ivme değerlerinin büyüklüğü önem arz etmektedir. Bu kısımda 3000 d/d sabit hızla dönen bir motor için farklı supap açık kalma sürelerine sahip profillerin kinetik özellikleri kıyaslanmıştır. Supap hareket diyagramı ile kam şekli arasında doğrudan bir geometrik ilişki vardır. Kam profilinin şeklini supap hareket diyagramı belirler. Bu nedenle kinetik özellikler için kam şekli yerine, supap hareket diyagramı incelenebilir.



Şekil 6. Farklı supap açık kalma süresine sahip profillerin hareket grafiği

Şekil 6'da görüldüğü gibi supap hareket diyagramları simetrik ve eğriler arasında supap açık kalma süresine bağlı olarak küçük farklar vardır. Bu nedenle eğrilerin türevleri alınarak elde edilen hız ve ivme grafikleri arasındaki belirgin farklar incelenmiştir. Tasarlanan kam profillerinin hız ve ivme grafikleri sırasıyla Şekil 7-8'de verilmiştir.



Şekil 7. Farklı supap açık kalma süresine sahip profillerin hız grafikleri

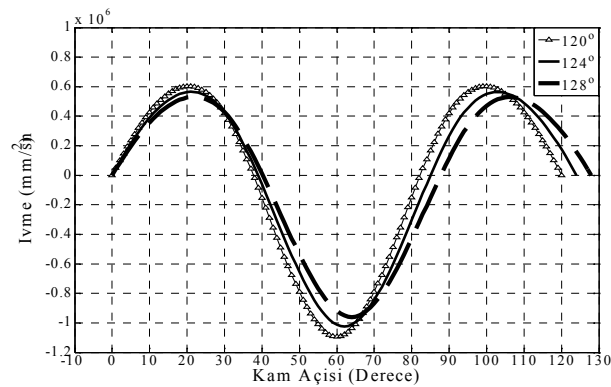
Şekil 7'de görüldüğü gibi başlangıçta kam açısı sıfır iken, supap sıfır hızından itibaren hızlanarak maksimum hıza ulaşır. Maksimum hız değerleri 120° kam profili için 38°'de, 124° kam profili için 39°'de ve 128° kam profili için 40°'de elde edilmiştir. Bu dereceler için supap kurs miktarları sırasıyla 3.413 mm, 3.365 mm ve 3.32 mm'dir. Çizelge 5'de görüldüğü gibi kam açısına bağlı olarak hız ve ivme eğrilerinin maksimum değerleri farklıdır. Çizelgede bu değerlerin kam açısı ile ters orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Benzer olarak Karabulut ve Sarıdemir (8) tarafından yapılan çalışmada, aynı supap kursunda kam açısı arttıkça daha düz-

gün kam profili elde edilerek hız, ivme, sıçrama ve basınç açısı değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir.

Çizelge 5. Farklı supap açık kalma süresine için elde edilen maksimum hız ve ivme değerleri

Kam Açısı	Hız (mm/s)	İvme (mm/s ²)
120°	1650	1.095.10 ⁶
124°	1598	1.025.10 ⁶
128°	1548	9.617.10 ⁵

Supap maksimum hıza ulaştıktan sonra tekrar yavaşlamaya başlar ve maksimum supap kursunda bir an durakladığı noktada hız sıfır olur. Supap kapanma periyodu ile açılma periyodu simetrik olduğundan dolayı 120° kam profili için supap hızı 82°'ye, 124° kam profili için 85°'ye ve 128° kam profili için 88°'ye kadar negatif yönde artar ve daha sonra supap açık kalma süresi sonunda sıfır olur. Supap maksimum hızına ulaşmaya kadar Şekil 8'de görüldüğü gibi kamdan supaba iletilen ivme daima pozitif değerdedir. Bu esnada supap kam üzerinden ayrılmaz. İkinci zaman ise, supabın maksimum hızından tekrar sıfır hızına yani supabın maksimum kurs pozisyonuna gelene kadar geçen zamandır. Bu zaman süresince ivme daima negatif yöndedir ve hareket halinde bulunan elemanların atalet kuvvetleri bu elemanları kamdan ayırmaya doğru etki eder. Bu zaman süresince supap yayı bu elemanların kamdan ayrılmasını önler. Supap maksimum kursuna eriştikten sonra geri dönerek kapanma periyoduna geçer. Supap kapanırken öncelikle hız sıfırdan maksimuma ulaşır. Bu esnada ivme negatif yöndedir. Supap maksimum hızdan sıfır hızına geçerken tekrar pozitif ivme ile hareket eder. Kam tasarımında pozitif ve negatif yönlerdeki ivmelerin mutlak değerleri büyük önem taşır. Pozitif yöndeki maksimum ivme kam üzerindeki basınç dolayısıyla, negatif yöndeki maksimum ivme ise seçilecek yayın yay sabiti bakımından önemlidir.

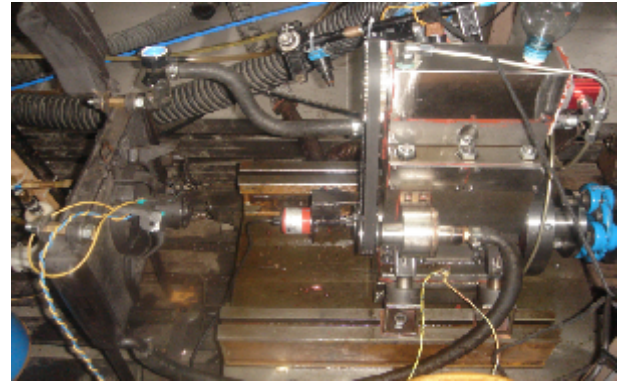


Şekil 8. Farklı supap açık kalma süresine sahip profillerin ivme grafikleri

Kam üzerindeki maksimum basıncı, maksimum ivme tayin etmektedir. Yay sabitini belirlemede, negatif yöndeki maksimum ivme dikkate alınmaktadır. Bu nedenle kam profillerinde, pozitif ve negatif yönlerdeki ivmelerin maksimum değerleri arasındaki fark mümkün olan en düşük değerde tutulmalıdır (8). Şekil 8'de gö-

rüldüğü gibi, kam açısı arttıkça ivmenin maksimum değerleri arasındaki fark azalmaktadır. Sistemde kullanılan yayın yay sabiti, ivmeye de bağlı olduğundan dolayı kam açısı arttıkça sistemde daha küçük bir yay sabitine sahip yay kullanılabilir. Böylece sistemdeki sürtünme ve aşınma yay sabitine bağlı olarak önemli ölçüde azalacaktır. İmal edilen kamlar 23264 N/m yay sabitine sahip bir supap sisteminde kullanılmıştır. Sürtünmeye ve aşınmaya etki eden iki önemli unsur sertlik ve yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey sertliği artırılarak aşınma azaltılabilir veya aşınmadan kaynaklanan yüzey deformasyonu sabit tutulabilir. Temas anında pürüzsüz iki yüzey, kısmen pürüzlü iki yüzeye göre daha az sürtünecektir. İmal edilen kamlar ile Şekil 9'da görülen prototip motor, farklı sürelerde ve devirlerde test edilmiştir. Çalışma şartlarına bağlı olarak kam profilleri ile itici temas halinde çalışmıştır. Bu nedenle kam yüzeyindeki ve burnundaki Ra değerleri arasında farklılıklar oluşmuştur. Supap ile itici arasındaki maksimum sürtünme kuvveti, supap tam açık konumda iken oluşur. Bu nedenle kam burnundaki Ra değerleri, diğer yüzeylerdeki değerlere göre daha düşüktür. Tel erozyon ile imal edilen kam profillerinin kam ökçesindeki Ra değerlerinin ortalaması 0.59 iken, kam burnundaki ortalama Ra değeri 0.35 µm' dir. Klasik talaşlı üretim ile imal edilen kam profillerinin kam ökçesindeki Ra değeri 0.33 µm iken kam burnundaki ortalama Ra değeri 0.31 µm' dir.

Sistem çalışır iken kam ve itici yüzeyleri sürekli olarak yağlandığından dolayı, Ra değerleri arasındaki farkın aşınmaya olan etkisi ihmal edilebilecek kadar küçük olacaktır.



Şekil 9. İmal edilen kam milleri ile çalıştırılan prototip motor

Tel erozyon ile kesme işleminde çok yüksek ısılar oluşmaktadır. Bu nedenle malzemenin ısıdan etkilenen yüzeylerinin mekanik özellikleri (aşınma direnci, yorulma dayanımı, sertlik, korozyon direnci gibi) değişmektedir. Tüm kesme işlemlerinin sonrasında numunelerin yüzey bölgesinde yüksek elektriksel boşalım ve buna bağlı olarak oluşan yüksek sıcaklıktan ani soğumaya geçişten dolayı, beyaz tabaka olarak adlandırılan sert bir yapı oluşur (16-19). Bu nedenle imal edilen kam profillerinin yüzey sertlikleri Hoytom 1003 sertlik ölçüm makinesi ile tekrar ölçülmüştür. Her numune için üç ayrı yüzeyden yapılan ölçümlerde sertlik değerlerinin ortalama 1-2.5 HRc arttığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada sabit bir supap kursu ve farklı supap açık kalma sürelerine sahip kam profilleri klasik spline yöntemi ile tasarlanarak, tel erozyon kesim makinesi ile imatları yapılmıştır. Bu yöntem ile kam mili imalatının kolay ve düşük maliyetli olduğu görülmüştür. Ayrıca tasarlanan profillerin hız ve ivme grafikleri çizilerek, kıyaslanmıştır. 128° kam açısı için en düşük hız ve ivme değerleri elde edilmiştir. İmalatı yapılan kam profillerinin yüzey pürüzlülük değerleri, standart bir kam profiline göre kam ökçesi için 0.26 µm ve kam burnu için 0.04 µm fazla çıkmıştır. Sistem sürekli olarak yağlandığından dolayı bu fark ihmal edilebilir seviyededir. Ayrıca tel erozyon kesme ile imal edilen millerde az da olsa sertlik değerlerinde bir artış elde edilmiştir. Tel erozyon ile imal edilen kam profillerinin mil üzerine farklı açılarda takılması ile supap açılıp kapanma zamanları değiştirilebilmektedir. Ayrıca farklı açılarda imal edilen kam profilleri ile supap açık kalma süreleri kolaylıkla değiştirilebilecektir. Böylece supap açık kalma sürelerine sahip kam milleri ile motora alınan dolgu miktarı değiştirilerek supap açık kalma süresinin ve supap açılma zamanının motor performansı üzerine olan etkileri kıyaslamalı olarak incelenebilecektir. Sonuçta tasarlanan ve imal edilen kam profilleri ile özellikle üniversitelerde ve fabrikaların Arge bölümlerinde bulunan deney motorları için yeni bir kam miline ihtiyaç kalmaksızın, daha ucuz bir maliyet ile motora alınan dolgu miktarı değiştirilerek farklı deneysel çalışmalar kolaylıkla yapılabilecektir. Ayrıca farklı kurslara sahip kam profilleri tasarlanıp imal edilerek kursun motora girilen dolgu miktarına ve motor performansına olan etkileri incelenebilir. Belirli bir amaç için endüstride kullanılan ve istenen hareketi üreten çeşitli makinelerin kam profilleri, tanıtılan yöntem ile tekrar imal edilerek daha az bir maliyet ile makine farklı işler için de kullanılabilir. Böylece aynı makine sadece kam mekanizması değiştirilerek farklı amaçlar için kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Terauchi, Y., Shakery, S., "A computer-aided method for optimum design of plate cam size avoiding undercutting and separation phenomena-1", *Mechanism and Machine Theory*, 18, 157-163, (1983).
2. Park, D.C., David, J.W., "Development of a locally nondimensional, mathematically symmetric cam profile for optimal camshaft design", *SAE Technical Paper*, No:960335, 159-167, (1996).
3. Acharyya, S., Naskar, T.K., "Fractional polynomial mod traps for optimization of jerk and hertzian contact stress in cam surface", *Computers and Structures*, 86, 322-329, (2008).
4. Chen, F.Y., "Mechanics and design of cam mechanisms", Pergamon Pres Inc., USA, (1982).
5. Tsay, D.M., Lin, B.J., "Improving the geometry design of cylindrical cams using nonparametric rational B-splines", *Computer Aided Design*, 28, 5-15, (1996).
6. Wang, L.T., Yang, Y., "Computer aided design of cam motion programs", *Comput Ind.* 28, 151-161, (1996).
7. Park, D.C., David, J.W., "Development of a locally nondimensional, mathematically symmetric cam profile for optimal camshaft design", *SAE Technical Paper*, No:960335, 159-167, (1996).
8. Sarıdemir, S., "İçten yanmalı dört zamanlı bir motor için supap mekanizması tasarımı", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
9. Karabulut, H., Sarıdemir, S., "Comparison of cam profiles obtained via classical spline method for different lifted-valve periods and lifts", *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24, 509-515, (2009).
10. Bayrakçıken, H., Uçun, I., Taşgetiren, S., "Fracture analysis of a camshaft made from nodular cast iron, engineering failure analysis, 13, 1240-1245, (2006).
11. Mahapatra, S.S., Patnaik, A., "Parametric optimization of wire electrical discharge machining (wedm) process using taguchi method", *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, 28, (2006).
12. Prohazska, J., Mamalis, A. G., Vaxevanidis, N. M., "The effect of electrode material on machinability in wire electro discharge machining", *Journal of Materials Processing Technology*, 69, 233-237, (1996).
13. Huang, C.A., Hsu, F.Y., Yao, S.J., "Microstructure analysis of the martensitic stainless steel surface fine-cut by the wire electrode discharge machining (WEDM)", *Materials Science and Engineering*, 371, (2004).
14. www.matweb.com
15. Sarıdemir, S., Karabulut, H., "Sikloidal Hareket Eğrisi ile Elde Edilen Kam Profillerinin Kinetik Yönden Kıyaslanması", *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 1, 1-7, (2011).
16. Puri, A.B., Bhattacharyya, B., "An analysis and optimization of the geometrical inaccuracy due to wire lag phenomenon in WEDM", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 43, 151-159, (2003).
17. Kunieda, M., Furudate, C., "High precision finish cutting by dry WEDM", *Ann. CIRP*, 50, 121-124, (2001).
18. Kalpajian, S., Schmid, S.R., "Material removal processes: abrasive, chemical, electrical and high-energy beam", *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Prentice Hall, New Jersey, 544, (2003).
19. Huang, J.T., Liao, Y.S., Hsue, W.J., "Determination of finish-cutting operation number and machining-parameters setting in wire electrical discharge machining", *J. Mater. Process. Technol.*, 87, 69-81, (1999)