

SERAMİKLERİN MAKİNE ELEMANLARI VE MEKANİZMALARINI ÜZERİNE UYGULANABİLİRLİĞİ VE İMALAT YÖNTEMLERİNİN İRDELENMESİ

Arif ÖZKAN¹, Fatih BABA², Suat AYAN³

¹ Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü
ozkan_a1@ibu.edu.tr

² Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksek Okulu Makine Bölümü
fatihbaba14@hotmail.com

³ Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü
ayan_s@ibu.edu.tr

Özet

Gereksinimlerin artması mekanik unsurların daha az yer kaplayarak daha çok işleve ve uygulama hızına sahip olmasını gerektirmektedir. Seramiklerin endüstriyel kullanım için elde edilmesi ve bileşimlerinin metalürjik özellikleri ve üretim aşamaları açıklanmıştır. Bu çalışmada seramiklerin makine elemanlarıyla beraber çalışan mekanizmalarda kullanılması ve motor bloğu gibi yapılarda uygulanması için gerekli işlem aşamaları açıklanmıştır. Güncel uygulamalar ve çalışmalar araştırılarak elde edilen sonuçlar, imalat unsur ve aşamaları karşılaştırılmış ve uygulama kazanımları gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seramik, malzeme, makine elemanları, şekillendirme

Abstract

Mechanical components are being more functional for technological requirements increases. Metallurgical characteristics and processing phases of ceramics have been determined. In this study, ceramic coating applications on mechanical components have been revealed and evaluate the effects of ceramic coating on motor components. The results showed aided with current application and research outcomes for ceramic usage obtains compared with manufacturing process features.

Key words: Ceramics, materials, mechanical components, forming

1.GİRİŞ

Makine elemanları ve makine parçaları çalışmaları esnasında pek çok aşındırıcı kuvvete maruz kaldıkları gibi birbiri ile çalışan parçalar meydana gelen ısı tesiri ile aşınırlar. Dünya çapında yapılmış olan istatistikler göre makine elemanları ve makine parçalarının yaklaşık olarak % 70'ini işe yaramaz hale gelmesinin sebebi aşınmadır. Bununla beraber sürtünme sonucunda kaybolan enerji miktarı yüklü harcamalara yol açar [1]. Bu aşınmayı azaltmak için pek çok yöntem kullanılmış ve hâlihazırda kullanılmaktadır. Çağımızda, doğada bulunan 92 elementten sadece 25 kadarının endüstriyel malzemelerin elde edilmesinde kullanıldığını bilmekteyiz. Günümüz endüstrisinde kullanılan malzemeleri genel olarak metalik malzemeler, organik

malzemeler, seramik malzemeler ve kompozit malzemeler olarak 4 ana grup olarak değerlendirilebiliriz. Yakın geçmişten beri kullanılmaya başlanılan seramik ve türevlerinin makine elemanlarında kullanılması yada makine elemanları üzerine kaplanması pek çok avantajı beraberinde getirmektedir. Bununla beraber çeşitli seramik türevleri makine elemanlarında yapısal olarak kullanılmaktadır. Ergime sıcaklığı düşük alüminyum gibi malzemelerin yüzeyine ergime sıcaklığı çok yüksek seramik malzemelerin kaplanması bu işlemin popüler kılan önemli bir unsurdur. Aslında bir toprak türevi olan seramiklerin türevlerine göre yoğun kullanım alanları vardır. Genel olarak makine ve imalat teknolojisi içerisinde kullanılan seramiklere ileri teknoloji seramikleri denilmektedir.

Seramik kaplamalar genel olarak [2,3];

Koruma kaplaması olarak,

Sürtünmeyi azaltıcı olarak,

Korozyon önleyici olarak,

Termal bariyer olarak,

Elektrik izolatörü, yarı iletken ve süper iletken olarak,

Genel tokluğu ve aşınma direncini arttırıcı olarak makine elemanları üzerinde kullanılmaktadırlar.

Seramikler çeşitli teknikler kullanılarak makine elemanları üzerine kaplanmaktadır. Plazma spreyleme yöntemi, İyon implantasyon yöntemi, Mineleme-parlatma ile kalın katman uygulaması, Sol-Jel yöntemi ve sıklıkla kullanılan ısı püskürtme tekniğidir. Isıl püskürtme tekniğinde, ısıtıcı cihaz yardımıyla kaplama malzemesi ısıtılarak ergitilir. Ergiyik parçacıkları çıkış nozulunda hızlandırılarak kaplanacak malzeme yüzeyine yönlendirilerek aktarımı sağlanır ve kaplama işlemi gerçekleşmiş olur.

Bu çalışmada makine elemanları yapımında ve kaplama olarak kullanılan seramik malzemeler açıklanmıştır. Silindir gömleği ve pistonlar için genel olarak kullanılan yöntemler incelenmiş ve uygulama neticeleri açıklanmıştır.

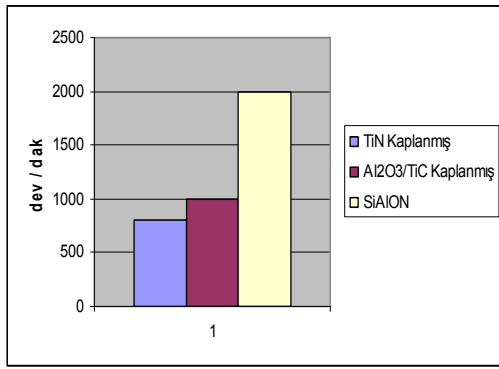
1.1. Yapısal Seramikler ve Seramik Kompozitler

Yapısal seramikler olarak ifade edilen seramik türevleri, üstün sürtünme kabiliyetleri nedeniyle motor parçaları, türbin kanatları, türbin rotorları ve sevk parçaları olarak kullanılmaktadırlar. Motorlarda uygulama alanı bulan kısmen stabilize edilmiş Zirkonya (PSZ) gibi oksit kaplamaların termal genleşme katsayısı dökme demirinkine neredeyse eşit olduğundan motorlarda yanma odası cidarı silindir gömlekleri, silindir kafaları ve manifold çıkışlarında ince film kaplama olarak kullanılmaktadırlar[3-5]. Gaz türbinlerinde kanatlar ve çıkış elemanları için en büyük sorun olarak soğutma problemi ortaya çıkmaktadır [3]. Bu ve benzer işlemlerde soğutma sistemine gereksinim duymayan Si_3N_4 seramik türevinden imal edilmektedir. Ni esaslı süper alaşım olarak ifade edilen malzeme ile kıyaslandığında Si_3N_4 seramik türevinin verimi daha fazla buna ilave olarak daha hafif bir tasarıma olanak vermektedir. Yapılan son araştırmalara bakılarak Si_3N_4 esaslı turbo şarjların kullanıldığı motorların motorun ilk çalışmasından itibaren görev kısıtlaması olmamakta böylelikle ilk hareket akabinde turbo şarj göreve girmektedir. İlk ivmelenmenin ve gerek duyulan andaki ivmelenmenin yeterli olan seviyelerin üzerine çıkması sağlanmaktadır. Bir motor üzerindeki tüm parçaların tamamen seramik kompozitlerle değiştirilmesi çalışma sıcaklık değerlerini $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ler seviyesine çıkartabilecektir. Bu değer özellikle jet motorları için önemli bir verim elde etme noktasının sağlanması anlamına gelmektedir [3, 4].

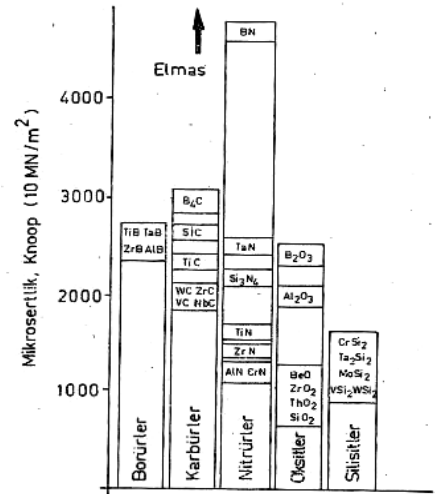
1.2. Seramik Kesici Takımlar

İleri teknoloji seramiklerinin sertlikleri yüksek değerlerde olduğu için aşınma dirençleri yüksek malzemelerdir. Bu tok yapıları ve malzeme direnç özellikleri nedeniyle kesici takımlarda kesme ucu bölgelerinin kaplanması yada takılabilir uçlar olarak tasarlanmışlardır. CVD adı verilen

bu kaplama şeklinde kullanılan kesici takımlar, 1969 yılında metal kesme işlemindeki üretim etkinliği getirmesi için kullanılmıştır [6]. Tipik performansı klasik kaplamasız kesiciye göre % 300'e varan artış sağlaması ve % 50'ye [7] varan kesme hızı artışı getirmesi seramik kaplamaların önemini daha da cazip kılmıştır. Günümüzde kaplamalı takım kullanımı yaklaşık olarak % 70 seviyesindedir. Başlangıçta sadece TiC kaplamalı ürünler kullanılmasına karşılık bu grupta Al_2O_3 , Al_2O_3/TiC , Al_2O_3/SiC ve SiAlON seramik türevleri eklenmiştir. Gerek kaplama tekniklerinin gelişmesi gerekse malzeme hazırlamadaki gelişmeler neticesinde farklı kompozitlerin karışımı ve uygulaması mümkün olmuştur. Böylelikle imalat işlemlerinde ve uygulamalarında çok yüksek tokluktaki malzemelerin dahi kesicinin dayanım sınırlarını zorlamadan işlemlerin tamamlanması sağlanabilmektedir. Seramik kesici takımların türevleri çalışmanın devam eden konusunda detaylı olarak açıklanacaktır. Şekil 1.1 üzerinde kesme hızlarının kıyaslaması verilmiştir. Şekil 1.2' de ise ileri teknoloji seramikleri guruplara ayrılmış ve mikro sertlik değerleri verilmiştir.



Şekil 1.1. Seramik takımların kesme hızları



Şekil 1.2. İleri teknoloji seramiklerinin mikro sertlik değerleri [4]

1.3. Uzay Sanayi Seramik Malzemeleri

Uzay mekiklerinde kullanılan ince seramik plakalar yapılarında fiber bulundurmaktadır. Üzeri silika kaplanarak elde edilirler. Fiberler sahip oldukları gevşek yapı sayesinde kaplandıkları seramik plakaların içi % 95 [4-8] hava bulunmaktadır. Gevşek yapıdan dolayı tanecikler arasındaki mesafe büyük olduğundan bu boşluklar hava ile dolmaktadır. Bu yapı sayesinde ısı iletimi meydana gelmez. Moleküller arasındaki mesafe nedeniyle ısı geçişi olmaz. Bu yapı aynı zamanda bu tür malzemelere hafiflik katmaktadır. Düşük yoğunluğu nedeniyle bu seramik malzemeler 1700 °C' lere varan bir ısı dayanımı sağlamaktadır. Aşırı sürtünme ve özellikle uzay sanayi için atmosferik yapıdan çıkıştaki anlık aşırı değişimlere dayanımı silika kaplı fiberlerin kullanım alanları olarak ifade edilebilir.

1.4. Diğer Seramik Malzeme ve Kompozitler

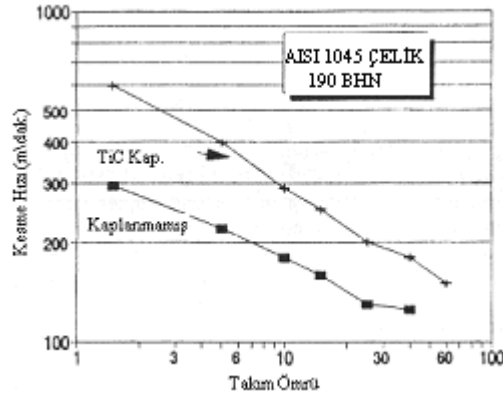
Makine sanayi haricinde diğer alanlarda da kullanılan seramik türevleri mevcuttur. Süper iletken seramikler, elektrik akımına karşı direnci olmayan ve akıyı kabul etmeme özelliği bulunan malzemelerdir. Füzyon enerjisinden bilgisayarların kapasitelerinin artmasını sağlayan teknolojiye kadar neredeyse sınırsız uygulama alanı mevcuttur [9]. Aşınma ve eksilmeye karşı dirençli olmaları seramiklerin tıbbi kullanım alanlarını da beraberinde getirmektedir. Diş protezi, kemik yapısal protezi gibi kullanım alanları vardır. Si_3N_4 , Al_2O_3 gibi seramik implantlar uygun biçim ve kontrol altında sinterleme işlemine tabi tutularak yapısında bir miktar prozite bırakılır [7, 10]. Böylelikle kemiğin bu safhaya intikali ve geçişi sağlanarak kaynaşması gerçekleşir.

2. GENEL SERAMİK KAPLAMA MALZEMELERİ

2.1. Titanyum Karbür (TiC) Kaplamalar

Dökme demir ve çelik için kaplama yapılarak yüzey koruması sağlanmaktadır. Özellikle kesici takımlarda kaplamasız ve aynı kaplamalı çeliğin performansı üzerine pek çok araştırma yapılarak kesme hızında getirdiği artış ve uzun takım ömrü açıklanmıştır. Kesme hızında, kaplamasız aynı malzemedeki kesici takım' a göre % 50 - % 100 artış sağlamak ve takım ömrünü ise % 200 - % 400 arasında arttırmaktadır [11]. Bu değerler seramik kaplanmış takımların, imalat işleminin genel olarak maliyetini düşürdüğü ve önemli bir ekonomiyi elde edilen kaliteye göre sağladığının göstergesi olarak kabul edilebilir.

TiC kaplama işlemi için kaplama sıcaklığı 950°C–1100°C arasındadır. Hacmen % 1-5 arasında TiCl₄ titanyum kaynağı olarak, hacmen % 2-5 arasında CH₄ karbon kaynağı olarak kullanılmaktadır. TiC kaplanmış ve kaplanmamış AISI 1045 190 BHN takım çeliğinin kesme hızlarına göre takım ömrü grafiği şekil 2.1' de verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere % 100 ila % 400 arasında aynı şartlarda kesme hızına göre fayda sağladığı belirlenmiştir [11]. Kesme hızının yüksek olarak aynı işlemin yapılması zaman ve yüzey pürüzlülük değerlerini önemli ölçüde iyileştirecektir.



Şekil 2.1. TiC kaplamalı ve kaplamasız kesici için takım ömrü – kesme hızı grafiği [11]

2.2. TiN Kaplamalar

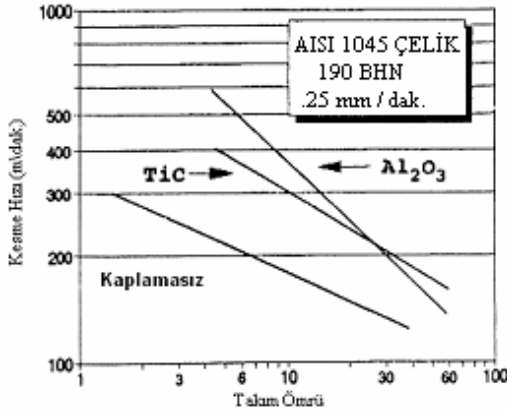
1970' li yılların başında kesiciler arasındaki altın sarısı rengeyle belirli olması, kesme işleminde kesme sürtünme sabitini azaltması ve kaplama rezistansını arttırmak için denenmeye başlamıştır. Aynı kalınlıktaki TiC kaplamaya göre az yanak kaplama direnci ve büyük ağız kaplama direnci olduğu metal işleme verilerinden anlaşılmaktadır [11]. Genellikle çoklu kaplamalarda son kat kaplaması olarak kullanılırlar. Bunun nedeni, düşük takım devirlerinde de en iyi sonucu vermeleri ve altın rengi ile ayırt edilebilmeleridir. Bunun yanında alt katman kaplaması olarak da az miktarda kullanılmaktadırlar ancak kaplanacak yüzeye genel de ilk katman olarak kaplanmazlar.

2.3. Alüminyum Oksit (Al₂O₃) Kaplamalar

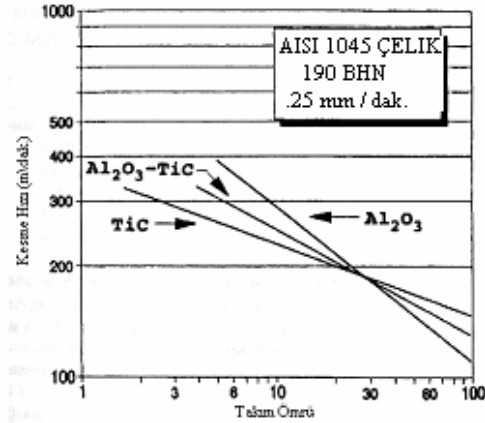
Alüminyum oksit kaplamalar başarılı seramik kaplama türevlerindedir. Üstün nitelikli metal işleme performanslı, katı seramik kesiciler arasında en çok bilinen ve kullanılan tür olarak açıklanabilirler. Semente karbür kaplamalara göre daha kırılğan yapıları nedeniyle düşük gerilimli kesme işlemlerinde kullanılırlar ancak buna karşın yüksek hızlardaki işlemlerde kimyasal yapılarını muhafaza ederler. TiC ve TiN kaplamalara göre daha kolay kaplanacak yüzeye yapışmaları söz konusudur. Alüminyum oksit seramik türevlerini üç ana grupta toplayabiliriz. Birinci grup olarak %10 kadar oksit ve karbür içeren titanyum, magnezyum, molibden, krom, nikel, kobalt gibi alüminyum oksitlerdir. Karma kompozit üretimi soğuk presleme ve devamında sinterleme ile elde edilirler. İkinci grup saf alüminyum oksitlerdir ve sıcak presleme ile imal edilirler. Üçüncü grup, TiC, SiC gibi %25–30 refrakter karbür içerenler olarak adlandırılır ve sıcak presleme ile üretilirler.

2.4. Çoklu Katman Kaplamalar

TiC, TiN ve Al₂O₃ kaplamalar tek başlarına kullanışları araştırmanın önceki bölümünde açıklanmıştır. Her biri tek başına kullanıldıklarında farklı eksiklikleri ile metal işleme ve makine elemanları üzerinde kullanımlarında çeşitli eksikliklerle ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.2' de TiC ve Al₂O₃ kaplamalarının tek başlarına etkileri kaplamasız AISI 1045 190 BHN takım çeliği için göre gösterilmiş, şekil 2.3' de ise aynı takım malzemesi için çoklu katman olarak kaplanmış takım malzemesinin değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi çoklu katman kaplama sonuçta ortalama değerde işleme sonuçlarına ulaşmıştır. Çok katmanlı kaplamanın kalınlık ve tokluk eksikliklerine karşın istenilen sınır değerlerinde işleme için ideal olacağı söylenebilir.

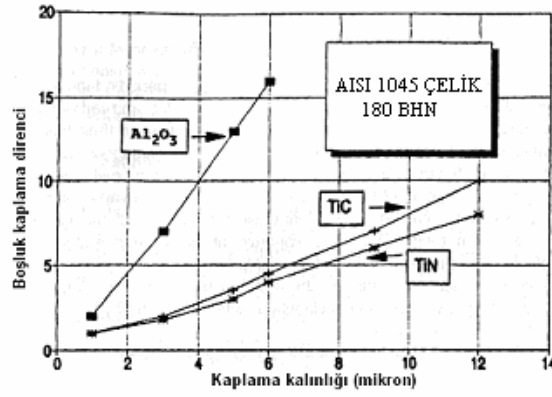


Şekil 2.2. TiC ve Al₂O₃ kaplamaların kıyaslanması[11]



Şekil 2.3. TiC ve Al₂O₃ kaplamaların TiC-Al₂O₃ çoklu katman kaplama kıyaslaması[11]

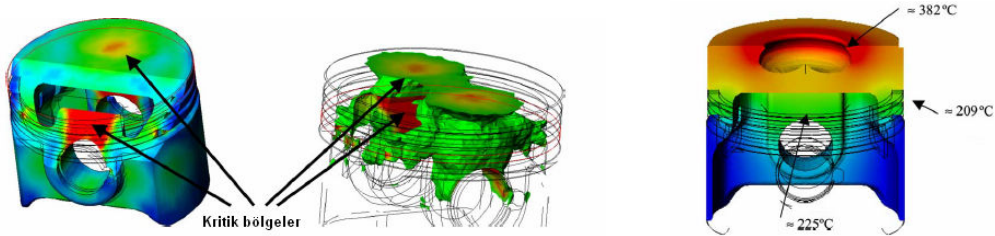
Seramiklerde kaplamanın kalınlığı önemli bir unsurdur. Kaplamanın gereğinden çok fazla olması kesme aşırı güçsüzlük meydana getireceği için kesici bölgede kırılğan yapı oluşmasına ve kırılmalara neden olur. Çatlaklar kristal yapının bozulması ile ısı artışı ile kaplanan yüzeye kadar ilerleme ve işleme performansında eksilmelere neden olabilmektedir. Kaplamanın kalınlığının az olması ise yeterli işleme direncinin oluşmamasına, kaplamanın yüzeyden sıyrılmasına ve kesmede talaş meydana gelmemesinden dolayı oluşan sürtünme neticesinde yanmalara neden olabilmektedir. Özellikle tekstil sanayinde iplik akış yüzeylerinde kullanılan kaplama neticesinde meydana getirilen akış yüzeylerinde, gereğinden az kaplama neticesinde zamana bağlı olarak gerek yüzeyde gerekse iplikte hasarlar oluştuğu belirlenmiştir. Tüm bu olumsuzluklardan dolayı optimal olarak kaplama kalınlığı belirlenmelidir. Kaplama kalitesinin iyi olması ve kullanılan kaplama malzemesine göre uygun kalınlık uygulama yapılacak yer için belirlenmelidir. Toleranslar uygulama yerlerinde istenilen takım ömrüne göre değişmektedir. Özellikle uzun süreli kullanım istenilen iplik tablası, silindir bloğu, segman gibi yapılar için farklı toleranslar belirlenmiştir. Şekil 2.4' de kaplama kalınlığının boşluk direncine göre değerleri açıklanmaktadır. Çoklu katman kaplamasında genellikle her bir katman için 3 mikron kalınlık seviyesi aşılmamaktadır. Bununla beraber toplam katman kalınlığı 7-15 mikron arasında sınırlandırılması ölçüm ve hesaplamalar neticesinde genel değer olarak alınmaktadır [11].



Şekil 2.4. Boşluk direncinin kaplama kalınlığına göre seramik türevlerine göre değişimi [11]

3. MAKİNE ELEMANLARI ÜZERİNDEKİ SERAMİK KAPLAMA UYGULAMALARI

İçten yanmalı motorlarda piston ve motor bloğu gömleği gibi birbirine çalışan yüzeylerin sürtünmeleri ve birbirlerini zamanla bu netice ile aşındırmaları çok önemlidir. Bir motorun rölanti devri ortalama 600 dev/dak. olarak belirtilebilir [12, 13]. Bu devir sayısı krank milinin dakikadaki dönme adedidir ve pistonun yuvasında hareket sayısı olarak da verilebilir. Motorun ilk çalışması esnasında ya da anlık zorlanmalarında yetersiz yağlama ve aşırı yanma olayından dolayı sıkışmalar olabilir. Bu esnada motor bloğu içinde yıpranmalar görülebilir. Bir piston için kritik noktalar; yanmanın tesir ettiği üst yüzey, biyel kolunun pim ile bağlandığı noktalar ve segmanların yerleştirilmesi için piston yan yüzeyine açılmış segman kanallarıdır. Çalışma esnasında bölgesel olarak farklı sıcaklık eğrileri oluşmaktadır. Yüzeyde ortalama 400 °C, biyel pimi bölgesinde 250°C ve segman kanallarında da 210°C civarında sıcaklık meydana gelmektedir. Bilgisayar destekli tasarım modeli verilen piston üzerinde Şekil 3.1’ de bu noktalar belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Piston için kritik bölgeler ve ısı gerilim dağılımlarının gösterilmesi

Sol-gel yöntemi, plazma sprey yöntemi, iyonizasyon yöntemi gibi farklı tekniklerle kaplama işlemi yapılabilir. Genellikle plazma sprey kaplama tekniği kullanılarak piston gibi makine elemanlarına seramik kaplama uygulaması yapılmaktadır. Plazma sprey kaplama tekniği [14–17] şekil 3.2 üzerinde açıklanmaktadır. Kaplanacak malzeme otomatik plazma sprey sistemi içinde θ açısı ile döndürülür ve kaplanacak malzeme ve kaplama malzemesine göre belirlenen mesafeden bir plazma tabancasından kaplama malzemesinin kaplanacak malzemeye aktarımı ile yapılır.

Kaplama işlemi esnasında kaplamanın çatlamasına veya ana malzemedan ayrılmasına yol açan basma ve çekme iç gerilmeleri meydana gelmektedir. Bu iç gerilmelere; sprey malzemesinin homojen olmayan dağılımı, kaplama ile ana malzeme arasındaki ısı genleşme farklılığı, bağlayıcı tabakanın oksidasyonu, ana malzemenin homojen şekilde ısıtılmaması ve ana malzemenin şekil ve boyut özellikleri neden olmaktadır. Kaplamanın mukavemetini etkileyen

Tam çelik (all-steel) ağır vasıta lastiği üretimi esnasında kullanılan çelik teller çok sayıda makaralardan açılar ve makine üzerinde dokunarak bir örgü yapı elde edilir. Teller makaraların bulunduğu açıcı odasından örgü makinesine kanallar yardımıyla taşınmaktadır. Bu kanalların seramik kaplama ile kaplanmış olanları ile kaplanmamış olanları arasında ömür bakımından % 30 daha fazla çalışma saati dayandığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber çelik tellerde doğabilecek aşınma riski neredeyse tamamen ortadan kalkmaktadır. Aynı uygulama tekstil makinelerinin iplik ve kumaş akışı olan yüzeylerinde de benzer neticeler vermektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Seramiklerin makine elemanları üzerindeki uygulamaları, Isıl bariyer olarak kullanıldığında seramikler iyi sonuç vermektedir,

1. İşlem basamakları detaylı olduğundan maliyetli olmalarına karşın, kullanım ömürleri ve kesme hızı gibi diğer avantajları nedeniyle ileriki zamanlarda ekonomik olmaktadır,
2. Kesici takım olarak işleme sonucunda verdiği yüzey pürüzlülük değerleri ile yüksek kesme hızlarına uygunlukları büyük avantaj sağlamaktadır,
3. Kaplandıkları yüzeyde dış etkenlere karşı ilave koruyucu gerektirmemektedir,
4. Tokluk dezavantajlarına rağmen yüksek direnç sağlamıştır,
5. Motor bloğu, piston ve segman yapılarında soğutma eksikliğini, ısı dağılım dengesizliğini ve anlık gerilim değişikliklerine kaplama yapılmamış olan benzerlerine göre gidermiştir,
6. Kullanıldıkları işlem ve uygulamalarda ilave soğutma elamanın gerektirmemektedirler.

KAYNAKÇA

- [1] Akkurt, M., Makine Elemanları Cilt 2, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1986
- [2] Trent, E.M., 1977, Metal Cutting, London
- [3] Wachtman, J.B., Jr. and Haber, R.A., Chemical Engineering Progress. Pp. 39-46, Jan., 1986
- [4] Lang, E.(Ed.), Coatings for High Temperature Applications, Applied Science Publishers, 1983
- [5] Somiya, S., Advanced Technical Ceramics, Academic Press, Inc. Tercüme baskısı, 1989
- [6] Easterling, K., Tomorrows Materials, The Institute of Metals, London, 1988
- [7] Wilson, R., Iron Age, November, 1970
- [8] Lee, C., et al. Thin Solid Films 86 pp. 64-71, 1981
- [9] Wachtman, J. B., Jr. And Haber, R. A. (editors), Ceramic Films and Coatings, Noyes Publications, New Jersey, 1992
- [10] Tummala, R. R., Ceramics in Microelectronic Packing, Advances in Ceramics, 26:3, 1989
- [11] Chapra, D. L. and Kaur, I., Thin Film Device Applications, Plenum Press, 1983
- [12] Hale, T., Int. Machine Tool Show Technical Conference, Sep., 1982, Peterson, J., J. Vac. Sci. Technology, 11:4, July/August 1974
- [13] Zhao, F., Lai, M. C., Harrington, D. L., Automotive Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines, Progress in Energy and Combustion Science, USA, 1999
- [14] Toyota, Teknik Verileri, www.toyota.com, 2005
- [15] Gross, B., Gryez, B. and Miklossy, K., Plasma Technology, Liffé Boks, London, 1968
- [16] Chon, T., Bancke, G.A., Herman, H. and Gruner, H., Thermal spray-Advances in Coatings Technology, pp 329-334 ASM International, Cleveland, 1988
- [17] Herman, H., Berndet C. C. and Wang H., Plasma Spreyed Ceramic Coatings, Ceramics Films and Coatings, Ceramic Films and Coatings, Noyes Publications, New Jersey, 1992
- [18] Üstel F., Plazma Sprey Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994
- [19] Grundling, H.W., Mechanical Properties of Coated Systems, Material Science&Tech., 88, 1987
- [20] Parlak, A., Yaşar, H., Gören, R., İçten Yanmalı Dizel Motorlarında Seramik Kaplama Kusurları Ve İyileştirme Yöntemleri, www.obitet.gazi.edu.tr, 2005
- [21] Smith-Thomas, Kh.G., and Dietl, U., "Thermal Barrier Coatings with Improved Oxidation Resistance", Surface and Coating Technology, 68 69, p.113-115 1994
- [22] Taymaz I., Cakır, K. and Mimaroglu, A., Experimental Study Of Effective Efficiency İn A Ceramic Coated Diesel Engine, Surface and Coating Technology, 200 pp. 1182-1185, 2005