

Plazma Ortamına İyon Aşılama Yöntemi, Genel Prensipleri ve Uygulama Alanları

*İbrahim Etem SAKLAKOĞLU, Nurşen SAKLAKOĞLU
Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*

GİRİŞ

Plazma kendine has özellikleri olan, maddenin yüksek enerjili halidir. Plazmanın bu enerji konumundan yararlanılarak, diğer klasik üretim yöntemleri ile mümkün olmayan üretimler yapılabilmektedir. Teknolojide ileri ülkeler plazmadan imalat sektöründe çok geniş bir alanda yararlanmaktadır. Plazma ortamının kullanıldığı önemli alanlardan biri de yüzey mühendisliğidir.

Yüzey mühendisliği, özellikle sürtünmenin söz konusu olduğu makina elemanlarında ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak, metal elemanların ve takımların yüzey ve yüzeye yakın yerlerinde daha iyi mekanik özellikler ve fonksiyonellik elde etmek amacıyla son yıllarda endüstriyel uygulamalarda ihtiyaç duyulan bir yöntem haline gelmiştir. 1982 yılında Amerikan Ulusal Teknoloji Enstitüsü'nün araştırmasına göre korozyon ve aşınmadan kaynaklanan zararın, gayri safi milli hasılanın %6'sını (178,5 milyar dolar) teşkil ettiği görülmüş ve bu yöndeki çalışmalara ağırlık verilmesi önerilmiştir.

Yüzey işlemleriyle malzemenin sertlik, yorulma gibi mekanik özelliklerinin yanında sürtünme ve aşınma, oksidasyon ve korozyon gibi özellikleri de geliştirilebilmektedir. Son yıllarda araştırma ve geliştirme çalışmaları kaplama tekniklerinin yanı sıra, plazma nitrüleme ve iyon aşılama üzerine odaklanmıştır. Bugün plazma nitrüleme özellikle çeliklerin yüzey iyileştirmesi için imalat sektörünün pek çok alanında oldukça geniş kullanım alanı bulurken, iyon aşılama bazı ümit verici sonuçlarına rağmen, endüstride pek az sektörde yer alabilmektedir.

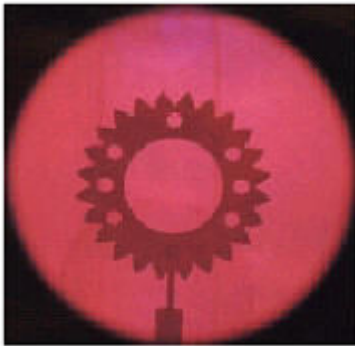
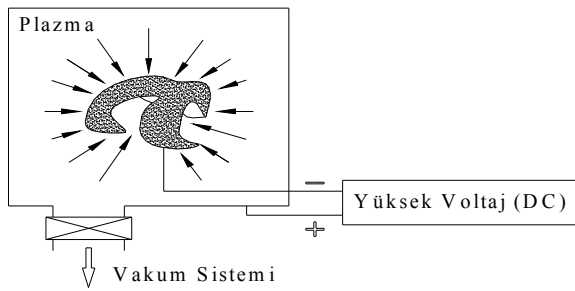
Son 20 yıldan fazladır A.B.D.'de ve buradan bağımsız olarak Avustralya'da bu iki teknolojinin kısıtlamalarını ortadan kaldıran ve avantajlarını bir araya getiren karma bir teknik üzerine gelişmeler yaşanmaktadır. Bu teknoloji A.B.D.'de plazma kaynaklı iyon aşılama (plasma source ion implantation - PSII) olarak, Avustralya'da ise plazma ortamında iyon aşılama (plasma immersion ion implantation - PIII veya PI₃) olarak adlandırılmıştır. Son zamanlarda bu yeni teknolojinin önemi Avrupa'da da fark edilmeye başlanmıştır. Özellikle Almanya da bu gelişmeleri yakından takip etmektedir ve yaklaşık 10 yıldır Avustralya Nükleer Bilim ve Teknoloji Kurumu tarafından kurulmuş olan endüstriyel boyutlara yakın bir PI₃ sistemi sahibidir.

Bu yöntem A.B.D. ve Avustralya dışında yalnız Avrupa'da değil, izleyen yıllarda Japonya, Çin, Hindistan gibi uzakdoğu ülkelerinde de ilgi görmüş ve çeşitli üniversite ve laboratuvarlarda araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu makalede, *Plazma Ortamında İyon Aşılama* terimi benimsenmiş olup, bu yönteminin genel prensipleri ve uygulama alanları ele alınmıştır.

PLAZMA ORTAMINDA İYON AŞILAMA YÖNTEMİ

Plazma ortamında yüzey iyileştirme teknikleri bir çok ad veya içerik altında bilinir. Plazma Ortamında İyon Aşılama, Plazma İyon Aşılama, Plazma İyon Kaplama, Plazma İyon Aşılama ve Biriktirme, Metal Plazma İyon Aşılama ve Biriktirme. Bu yöntemlerin tamamı plazma ortamında gerçekleştirilen yüzey iyileştirme teknikleridir.

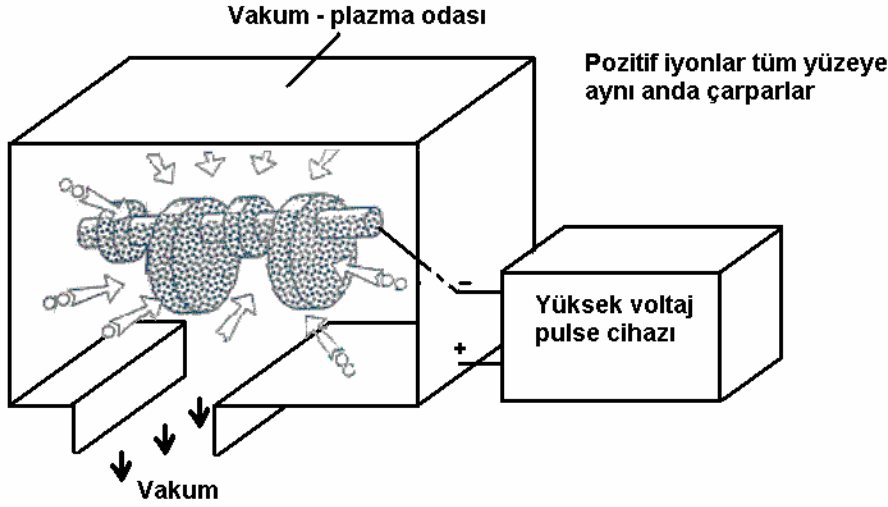
PIII yönteminin en önemli avantajı karmaşık geometrili parçaların iyileştirilebilmesidir. PI₃ tekniği üzerine çalışmalar ilk olarak metal yüzeylerin paslanma ve aşınmaya karşı dayanıklılıklarının artması ve ileticilerin elektriksel iletkenliklerinin artırılması ile başlamıştır.



Şekil 1. PI₃ Sisteminin Çalışma Prensiplerinin Şematik Gösterimi ve Bir Çarkın PI₃ Yöntemi ile Sertleştirilmesi Sırasında Oluşan Görüntüsü (Pembe-Mor Renkli Ortam Plazma)

Bir PI₃ sistemi, iş parçası fazı, plazma üretici ve yüksek voltaj puls modülatörüne sahip bir vakum odasından oluşur. PI₃ işleminde iş parçası plazma ortamındadır ve plazma potansiyeline göre yüksek eksi voltaja şok (puls) edilir. Uygulanan eksi voltaj elektronları iş parçasından

uzaklaştırırken, artı iyonları plazmadan iş parçasına doğru hızlandırır. Şekil 1'de plazma ortamında iyon aşılama yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.

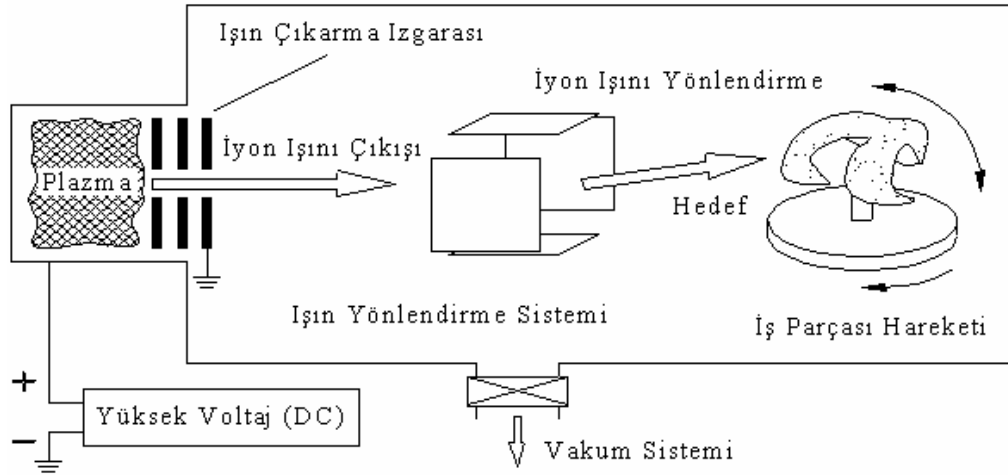


Şekil 2. Tipik Bir PI3 Sistemi Şeması

Tipik bir PI₃ sisteminde (Şekil 2) uygulanan yüksek eksi voltaj 1 kV ile 100 kV arasında değişebilir. Yarı iletken uygulamalarında düşük voltajlar kullanılırken metalürjik uygulamalarda daha yüksek değerler kullanılır. İş parçasında ark oluşabildiğinden, voltaj puls halde uygulanmaktadır.

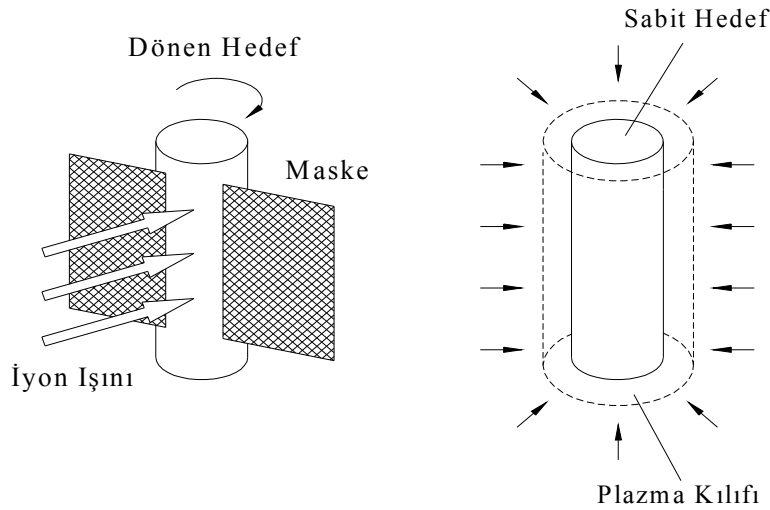
GELENEKSEL İYON IŞINI AŞILAMA İLE PI₃'ÜN KARŞILAŞTIRILMASI

Geleneksel iyon aşılama yöntemi, plazmadaki iyonların hızlandırma ızgaralarından geçirilerek hızlandırılması ve iyon ışını demeti halinde bir ışık hattı boyunca iş parçası yüzeyine bombardıman edilmesi esasına dayanır. Bir başka deyişle; iyonlar malzeme yüzeyine dik gelirler ve görüş hattı boyunca yüzeyden içeriye girerler. Eğer iş parçası düzlemsel değilse, yani karmaşık bir geometriye sahipse, bütün yüzeylerinin aşılabilmesi için iş parçasının aşılama işlemi sırasında parça geometrisine uygun olarak döndürülmesi gerekir. Bu da yöntemde karmaşıklık katar ve işlem maliyetini yükseltir (Şekil 3).



Şekil 3. Geleneksel İyon Aşılama Yönteminin Şematik Gösterimi

Plazma ortamında iyon aşılama, geleneksel iyon aşılama teknolojisinden farklı bir sistemdir. PI₃ yöntemi, geleneksel iyon ışını aşılama yönteminde bulunan görüş hattı kısıtlamasını da giderir. PI₃ tekniğinde, yüzeyi aşılacak olan iş parçası plazma ortamına yerleştirilir (daldırılır). Parçaya darbeler (puls) halinde uygulanan yüksek eksi voltaj artı yüklü iyonları hızla kendisine çektiğinden aşılama gerçekleştirilir.



Şekil 4. Geleneksel İyon Işını Aşılması ile PI₃ Tekniğinin Karşılaştırılması

Geleneksel iyon aşılama gelen iyon ışını yüzeye dik çarptığı zaman aşılama en iyi seviyede gerçekleşir. İyon ışınının gelme açısının normal yüzeye göre en fazla 20° ile 30°'lik sapma yapmasına izin verilebilir ve bunun için iş parçasında maskeleme kullanılmalıdır (Şekil 4). Aksi halde aşılama sırasında aşılama ziyade yüzeyden saçılma meydana gelir. İş parçası maske kullanımı için yeterince simetrik bir yapıya sahip olsa bile, maskeleme işlemi sistem performansını düşürür, çünkü maskenin üstünden sıyrılan ışın parçası üretim veriminde bir kayıp oluşturur. Bunun

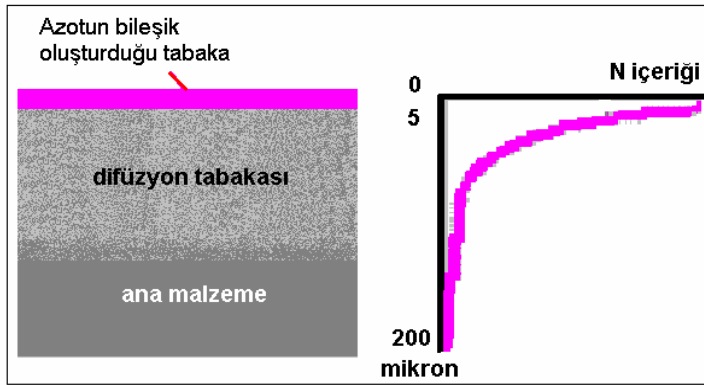
yanında, maskenin malzemesi iş parçası malzemesinin aynısından yapılmadığı sürece maskenin saçılması iş parçasını kirletebilir.

PLAZMA NİTRÜLEME İLE PI_3 'ÜN KARŞILAŞTIRILMASI

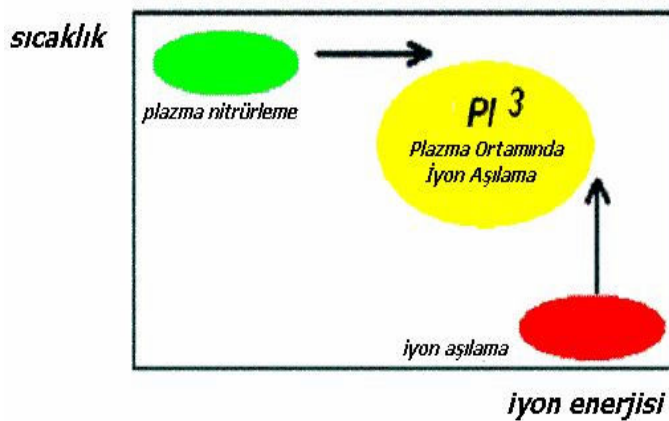
Nitrüleme yöntemiyle yüzey sertleştirmenin getirileri tartışılmazdır. İşlem teorik olarak 400-600 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilen, elektriksel olarak iletken malzeme yüzeyine azot arayer atomunun yayınma işlemidir. Nitrülemede azotun malzeme içersindeki dağılımı şekil 5' te şematik olarak gösterildiği gibi gerçekleşir. Nitrüleme işlemi kısaca;

- azotun metalik yüzeye difüzyon yoluyla girdiği termomekanik bir işlemdir,
- yakın yüzeyde nitrürlü bileşikler oluşur,
- azot geniş bir difüzyon tabakası içerisinde katı çözeltide bulunur

şeklinde özetlenebilir.



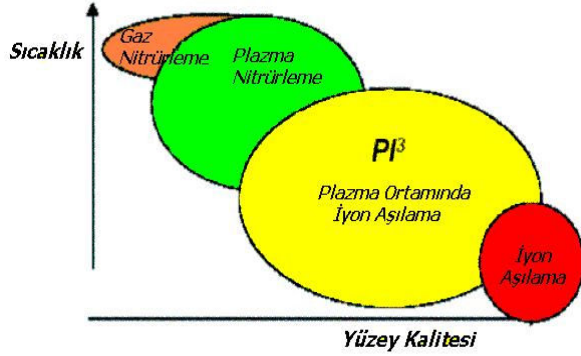
Şekil 5. Nitrülemenin Şematik Tanımı



Şekil 6. PI_3 ' te İşlem Sıcaklığına Bağlı Olarak İyon Enerjisi Değişimi

PI_3 yöntemi, plazma nitrülemeye göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Bu ise ana malzemenin yapısını değiştirmeden ve hemen hemen hiç çarpılma gerçekleşmeden işlemin tamamlanması anlamına gelir. Yani, son işlem olarak uygulanabilir. PI_3 yönteminde genellikle saf

azot kullanılır ve işlem plazma nitrürlemeden yaklaşık 3 kat daha düşük basınçta gerçekleştirilir. İyonlar yüksek voltaj darbeleri ve düşük basınç ortamında iş parçası yüzeyine hızla çarparak yüzeyden içeriye girerler. Şekil 6' da iyon enerjileri ve işlem sıcaklığı açısından plazma nitrürleme, geleneksel iyon aşılama ve PI₃ yöntemi karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 7. PI₃'te İşlem Sıcaklığına Bağlı Olarak Yüzey Kalitesi Değişimi

Şekil 7' de PI₃' de işlem sıcaklığına bağlı olarak yüzey kalitesi değişimi diğer yöntemlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yüzey kalitesinin oda sıcaklığı yöntemi olan iyon aşılamaya çok yakın olması, yöntemin büyük bir avantajını oluşturmaktadır. Plazma nitrürlemenin, geleneksel iyon aşılamanın ve PI₃' ün dikkat çeken özellikleri Tablo 1'de karşılaştırılmıştır.

PROSES	VOLTAJ (kV)	AKIM YOĞUNLUĞU (mA/cm ²)	BASINÇ (Torr)	SICAKLIK (°C)
Plazma nitrürleme	0.3-1.0	0.5-3.0	0.1-10	350-600
Geleneksel iyon aşılama	10-400	0.001-0.03	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁷	<100
PI ₃	40-50 (puls)	1-4	10 ⁻³	150-500

Tablo 1. Nitrürleme İşlem Değişkenleri

PI₃ YÖNTEMİNİN UYGULAMA ALANLARI

İlk ticari iyon aşılama uygulaması, yarı iletken endüstrisinde 1970'li yıllarda gerçekleşmiştir. Yarı iletken endüstrisinde iyon aşılama uygulaması transistörlerin, metal oksit yarı iletkenlerin, diyodların ve kapasitörlerin imalinden bugünün mikroişlemci cihazlarının üretimine kadar yaygın şekilde uygulanmaktadır. Günümüzde, iyon aşılama malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesinde güçlü bir metot olarak tanımlanmaktadır. Tüm dünyada ileri araştırma laboratuvarlarında iyon aşılama tekniği üzerinde araştırmalar sürdürülmektedir. Yeni aşılama

tekniklerinin geliştirilmesi ile iyon aşılamanın kullanım maliyetleri daha ekonomik hale getirilmiş ve endüstriyel uygulamaları artmıştır.

Aşınma dayanımı, sertlik, sürtünme, yorulma ömrü, kırılma gevrekliği, oksidasyon (korozyon) dayanımı, hidrojen kırılma dayanımına karşı dayanım ve optik özellik gibi bazı yüzey karakteristiklerinin iyileştirilmesi için başta metal malzemeler olmak üzere daha çok çelik, seramik, plastik, karbür, titanyum ve cam malzemelere uygulanan PI_3 yöntemi oldukça iyi yüzey özellikleri sağlamıştır.

PI_3 yöntemi, ticari alanda varlığını sürdürebilir uygulamaların başında gelen bir yöntemdir. PI_3 sistemiyle özellikle mekanik uygulamalarda geniş ölçekli boyutlarda ve karmaşık yapılarda yüksek verim elde edilebilmektedir. Yani büyük, ağır, geniş ve karmaşık iş parçalarının yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde PI_3 yöntemi geleneksel iyon ışını aşılama yöntemine nazaran daha avantajlıdır. Aynı zamanda mikro elektronik uygulamalarda da isteğe göre düşük iyon bombardıman enerjileri ile yüksek verim elde edilebilmektedir.

Araştırmalar ve yapılan çalışmalar, PI_3 yönteminin endüstriyel uygulamalarda oldukça başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Henüz yeni bir teknik olan PI_3 yöntemi, kısa sürede büyük ilerleme kaydetmiştir ve her geçen gün daha çok ilgi çeken ve araştırılan bir konu haline almıştır.

Bugün için en geniş PI_3 sistemi A.B.D. Los Alamos Laboratuvarındadır. Buradaki PI_3 sistemi 8 m³'lük bir işlem odasına (uzunluk yaklaşık 4,5 m., çap yaklaşık 1,5 m.) sahiptir. PI_3 sistemi tarafından aşılana, yani yüzey işlemi gören en ağır iş parçası, ağırlığı yaklaşık bir ton civarında olan General Motors'a ait bir kalıp bloğudur. Yine PI_3 sistemi ile topluca işlem gören en büyük sayıda iş parçası General Motors için 1000 adet pistonun aynı anda iyileştirilebilmesidir.

Şirket	Uygulama Alanı
Varian, Palo Alto, Cal. A.B.D.	Mikroelektronik
Silicon Genesis, Campbell, Cal. A.B.D.	Mikroelektronik
Panasonic, Osaka, Japonya	Mikroelektronik, Triboloji
Ionex, Traverse City, Michigan, A.B.D.	Otomotiv Sanayi
PVI, Oxnard, Cal. A.B.D.	Uzay San., Mikroelektronik, Optik Kaplama
Empire Hard Chrome, Chicago A.B.D.	Otomotiv, Döküm Endüstrisi
ANSTO, Sydney, Avustralya	Triboloji
Diversified Technologies, Boston A.B.D.	Genel
North Star Research Corp., New Mexico A.B.D.	Genel

Tablo 2. PI₃ Teknolojisinin Ticari Geliştiricileri ve Uygulama Alanları

Yapılan maliyet çalışmaları, PI₃ sisteminin şimdiki düşük akımlı geleneksel iyon ışını aşılmasından daha ekonomik olabileceğini göstermektedir. İlk patenti takip eden on yıl içinde, dünya genelinde 30'dan fazla enstitüde, küçük araştırma cihazlarından geniş ölçekli makinalara kadar 45'den fazla PI₃ cihazı yapılmıştır. Dünyanın ilk ticari PI₃ cihazı bir ticari krom kaplama tesisinde kurulmuştur. Tablo 2' de PI₃ teknolojisinin ticari geliştiricileri ve bu kuruluşların çalışma alanlarına örnekler verilmiştir.

SONUÇ

PI₃ geleneksel iyon aşılama ile plazma nitrüleme yöntemlerinin karma bir tekniği olarak ortaya çıkmıştır. PI₃ tekniği, geleneksel iyon aşılama yönteminin çok sığ işlem tabakası oluşturması, karmaşık parçalarda işlemin uygulanmasının zorluğu gibi dezavantajları ortadan kaldırmak aynı zamanda plazma nitrülemeden daha düşük sıcaklıklarda uygulanabilen bir yöntem geliştirme çalışmaları sonucu ortaya çıkmıştır.

Bu yöntemin ana avantajlarından biri iyon aşılama ile oluşturulan aşınmaya dirençli dengesiz bir tabakanın altında difüzyon tabakasının meydana gelmesidir. Bu, aşılama elementlerinin iş parçasının 100 mikron hatta daha fazla derinliklere kadar nüfuz etmesi anlamına gelmektedir. İşlem plazma ortamında gerçekleştirildiğinden, aşılama elementlerinin geriye difüzyonu da önlenmektedir.

Pek çok ümit verici sonuçlara ulaşılmış olmasına rağmen PI₃ henüz endüstriyel kullanıma geçememiştir. Bunun ana sebebi ise, son 10-20 yıldır yapılan tüm çalışmalar, sistemin temellerinin anlaşılması ve uygulama alanlarının araştırılması üzerine olmalıdır. Yöntemin ticarileşmesi üzerine henüz yeni yeni çalışılmaya başlanmıştır. A.B.D.'de Harley-Davidson, General Motors, Gillette, IBM gibi pek çok şirketin Wisconsin Üniversitesi ve Los Alamos Ulusal Laboratuvarı ile oluşturdukları araştırma grupları kendi ürünlerinin yüzey özelliklerini geliştirmek için PI₃ yönteminin uygulanabilirliği üzerine çalışmaktadırlar. Almanya'da Daimler Benz, Eltro, Huck yöntemle ilgilenen şirketlere örnek olarak verilebilir.

KAYNAKÇA

1. S. Karadeniz, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No: 137, ANKARA-1990
2. Handbook of Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition, Edited by Andre Anders - Lawrence Berkeley National Laboratory, John Wiley & Sons, Inc.
3. F. Berberich, W. Matz, U. Kreissig, E. Richter, N. Schell, W. Möller, Applied Surface

Science 179 (2001) 13-19

4. S. Mukherjee, P. M. Raole, P. I. John, Surface and Coatings Technology 157 (2002) 111-117

5. C. Blawert, Low Temperature Nitriding of Steels by Plasma Immersion Ion Implantation, The Thesis of Doctor of Philosophy, Faculty of Mining, Metallurgy and Mechanical Engineering of the Technical University of Clausthal, Germany, ISBN 3-89720-394-4

6. B. Larisch, U. Brusky, H. J. Spies, Surface and Coatings Technology 116-119 (1999) 205-211

7. C. Blawert, B.L. Mordike, Surface and Coating Technology 93 (1997) 274-279

8. X. Li, M. Samandi, D. Dunne, G.A. Collins, J. Tendys, R. Hutchings, Surface and Coating Technology, 85 (1996) 28-36.

9. S. Leigh, M. Samandi, G.A. Collins, K.T. Short, P. Martin, L. Wielunski, Surface and Coating Technology, 85 (1996) 37-43.

10. S.M. Johns, T. Bell, M. Samandi, G.A. Collins, Surface and Coating Technology, 85 (1996) 7-14.

11. M.P. Fewell, D.R.G. Mitchell, J.M. Priest, K.T. Short, G.A. Collins, Surface and Coating Technology, 131 (2000) 300-306,

12. G.A. Collins, R. Hutchings, K.T. Short, J. Tendys, C.H. Van Der Valk, Surface and Coating Technology, 84 (1996) 537-543.

13. G.A. Collins, R. Hutchings, K.T. Short, J. Tendys, Surface and Coating Technology, 103-104 (1998) 212-217.

14. G.A. Collins, R. Hutchings, J. Tendys, Surface and Coating Technology, 59 (1993) 267-273.