



**Tarama Makalesi
(Review)**

Yüksek Güç Darbeli Magnetron Sıçratma ile Kaplama Üretimi ve Kesici Takımlar Üzerinde Uygulamaları

Halil ÇALIŞKAN*, **Cahit KURBANOĞLU****, **Oğuz ÇOLAK*****

*Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fak., Makine Müh. Böl., 74100 Bartın/TÜRKİYE

**Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fak., Makine Müh. Böl., 32100 Isparta/TÜRKİYE

***Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fak., İmalat Müh. Böl., 32100 Isparta/TÜRKİYE

hcaliskan@bartin.edu.tr

Özet

Günümüzde, yüksek hızda kesme ve sert metal işleme gibi uygulamalar, sürdürülebilir imalat kapsamında büyük önem kazanmıştır. Bu uygulamalarda kullanılan kesici takımların aşınma ve oksidasyon dirençleri, fiziksel veya kimyasal buhar biriktirme tekniğiyle üretilen tribolojik kaplamalar ile artırılabilmesine rağmen, elde edilen performanslar yeterli görülmemekte ve daha dayanıklı kesici takımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, daha iyi yüzey özelliklerine sahip kaplamaların biriktirilebilmesi için yeni kaplama teknolojileri geliştirilmekte ve kullanılmaktadır.

Dengesiz magnetron sıçratma ve kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma ile gelişen magnetron sıçratma teknolojisi, son olarak yüksek güç darbeli magnetron sıçratma (YGDMS) adı altında kullanılmaya devam etmektedir. YGDMS metodu ile biriktirilen kaplamaların, konvansiyonel kaplamalar ile karşılaştırıldığında, üstün özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, YGDMS metodu ve bu metot ile biriktirilen kaplamaların özellikleri anlatılmış ve kesici takımların kesme performansına etkileri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Güç Darbeli Magnetron Sıçratma, Kaplama, Kesici Takım, Kesme Performansı

Coating Deposition by High Power Pulsed Magnetron Sputtering and Applications on Cutting Tools

Abstract

Nowadays, the applications such as high speed machining and hard machining have gained much importance within the scope of sustainable manufacturing. Although, the wear and oxidation resistance of cutting tools used in these applications can be increased by tribological coatings grown by physical or chemical vapor deposition technique, the performances obtained are not found enough and there is a need to more durable cutting tools. For this purpose, new coating technologies are improved and used for depositing coatings having better surface properties.

Magnetron sputtering technology, developing with unbalanced magnetron sputtering and closed field unbalanced magnetron sputtering continue to be used lastly under the name of high power pulsed magnetron sputtering (HPPMS). It is seen that the coatings deposited by HPPMS, compared to conventional coatings, have superior properties. In this study, HPPMS method and the properties of the coatings deposited by this method were explained, and their effects on the performance of cutting tools were shown.

Keywords: High Power Pulsed Magnetron Sputtering, Coating, Cutting Tool, Cutting Performance

Bu makaleye atf yapmak için

Çalışkan H., Kurbanoğlu C., Çolak O., "Yüksek Güç Darbeli Magnetron Sıçratma ile Kaplama Üretimi ve Kesici Takımlar Üzerinde Uygulamaları" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2010, (7) 57-71*

How to cite this article

Çalışkan H., Kurbanoğlu C., Çolak O., "Coating Deposition by High Power Pulsed Magnetron Sputtering and Applications on Cutting Tools" Electronic Journal of Machine Technologies, 2010, (7) 57-71*

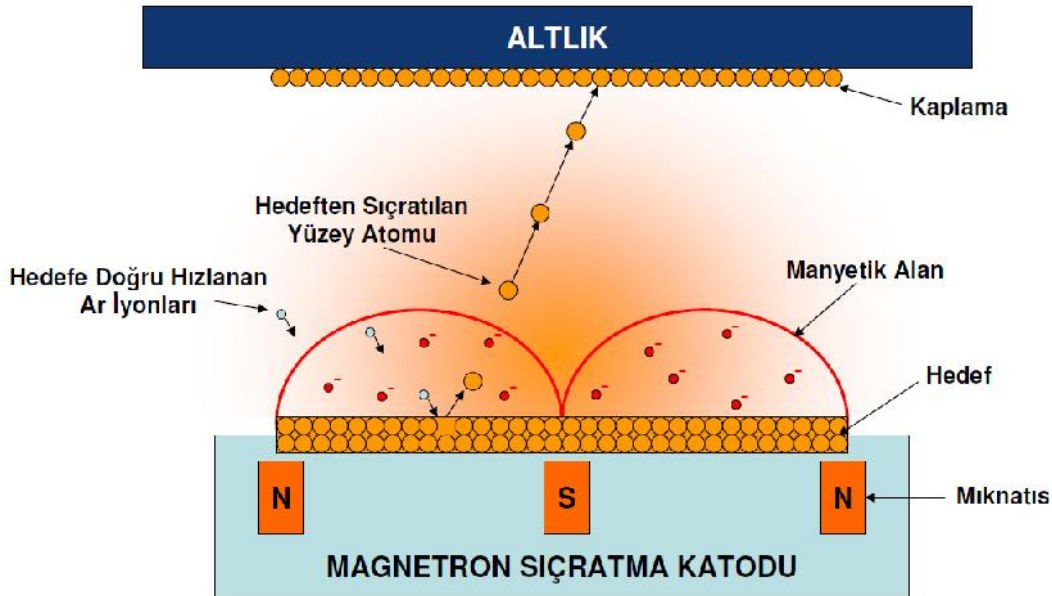
1. GİRİŐ

Günümüzde, bir parçanın yüzeyinin sürtünme ve aşınmasını kontrol etmek üzere o yüzey üzerine tribolojik kaplama uygulama işlemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çoğu durumda, amaç hem sürtünmeyi hem de aşınmayı azaltmaktır, fakat kavrama elemanları gibi yüksek sürtünme katsayısının istenen bir özellik olduğu örnekler de bulunmaktadır [1].

Katodik ark PVD (fiziksel buhar biriktirme), elektron ışın PVD, CVD (kimyasal buhar biriktirme) v.b. gibi pek çok yöntem ile tribolojik kaplamaların üretimi yapılmaktadır. PVD yöntemlerinden biri olan magnetron sıçratma, hızlı bir şekilde gelişmiş ve endüstriyel olarak önemli olan kaplamaların büyük bir kısmının biriktirilmesi için bir seçenek haline gelmiştir. Bu gelişmenin arkasındaki itici güç olarak, çeşitli sektörlerde, çok kaliteli, fonksiyonel filmler için artan bir talebin olması görülmektedir. Çoğu durumda, magnetron sıçratma ile biriktirilen filmler, diğer PVD işlemleri tarafından biriktirilen filmlerden üstün gelmektedirler ve diğer yüzey kaplama teknikleri tarafından üretilen daha kalın filmler ile aynı işlevi görmektedirler. Sonuç olarak, sert, aşınmaya dirençli kaplamalar, düşük sürtünme katsayılı kaplamalar, korozyona dirençli kaplamalar, dekoratif kaplamalar ve özel optik ya da elektriksel özelliği olan kaplamaları içine alan uygulama alanlarında magnetron sıçratma metodu önemli bir etkiye sahiptir [2].

2. MAGNETRON SİÇRATMA

Temel sıçratma işleminde, bir hedef (ya da katot) plakanın önünde bulunan bir plazma içerisinde oluşturulan enerjik iyonlar, bu hedefi bombardıman etmektedir. Böylece, bombardıman işlemi ile hedef atomları kopartılmakta veya sıçratılmaktadır. Daha sonra bu atomlar ince bir film olarak bir altlık (kaplanacak yüzey) üzerinde birikmektedirler (Şekil 1) [2]. İyon bombardımanının bir sonucu olarak ayrıca ikincil elektronlar hedef yüzeyinden yayılmaktadır ve bu elektronlar, plazmanın sürdürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır [3].



Şekil 1. Magnetron sıçratma işlemi

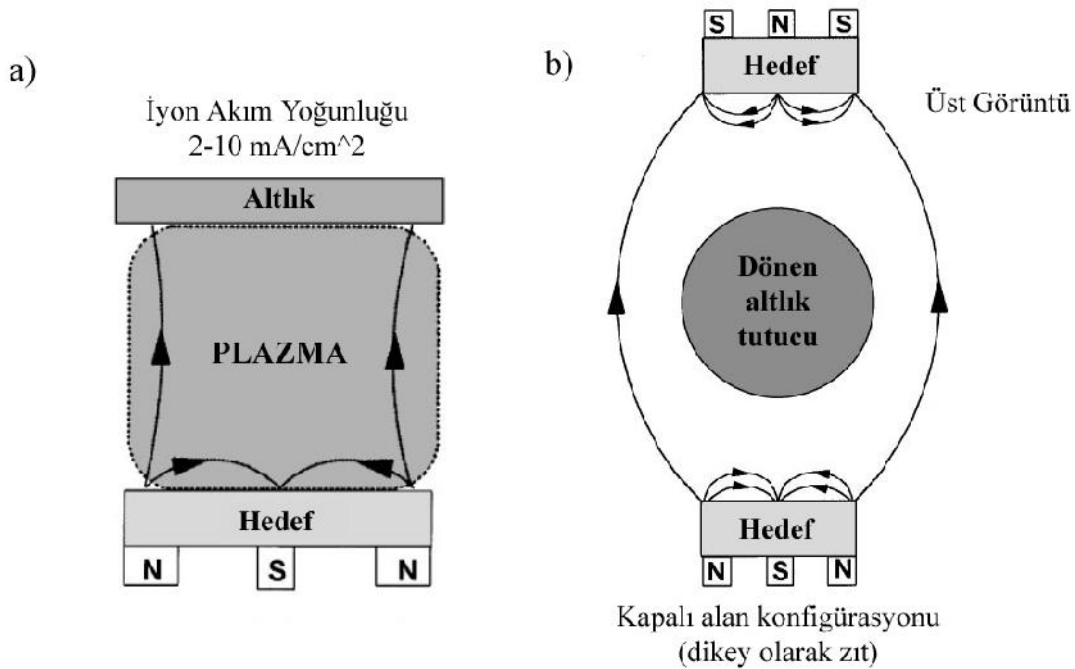
Magnetronlarda temel prensip olarak, hedef yüzeyine paralel olarak düzenlenmiş bir manyetik alan tarafından, ikincil elektron hareketi hedef etrafına doğru zorlanmaktadır. Mıknatısların bir kutbu hedefin merkezine yerleştirilmiş, ikinci kutbu ise, bir mıknatıslar halkası oluşturacak şekilde hedefin dış kenarı etrafında dizilmişlerdir. Bu şekilde elektronlar tuzağa düşürülerek, iyonlaşma için elektron-atom

çarpışması olayının olasılığı büyük ölçüde artırılmaktadır. Bir magnetronun iyonlaşma verimliliği arttığında, hedef bölgesinde sonuç olarak yoğun bir plazma oluşmaktadır. Böylece, daha yüksek sıçratma oranları ile hedefin iyon bombardımanı artmakta ve bu yüzden altlık üzerinde daha yüksek biriktirme oranlarının elde edilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, magnetron sıçratma ile elde edilen artan iyonlaşma verimliliği, daha düşük çalışma basınçlarında (genellikle, 10^{-2} mbar yerine 10^{-3} mbar) ve daha düşük çalışma voltajlarında (genellikle, -2000/-3000V yerine -500V) deşarjın sürdürülmesine müsaade etmektedir [3].

Ancak, magnetron sıçratma işlemi, düşük biriktirme oranı, plazmadaki düşük iyonlaşma verimliliği ve yüksek altlık ısıtma etkileri tarafından sınırlanmıştır. Magnetron sıçratmanın gelişimi ile bu sınırlamaların üstesinden gelinmiştir [3].

2.1. Dengesiz Magnetron Sıçratma

Dengesiz bir magnetronda, mıknatısların dış halkası, merkezdeki kutba oranla daha fazla kuvvetlendirilmektedir (Şekil 2.a). Bu durumda, bütün alan çizgileri, magnetrondaki iç ve dış kutuplar arasında kapanmamaktadır. Bazıları altlığa doğru yönelmekte ve bazı ikincil elektronlar bu alan çizgilerini takip edebilmektedir. Sonuç olarak, plazma artık tamamen hedef bölgesine sınırlanamamakta ve altlığa doğru akışına müsaade edilmektedir. Böylece, altlığa dışarıdan bias ihtiyacı olmaksızın yüksek iyon akımları plazmadan çıkarılabilmektedir [3]. Konvansiyonel bir magnetrondan daha yüksek (5 mA/cm^2 veya daha yüksek) altlık iyon akımı yoğunluğunun düzenli olarak dengesiz bir magnetron kullanarak oluşturulabildiği çoğu araştırmacı tarafından gösterilmiştir [3-6].



Şekil 2. a) Dengesiz magnetronlarda gözlenen plazma iyileşmesinin şematik gösterimi, b) İkili dengesiz magnetronlarda kapalı alan konfigürasyonu [3]

2.2. Kapalı Alan Dengesiz Magnetron Sıçratma

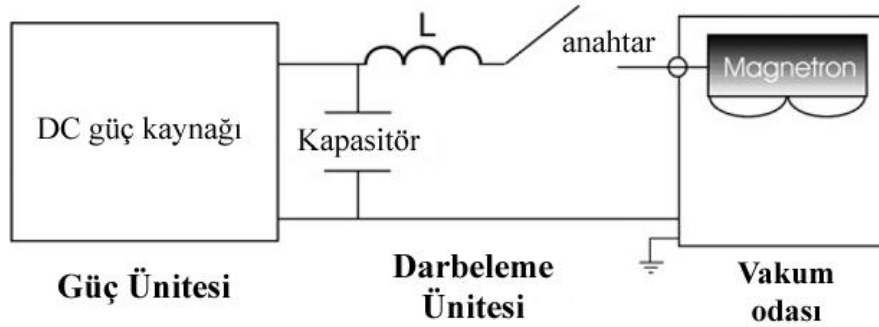
Dengesiz magnetron sıçratma metodunda asıl gelişme, çoklu dengesiz magnetronlar aynı sıçratma odasında birlikte kullanıldığında meydana gelmiştir [1]. Çünkü karmaşık parçaları tek bir kaynaktan

kabul edilebilir biriktirme oranlarında, uniform olarak kaplamakta zorluklarla karşılaşmıştır. Bu yüzden, bu teknolojiyi ticari olarak kullanmak için çoklu magnetron sistemleri ile tanışılmıştır [3].

Kapalı alan konfigürasyonunda (Şekil 2.b), magnetronlar arasındaki magnetik alan çizgileri, plazmadaki elektronlar için kapalı bir tuzak oluşturmaktadır. Bu yüzden, daha az elektron oda duvarlarına kaçmakta ve büyütülen film için yüksek seviyede iyon bombardımanı sağlanarak yoğun bir plazma altlık bölgesinde sürdürülmektedir [7]. Kapalı alan durumundaki iki güçlü dengesiz magnetron ile, benzer sıçratma şartları altındaki dengeli magnetronlar ile karşılaştırıldığında, altlıkta 10 kat ya da daha fazla iyon akım yoğunluğunu artırmanın mümkün olduğu görülmüştür. Kapalı alan dengesiz magnetron sıçratmadaki altlık bias akımı yoğunluğunun, diğer ticari PVD sert kaplama teknikleri ile elde edilenlere eşit olduğu bildirilmiştir [8]. Mükemmel özellikleri olan tamamen yoğun, iyi yapışmış sert kaplamalar, kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma ile biriktirelebilmektedir [6].

3. YÜKSEK GÜÇ DARBELİ MAGNETRON SIÇRATMA

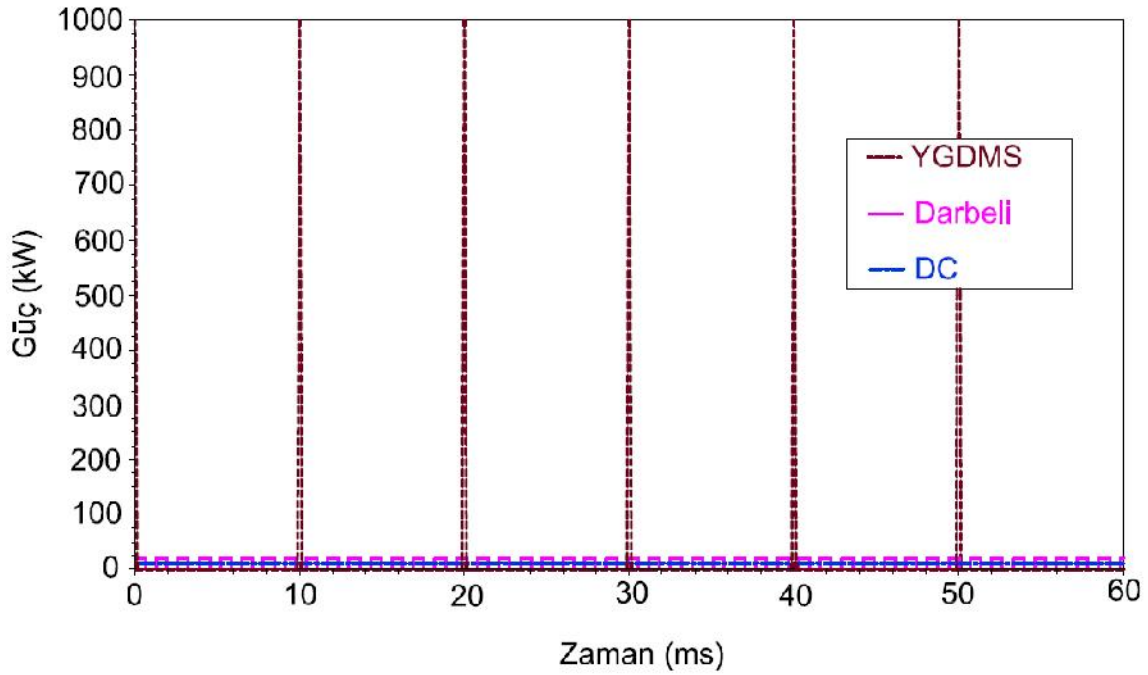
Yüksek Güç Darbeli Magnetron Sıçratma (YGDMS), güç kaynağı teknolojisindeki gelişmelerin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. İlk olarak Dr. Vladimir Kouznetsov tarafından geliştirilmiştir [9].



Şekil 3. Bir YGDMS güç kaynağının temel yapısı [10]

YGDMS'nın deneysel olarak gerçekleştirilmesi, konvansiyonel magnetron sıçratma proseslerinde kullanılanlardan farklı bir güç kaynağını gerektirmektedir. Bu güç kaynakları, doğru akım magnetron sıçratmadakine (dcMS) benzer değerlerde (birkaç W/cm^2) zaman – ortalama güç yoğunluğunu sürdürüyorken, yüksek güç yoğunluklu (genellikle birkaç kW/cm^2) darbelerle sahip hedefler elde edilebilmektedir. Düşük ortalama hedef güç yoğunluğu, katodun aşırı ısınmasını ve miknatısların ve hedefin bozulmasını önlemek için gereklidir. Çoğu araştırma grubu ve şirket tarafından geliştirilen YGDMS sisteminin temel yapısı Şekil 3'de gösterilmektedir. Bir dc jeneratör, magnetrona bağlı olan bir darbeleme ünitesinin kapasitörünü yüklemek için kullanılmaktadır. Kapasitörün şarj voltajı, genellikle birkaç yüz V'tan birkaç kV'a kadar değişmektedir. Depolanan enerji, kapasitörler ve katot arasına yerleştirilen μs aralığında anahtarlama yeteneğine sahip transistörler kullanarak, tanımlanmış genişlik ve frekanslı darbelerde serbest bırakılmaktadır [10]. Darbe genişliği genellikle 5 ile 5000 μs aralığında ve darbe tekrarlama frekansı 10 Hz ile 10 kHz aralığında değişmektedir. Bu şartlar altında, pik hedef akım yoğunluğu birkaç A/cm^2 'ye kadar ulaşabilmektedir. Bu, dcMS'daki akım yoğunluklarından 3 kat kadar daha büyüktür [10,11].

YGDMS ile, büyük bir enerji darbesi, kısa bir zaman periyodu için sıçratma katoduna uygulanmaktadır ve bu enerji darbesinin bir sonucu olarak sıçratılan malzemede yüksek bir iyonlaşma enerjisi elde edilmektedir (Şekil 4) [1]. İyonlaşma derecesi sıçratılan malzemeye [12] ve pik güç yoğunluğuna bağlıdır. İyi iyonlaşma elde etmek için, 1-3 kW/cm^2 'lik güç yoğunlukları, yaklaşık 150 μs 'lik bir pik genişlik zamanı ile hedefe uygulanmaktadır [1].



Şekil 4. YGDMS, darbeli MS ve dcMS işlemlerinde pik güçlerin karşılaştırması [13]

Hedefin boyutuna bağlı olarak, pik güç, megawatt büyüklüğüne ulaşabilmektedir. Pik güç oldukça büyük olabilmesine rağmen, hedefe verilen ortalama güç konvansiyonel magnetron sıçratma proseslerine benzerdir. Ortalama güç, pik güç ile darbe tekrarlama oranının bir fonksiyonudur. Tipik görev çevrimleri %1'den daha düşüktür [1]. Düşük görev çevrimleri, hedefin erimesinden kaçınmak için gereklidir [14]. YGDMS'nın avantajı, makro partikül üretmeden, katodik ark biriktirmenin iyonlaşma seviyelerine yaklaşılabilesidir [1]. %50-90 mertebesinde sıçratılan atomlarda iyonlaşma elde edilebilmektedir [14]. Titanyum için, bu oranın %90'a yaklaştığı belirlenmiştir [11].

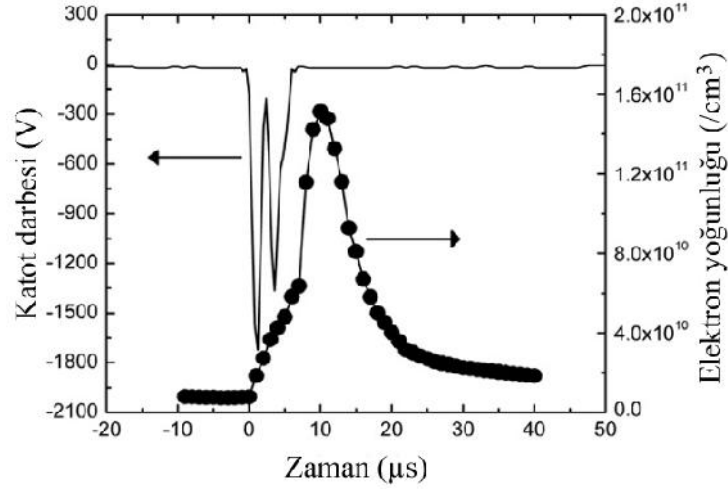
3.1. YGDMS'nın Biriktirme Oranına Etkisi

YGDMS metodunda yüksek iyonlaşma seviyeleri elde edilmesine rağmen, bu prosesin bir dezavantajı, DC sıçratma ile karşılaştırıldığında aynı ortalama güç için biriktirme oranında önemli bir kaybın var olmasıdır [1]. YGDMS'da biriktirme oranının, aynı güç seviyesi için DC sıçratmadaki biriktirme oranının yaklaşık %25-30'u olduğu bildirilmiştir [1,15].

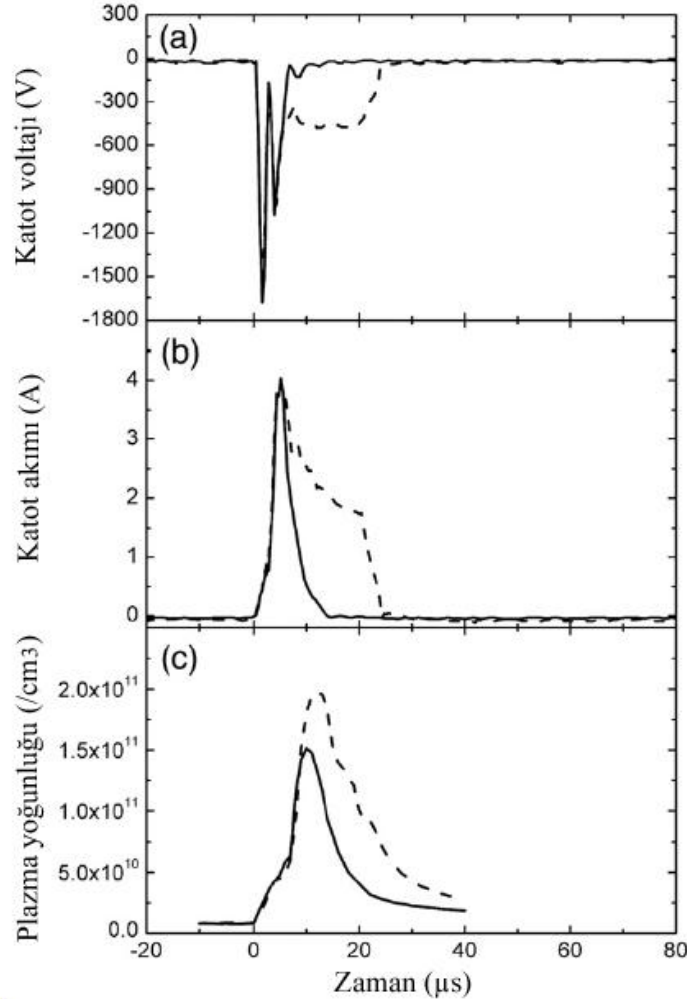
YGDMS ile biriktirme oranı problemini çözmek amacıyla bir metot geliştirilmiştir. Bir darbe içerisinde güç değiştirilerek, DC sıçratmadaki biriktirme oranına eşit ya da onu aşan biriktirme oranları elde edilebilmiştir. Değiştirilmiş darbe gücü işleminde, plazmayı, zayıf iyonlaşmış durumdan güçlü iyonlaşmış duruma götürmek için darbe içinde bir darbe uygulanmaktadır ve güçlü iyonlaşmış plazma durumunda sıçratılan malzemede yüksek iyonlaşma derecesi elde edilmektedir. Değiştirilmiş darbe gücü işleminde tipik darbe uzunlukları 1-3 ms ve pik güç yoğunluğu genellikle 100-1000 W/cm² aralığındadır [1,16,17].

Bazı araştırmacılar, düşük biriktirme oranının temel sebebi olarak sıçratılan atomların geri dönüşünü düşünmüşlerdir: İyon bombardımanı ile katottan sıçratılan atomlar, katot bölgesinde iyonlaşmakta ve ondan sonra yüksek negatif katot voltajı tarafından katoda geri çekilmektedir. Bu olay, magnetron sıçratmadaki biriktirme oranını önemli bir şekilde etkileyebilmektedir. Şekil 5, katot darbe voltajının dalga şeklini ve plazma yoğunluğunun geçici değişimini göstermektedir. Katot darbesinin şekli, dalgalanan bir kare olmamasına rağmen, önemli olan nokta, pik katot voltajı ve maksimum plazma yoğunluğu arasında yaklaşık 5 µs zaman farkı olmasıdır. Darbe açıldıktan sonra yaklaşık 5 µs içinde katot darbesi kapatılmasına rağmen, plazma yoğunluğu artmaya devam etmekte ve yaklaşık 10 µs'de maksimum olmaktadır. YGDMS'da plazma yoğunluğu geçici olarak çok yüksek bir değere ulaşmasına

rağmen, katot darbesinin açık olduğu sürede plazma yoğunluğu nispeten düşük olmaktadır ve katot darbesi kapatıldıktan sonra plazma yoğunluğu artmaya başlamakta ve maksimum bir değere ulaşmaktadır [18].



Şekil 5. YV darbe magnetron deşarjında katot voltajının ve plazma yoğunluğunun geçici gelişimi [18]

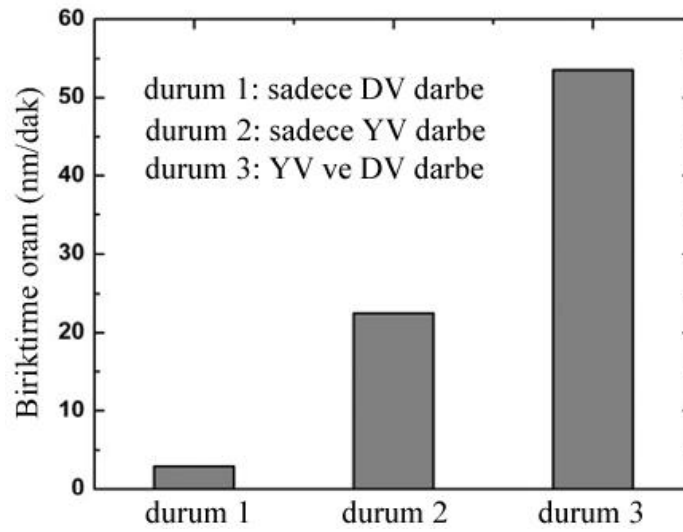


Şekil 6. YV darbe (kalın çizgi) ve kademeli darbe (DV ve YV, kesikli çizgi) deşarjlarında (a) katot voltajı, (b) katot akımı ve (c) plazma yoğunluğunun geçici gelişimi [18]

Fakat plazma yoğunluğu artarken ikinci bir katot voltajı uygulanması durumunda, katoda iyon akışı devam ettiğinden dolayı hedef malzemesinin sıçratma oranı artabilmektedir. YV (yüksek voltaj) darbe

kapatıldıktan hemen sonra, 500 V'luk ikinci DV (düşük voltaj) darbe 10 μ s darbe açık kalma süresi ile katoda uygulanmaktadır. Şekil 6, YV darbe ile birlikte ikinci DV darbe ardı ardına uygulandığında, katot voltajının dalga şeklini, ölçülen katot akımını ve plazma yoğunluğunun geçici değişimini göstermektedir. Katot akımının, DV kısa darbe kullanarak bile önemli bir şekilde arttığı bulunmuştur. Ortalama katot akımı, sadece YV darbe ile elde edilen 0.17 A'den DV ve YV darbeler ile 0.47 A'ye yükselmektedir. Toplam katot akımının artışı, katoda toplam iyon akışının artışı ve bu yüzden sıçratma oranının artışı göstermektedir. Üstelik pik plazma yoğunluğu da yaklaşık 3 μ s zaman gecikmesi ile artmaktadır [18].

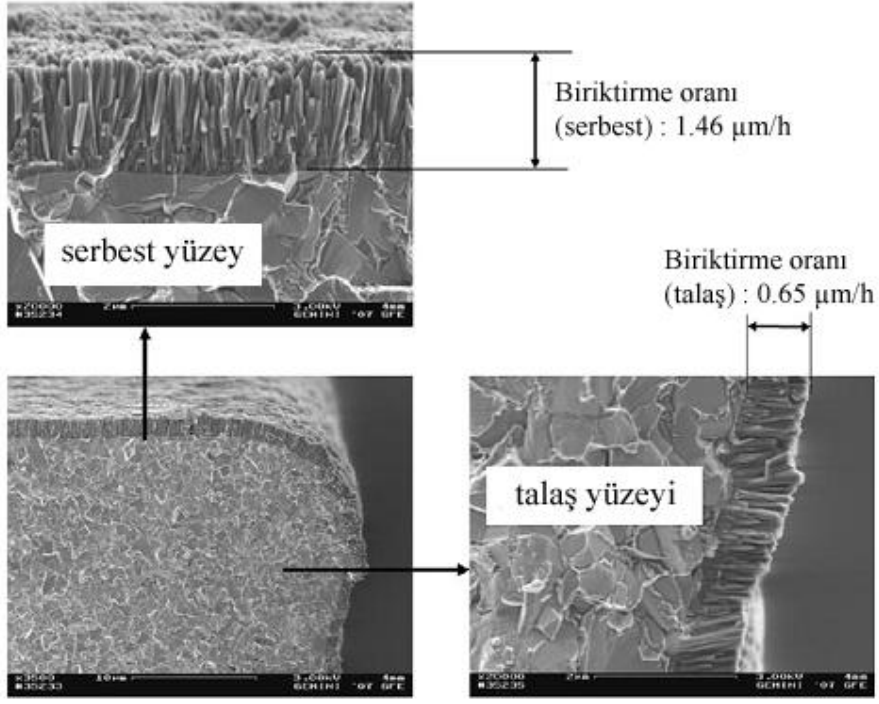
İlave olarak, film biriktirme oranı üzerinde ikinci DV darbenin etkisini incelemek amacıyla Ti filmler silisyum plakalar üzerine biriktirilmiştir ve sonuçları Şekil 7'de gösterilmektedir. Sadece DV darbe ve YV darbe ile biriktirme oranı sırasıyla yaklaşık 3 ve 22.5 nm/dak olmasına rağmen, YV ve DV darbeler ardı ardına uygulandığında bu oran yaklaşık 53.5 nm/dak'ya yükselmektedir. Bu oran, DV darbe ve YV darbenin biriktirme oranlarının toplamının iki katından fazladır [18].



Şekil 7. DV darbe (durum 1), YV darbe (durum 2) ve kademeli darbe (durum 3) deşarjlarında titanyum hedefin biriktirme oranı [18]

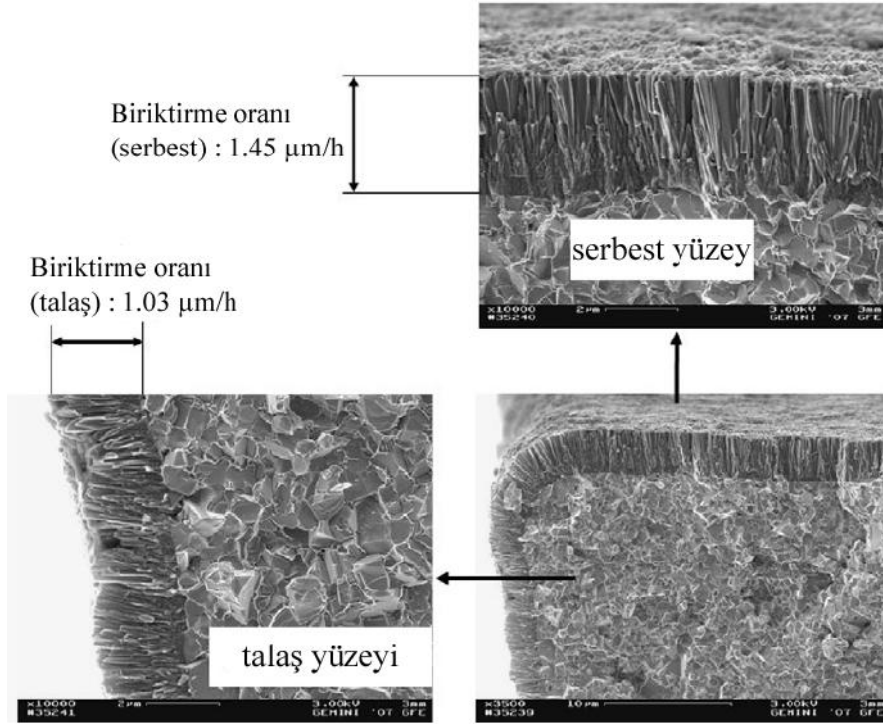
DC sıçratmayı kullanarak kompleks şekilli geometrileri kaplamak, eğimli yüzeyler üzerinde yüksek kaliteli ince kaplamaların istendiği bazı endüstriyel uygulamalarda zorluklara sebep olmaktadır [19]. Bu durum, zor talaşlar olduğundan dolayı, talaş yüzeyi üzerinde yüksek bir krater aşınması oluşturan Inconel 718 gibi nikel esaslı alaşımların işlenmesinde kullanılan kaplamalı kesici takımlar için özellikle önemlidir. Yüksek krater aşınmasını önlemek için, takımın talaş yüzeyi üzerinde yani hedef yüzeyine paralel olmayan tarafta, yüksek bir aşınma hacmine ihtiyaç duyulmaktadır. Biriktirme oranı ve kalınlığın aynı olması ile ilgili araştırmalar göstermiştir ki, dc sıçratma için, en yüksek biriktirme oranı kesici takımın hedefe paralel olan serbest yüzeyi üzerinde bulunmaktadır. Hedefe dik olan talaş yüzeyi üzerinde, bu oran çok daha düşüktür [20].

Şekil 8'de dcMS ile büyütülmüş (Ti,Al)N filmin SEM görüntüleri verilmektedir. Kesici takımın hedeflere paralel olan serbest yüzeyinde elde edilen biriktirme oranı 1.46 μ m/h olarak ölçülmüştür. Hedeflere dik olan talaş yüzeyi üzerinde, biriktirme oranı yaklaşık 0.65 μ m/h'tir [20].



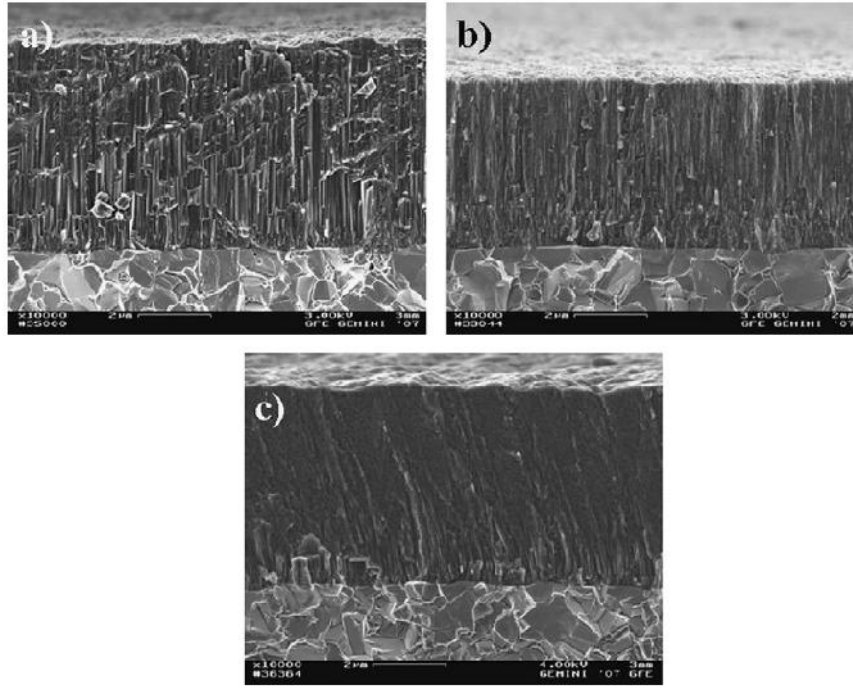
Şekil 8. dcMS ile büyütülen bir film kesitinin SEM görüntüleri [20]

Şekil 9'da ise, YGDMS ile büyütülen bir film kesitinin SEM görüntüleri verilmektedir. Hedefe paralel olan kesici takım serbest yüzeyi üzerinde 1.45 $\mu\text{m/h}$ biriktirme oranı elde edilmiştir. Hedef yüzeyi ile bir açı altında yerleştirilen yüzeylerde, dcMS ile karşılaştırıldığında, YGDMS ile daha yüksek biriktirme oranı elde edilmiştir. Hedefe dik olan talaş yüzeyi üzerindeki biriktirme oranı 1.03 $\mu\text{m/h}$ 'tir [19]. Bu, dcMS ile büyütülen film ile karşılaştırıldığında 1.58 kat daha büyüktür [20].



Şekil 9. YGDMS ile büyütülen bir film kesitinin SEM görüntüleri [20]

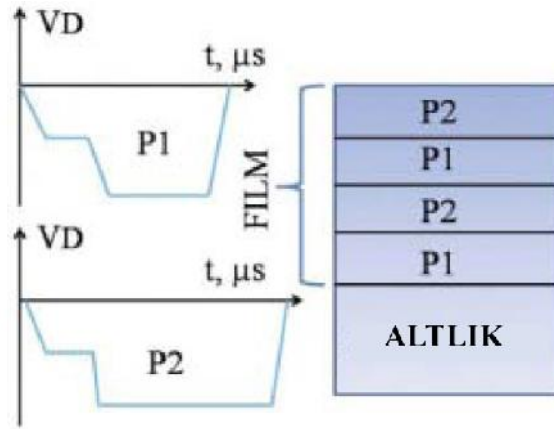
Diğer fiziksel buhar biriktirme yöntemleri ile elde edilen yapılar ile karşılaştırıldığında, YGDMS’da çok daha yoğun bir yapı elde edilebilmektedir. Şekil 10’da dcMS, mfMS ve YGDMS ile büyütülen (Ti,Al,Si)N filmlerin SEM görüntüleri verilmektedir. YGDMS kaplama, yoğun bir yapı ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olmasına rağmen dcMS ve mfMS kaplamalarda kolonsal bir yapı görülmektedir [20].



Şekil 10. dcMS (a), mfMS (b) ve YGDMS (c) ile büyütülen (Ti,Al,Si)N filmlerin SEM görüntüleri [20]

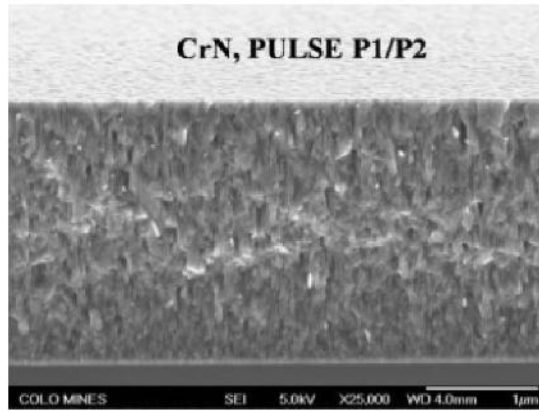
3.2. YGDMS İle Aynı Malzeme Kullanılarak Nano-Çok Tabakalı Biriktirme

Genellikle PVD ile biriktirilen filmler kolonsal bir yapıya sahiptir. Bu yapı film özelliklerini belirlemektedir. Film özellikleri, kolonsal olmayan bir mikro yapı üreterek değiştirilebilmektedir [21]. Kolonsal mikro yapıyı engellemenin yollarından biri farklı malzemelerden tabakalı filmler sıçratmaktır. Tabaka kalınlığı nanometre ölçeğinde veya daha büyük olabilmektedir [22]. Farklı kompozisyonlu tabakalara sahip çok tabakalı filmlerin, tek tabakalı filmler ile karşılaştırıldığında, yüksek sertlik değerleri verdiği bilinmektedir [23]. Filmin sadece bir kompozisyona sahip olması gerektiği çoğu uygulama için, bu mikro yapı kontrol etme metodu kullanılamamaktadır. Sadece bir kompozisyona sahip olması gereken kaplamalarda, Şekil 11’de gösterildiği gibi her tabaka farklı voltaj darbe şekli ile sıçratılmaktadır. Farklı voltaj darbe şekilleri, farklı iyonlaşma seviyelerinde sıçratılan malzeme ve besleme gazına sahip magnetron deşarjları oluşturmaktadır. Bu yüzden, her bir tabaka için sıçratma şartları farklı olmaktadır. Biriktirme zamanı, darbe tekrarlam oranı ve darbe boyunca pik güç, tabaka kalınlığını belirlemektedir. Bu durumda, kompozisyon değişimi (farklı malzemelerden tabakalar sıçratma) yerine, plazma yoğunluğunda bir değişim olacaktır. Bu değişim, film mikro yapısını etkileyebilmektedir [22].



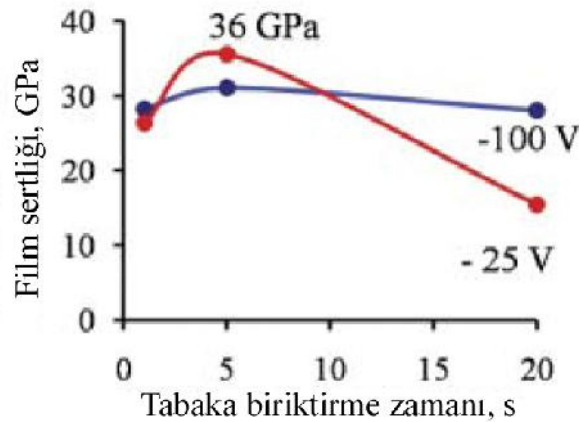
Şekil 11. İki farklı voltaj darbe şekli P1 ve P2 ile filmleri sıçratma metodu [22]

Bu kavramı ispatlamak için, nano-tabakalı yapıya sahip CrN filmler sıçratılmıştır. Her bir nano-tabakanın kalınlığı ve yapısı, plazma jeneratörünün çıkış voltajı darbe şeklini ve darbe tekrarlama oranını değiştirerek kontrol edilmiştir [22].



Şekil 12. Darbe P1 (5s) ve P2 (5s) ile sıçratılan CrN filmin SEM görüntüsü [22]

Bu filmlerin SEM görüntüleri, PVD sert kaplamalarda tipik olan kolonsal yapının olmadığını göstermektedir (Şekil 12). SEM görüntüsünden, tane yapısının küçük ve tane boyutunun her bir darbe ile kullanılan biriktirme zamanına göre değiştiği anlaşılmaktadır. Tabaka biriktirme zamanının bir fonksiyonu olarak film sertliğinin değişimi Şekil 13'de gösterilmektedir [22].



Şekil 13. Tabaka biriktirme zamanı ile film sertliğinin değişimi [22]

3.3. YGDMS'nin Adezyon Üzerinde Etkisi

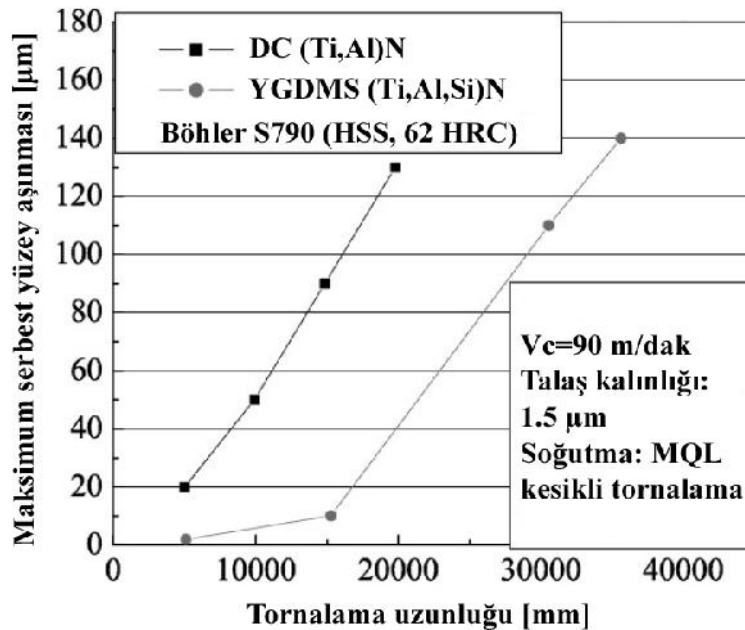
Çoğu ince film uygulamasında, filmin başarılı veya başarısız olması noktasında adezyon büyük öneme sahiptir. Kaplanmış parçaların genel işlevselliği açısından kaplama-altlık ara yüzeyinin önemli bir rol oynadığı bilinmektedir [24]. Özellikle, metal kesme uygulamalarında, mikro yapının yanında adezyon, kaplamanın performansı için önemlidir [25].

İyi bir adezyon için şartları optimize etmek amacıyla, fiziksel buhar biriktirme işlemlerinde, biriktirme aşamasından önce iyon dağlama ile altlık yüzeyi temizlenmektedir [24]. Kaplama adezyonu ve bu yüzden kaplama performansı için bu işlem gereklidir. Çoğu PVD prosesinde, altlık yüzeyini temizlemek için Ar gibi inert gaz iyonları kullanılmaktadır. Oksitler için argonun dağlama oranının yetersiz olmasının yanında, ara yüzde bu gazın yüksek konsantrasyonunun bulunması dezavantajlı olabilmektedir. Bir başka deyişle, çizme testlerinde oldukça düşük kritik yük değerlerinde ($L_c < 40$ N) kaplamada hasar meydana gelebilmektedir [25].

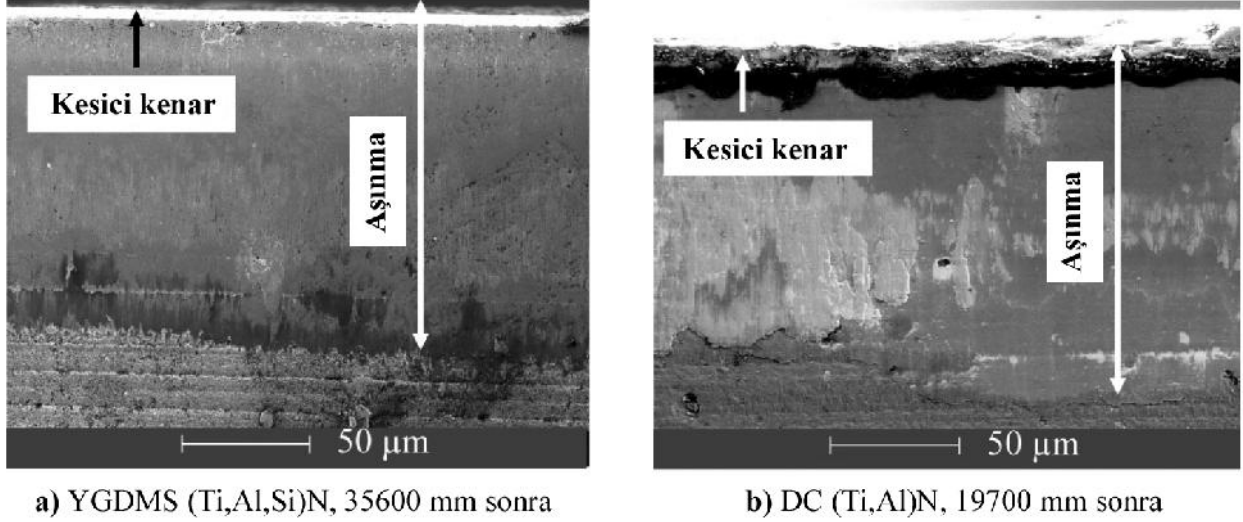
Bu adezyon problemini çözebilmek amacıyla, tek ve çift yüklenmiş metal ve Ar iyonlarından oluşan YGDMS plazma, farklı iyon enerjileri ve ön işlem süreleri kullanarak, paslanmaz çelik ve yüksek hız çeliği altlıkların yüzeylerine ön işlem uygulanmasında kullanılmaktadır. YGDMS ile ön işlem uygulanan filmlerin daha iyi adezyon gösterdiği görülmüştür. YGDMS ön işlemi ile elde edilen değerlerin, 40-65 N değerlerinin elde edildiği ark bağ sıçratma (ABS) ya da filtreli ark-dengesiz magnetron sıçratma işlemleri ile karşılaştırılabilir olduğu, fakat YGDMS ile ön işlem uygulanmış ara yüz bölgesinde damlacık oluşumundan kaynaklanan hiçbir hatanın görülmediği yapılan çalışmalarda bildirilmiştir [25].

3.3. YGDMS İle Biriktirilen Kaplamaların Kesici Takım Performansına Etkisi

YGDMS ile biriktirilen kaplamaların kesici takım performansına etkisini görebilmek amacıyla, YGDMS ile biriktirilen (Ti,Al,Si)N kaplamalı ve DC magnetron sıçratma ile biriktirilen endüstriyel nano yapı (Ti,Al)N kaplamalı kesici takımlar, HSS iş parçasının kesikli tornalanması işleminde kesme testine tabi tutulmuşlardır. Şekil 14'te verilen sonuçlar göstermektedir ki, YGDMS (Ti,Al,Si)N kaplamalı kesici takımlar ile daha uzun takım ömrü elde edilmektedir [26].



Şekil 14. YGDMS (Ti,Al,Si)N ve DC (Ti,Al)N kaplamaları için serbest yüzey aşınmasının tornalama uzunluğu ile değişimi [Kaynak: IPT, RWTH Aachen University ve 26]



Şekil 15. Kesici takımların ömürlerinin sonunda serbest yüzeylerdeki aşınmanın SEM fotoğrafları [26]

Şekil 15'te, kesici takımların kesme testlerinden sonraki SEM fotoğrafları verilmektedir. YGDMS (Ti,Al,Si)N kaplama, pürüzsüz bir yüzey ve uniform aşınma göstermektedir. Kesici kenar, hala keskin görünmektedir. Fakat, DC (Ti,Al)N kaplama, düzensiz aşınma göstermektedir ve kaplama, YGDMS (Ti,Al,Si)N ile karşılaştırıldığında, kesme kenarında daha fazla aşınmıştır. SEM fotoğrafındaki kesme kenarının altındaki karanlık bölge oksidasyonu göstermektedir. Ayrıca, muhtemelen yüksek sürtünme ve kötü tribolojik davranışından dolayı, DC (Ti,Al)N kaplamada önemli derecede yığılma kenar oluşmaktadır. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, DC magnetron sıçratma ile karşılaştırıldığında, YGDMS ile daha yoğun filmler ve daha pürüzsüz yüzeyler elde edilebilmektedir. Bunun, YGDMS (Ti,Al,Si)N kaplamada yığılma kenar oluşmamasının sebebi olabileceği düşünülmektedir [26].

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada, YGDMS teknolojisi, temel magnetron sıçratma işlemi ile birlikte açıklanmıştır. Ayrıca, YGDMS'nın vakum kaplama işlemine getirdiği yenilikler özetlenmiştir. Önceki bölümlerde verilen bilgiler göz önüne alındığında, YGDMS'nın diğer PVD metotları üzerindeki üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Daha yüksek plazma yoğunluğu [11],
- Daha yüksek iyonlaşma oranı [15],
- Daha yoğun ve daha pürüzsüz kaplamalar [20],
- Kompleks şekilli parçaların yüksek biriktirme oranı ile kaplanması [20],
- Filmlerin fazlarının, mikro yapılarının ve kompozisyonunun kontrolü [22],
- Altlık üzerine daha iyi yapışma [25],
- Dağlama için metal iyonlarının kullanımı [27].

Bütün bu üstün özelliklere sahip olan YGDMS, ümit vaat edici gelişmelerden biri olarak görülmektedir. Ancak, bu teknoloji için gelecekte yapılması gereken önemli görevler bulunmaktadır. Biriktirme hızının artırılması ihtiyaç duyulan gelişmeler arasındadır. Plazma işleminin bilgisayar destekli simülasyonunun yapılabilmesi ise, zaman tasarrufu ve pahalı test araçlarının maliyetini azaltması açısından ayrıca önem arz etmektedir.

Talaşlı üretimin sürdürülebilirliğini sağlamada kesici takım ömürlerinin optimum seviyede olması açısından YGDMS ile kaplama uygulamaları tercih edilebilir. Bütün bu avantajlarına rağmen, bu metot

ile biriktirilen kaplamaların mekanik özellikleri ve kesici takımların kesme performansı üzerindeki etkileri noktasında literatürdeki bilgi sınırlıdır. Bu yüzden, akademik ve sektörel olarak YGDMS ile üretilen kaplamaların aşınma özelliklerinin ve kesici takımların kesme performansına etkilerinin incelenmesi gelecekte yapılacak çalışmalar için önem arz etmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Sproul, W.D., 2009, “PVD Processes for Depositing Hard Tribological Coatings”, Bulletin, Society of Vacuum Coaters, Fall, 36-41.
2. Rossnagel, S.M., 1995, “Sputter Deposition”, In: Opportunities of Innovation: Advanced Surface Engineering. (Sproul, W.D., and Legg, K.O.,-eds.), Technomic Publishing Co., Switzerland.
3. Kelly, P.J., Arnell, R.D., 2000, “Magnetron Sputtering: A Review of Recent Developments and Applications”, Vacuum, 56, 159-172.
4. Window, B., Savvides, N., 1986, “Charged Particle Fluxes from Planar Magnetron Sputtering Sources”, Journal of Vacuum Science and Technology A, 4 (2), 196-202.
5. Howson, R.P., Ja’afar, H.A., Spencer, A.G., 1990, “Substrate Effects from an Unbalanced Magnetron”, Thin Solid Films, 193-194, 127-137.
6. Sproul, W.D., 1998, “High-Rate Reactive DC Magnetron Sputtering of Oxide and Nitride Superlattice Coatings”, Vacuum, 51 (4), 641-646.
7. Arnell, R.D., Kelly, P.J., 1999, “Recent Advances in Magnetron Sputtering”, Surface and Coatings Technology, 112, 170–176.
8. Rohde, S.L., Petrov, I., Sproul, W.D., Barnett, S.A., Rudnik, P.J., Graham, M.E., 1990, “Effects of an Unbalanced Magnetron in a Unique Dual Cathode, High-Rate Reactive Sputtering System”, Thin Solid Films, 193/194, 117-126.
9. Kouznetsov, V., Macak, K., Schneider, J.M., Helmersson, U., Petrov, I., 1999, “A Novel Pulsed Magnetron Sputter Technique Utilizing Very High Target Power Densities”, Surface & Coatings Technology, 122, 290.
10. Sarakinos, K., Alami, J., Konstantinidis, S., 2010, “High Power Pulsed Magnetron Sputtering: A Review on Scientific and Engineering State of the Art”, Surface & Coatings Technology, 204, 1661-1684.
11. Helmersson, U., Lattemann, M., Bohlmark, J., Ehasarian, A.P., Gudmundsson, J.T., 2006, “Ionized Physical Vapor Deposition (IPVD): A Review of Technology and Applications”, Thin Solid Films, 513, (1-2), 1-24.
12. Kouznetsov, V., Macák, K., Schneider, J.M., Helmersson, U., Petrov, I., 1999, “A Novel Pulsed Magnetron Sputter Technique Utilizing Very High Target Power Densities”, Surface and Coatings Technology, 122, 290–293.
13. <http://www.tu.koszalin.pl/technologie-hybrydowe/dokumenty/Papers%20from%201st%20International%20EJC-PISE%20Workshop%20in%20Riga%20Latvia%20June%20%202009->

- 10%202009/5.%20Deposition%20processes/Schiffers_HPPMS%20thin%20film.pdf, “Latest Results in HPPMS Thin Film Coatings for Cutting Tools”, Erişim Tarihi: 07.09.2010.
14. Bräuer, G., Szyszka, B., Vergöhl, M., Bandorf, R., 2010, “Magnetron Sputtering – Milestones of 30 Years”, *Vacuum*, 84, 1354–1359.
 15. Sproul, W.D., Christie, D.J., Carter, D.C., 2004, “The reactive Sputter Deposition of Aluminum Oxide Coatings Using High Power Pulsed Magnetron Sputtering (HPPMS)”, 47th Annual Technical Conference Proceedings of the Society of Vacuum Coaters, 96-100.
 16. Chistyakov, R., Abraham, B., Sproul, W.D., 2006, “Advances in High Power Pulsed Reactive Magnetron Sputtering”, 49th Annual Technical Conference Proceedings of the Society of Vacuum Coaters, 16-19.
 17. Sproul, W.D., Chistyakov, R., Abraham, B., 2006, “Important Developments in High Power Pulsed Magnetron Sputtering”, *Bulletin, Society of Vacuum Coaters*, Summer, 35-37.
 18. In, J.H., Seo, S.H., Chang, H.Y., 2008, “A Novel Pulsing Method for the Enhancement of the Deposition Rate in High Power Pulsed Magnetron Sputtering”, *Surface & Coatings Technology*, 202, 5298–5301.
 19. Alami, J., Gudmundsson, J.T., Bohlmark, J., Birch, J., Helmersson, U., 2005, “Plasma Dynamics in a Highly Ionized Pulsed Magnetron Discharge”, *Plasma Sources Science and Technology*, 14, 525-531.
 20. Bobzin, K., Bagcivan, N., Immich, P., Bolz, S., Alami, J., Cremer, R., 2009, “Advantages of Nanocomposite Coatings Deposited by High Power Pulse Magnetron Sputtering Technology”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 165-170.
 21. Lugscheider, E., Barimani, C., Wolff, C., Guerreiro, S., Doepper, G., 1996, “Comparison of the Structure of PVD-Thin Films Deposited with Different Deposition Energies”, *Surface and Coatings Technology* 86-87, 177-183.
 22. Chistyakov, R., Abraham, B., 2009, “Advanced Pulsed Technology for Material Processing Applications”, *Bulletin, Society of Vacuum Coaters*, Fall, 22-25.
 23. Jeong, Y.G., Kang, M.C., Kim, J.S., Kim, K.H., Kim, W.G., Park, I.D., Jun, Y.H., 2009, “Mechanical Behavior and Cutting Performance of Nano-Multi-Layer $Ti_xAl_{1-x}N$ Coated Tools for High-Speed Machining of AISI D2 Die Steel”, *Current Applied Physics*, 9, S272–S275.
 24. Alami, J., Bolz, S., Sarakinos, K., 2009, “High Power Pulsed Magnetron Sputtering: Fundamentals and Applications”, *Journal of Alloys and Compounds*, 483, 530–534.
 25. Lattemann, M., Ehiasarian, A.P., Bohlmark, J., Persson, P.Å.O., Helmersson, U., 2006, “Investigation of High Power Impulse Magnetron Sputtering Pretreated Interfaces for Adhesion Enhancement of Hard Coatings on Steel”, *Surface & Coatings Technology*, 200, 6495–6499.
 26. Bobzin, K., Bagcivan, N., Immich, P., Bolz, S., Fuß, H.G., Cremer, R., 2009, “Properties of (Ti,Al,Si)N Coatings for High Demanding Metal Cutting Applications Deposited by HPPMS in an Industrial Coating Unit”, *Plasma Process. Polym.*, 6, S124–S128.

27. Ehiasarian, A.P., Wen, J.G., Petrov, I., 2007, “Interface Microstructure Engineering by High Power Impulse Magnetron Sputtering for the Enhancement of Adhesion”, Journal of Applied Physics, 101, 054301.