

POLİMER MATRİKSLİ FREN BALATA MALZEMELERİNİN KOMPOZİSYON VE ÜRETİM PARAMETRELERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Rukiye ERTAN, Nurettin YAVUZ

Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Böl.

ÖZET

Polimer esaslı sürtünme malzemelerinin arzu edilen sürtünme ve aşınma davranışlarını sağlaması ve frenleme performansını artırması amacıyla birçok araştırma yapılmıştır. Günümüzde, taşıtlarda kullanılan yüksek oranlı seramiklerden, düşük oranlı metalik, polimerik, asbestiz organik balata malzemelerine kadar değişen geniş bir yelpazede yaklaşık yüzlerce farklı sürtünme formülü geliştirilmiştir. Bu çalışma, polimer esaslı fren balata malzemelerinin kompozisyonu ve üretim parametrelerine genel bir bakış sağlamanın yanı sıra birçok araştırmacının farklı kompozisyonlarına ve üretim parametrelerine ilişkin elde ettikleri malzeme özellikleri üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Polimer matrisli fren balataları, sürtünme ve aşınma

ABSTRACT

Investigations have been made to improve the braking performance of polymer based friction materials for obtaining desirable friction and wear behavior. There are about hundreds of different friction formulas in use of vehicles today ranging from high content ceramics to low metallics to polymeric to nonasbestos organic (NAO). This paper gives a general view of the composition and manufacturing parameters of polymer based brake pad materials, with special emphasis on many researches for composition and manufacturing parameters variations and the corresponding variations of the material properties.

Keywords: Brake pads with polymer matrix, friction and wear.

Giriş

Frenlemenin yüksek bir verimle yapılabilmesi için en önemli kriterlerin başında disk-balata ara yüzeyinde minimum aşınmayı sağlayan yüksek ve kararlı sürtünme katsayısı yer almaktadır. Bu kriteri sağlayan en önemli faktörler ise balata malzemesinin kompozisyonu ve mikroyapısıdır.

Genel olarak balata malzemeleri üzerine yapılan çalışmalar kompozisyonun değiştirilerek istenen özelliklerin sağlanması üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun yanında fren balata malzeme özelliklerinin üretim parametrelerine ve tane boyutlarına bağlı olarak büyük ölçüde değiştiği yapılan deneyler ile görülmüştür. Kompozisyonlar aynı olsa bile farklı üretim parametreleri ile üretilen balatalar çok farklı özellikler sergileyebilmektedir. Bu yüzden bir balata malzemesi tasarımında kompozisyon, üretim ile birlikte bir bütün olarak incelenip araştırılmalıdır.

Yaklaşık 25 yıl öncesine kadar, frenlerde balata malzemesi olarak kullanılan asbestin (chrysotile) frenleme için gerekli optimum koşulları sağlamasına karşın frenleme esnasında oluşturduğu tozların havaya karışarak canlıların akciğerlerinde kanser oluşturması sebebiyle Avrupa'da kullanımı yasaklanmıştır [1,2]. Asbeste alternatif olarak geliştirilen ve sağlık açısından bir problem teşkil etmeyen polimer esaslı fren balataları farklı çalışma koşulları altında güvenlik sınırlarını aşmadan çalışabilmelerinin yanı sıra, kararlı bir sürtünme katsayısına ve düşük aşınma oranlarına sahip olmaları nedeniyle günümüzde en çok tercih edilen malzemeler olmuştur. Polimer matrisli bir fren balata malzemesi genellikle seramik partikülleri ve lifleri, mineraller, metalik lifler, katı yağlayıcılar, elastomerler ve hepsini bağlayan fenolik reçine gibi çok sayıda farklı komponentler içerir (10-20 çeşit). Polimer matrisli fren balata malzemeleri dışında metal içermeyen balata malzemeleri de

günümüzde taşıtlarda kullanılan diğer bir balata türüdür. Uçak sanayinde kullanımı yoğun olan seramik (C/C, C/SiC, C/BN, C/B₄C) fren balataları da en son geliştirilen balata malzemeleridir [3].

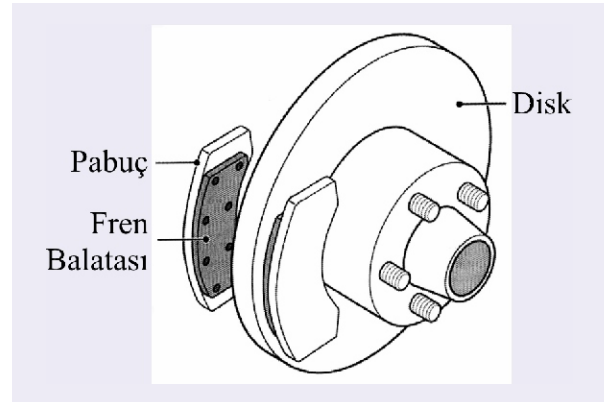
Özellikle gelişen teknoloji ile birlikte taşıtların hızı, büyüklüğü ve ağırlığı büyük bir artış gösterirken, bu taşıtlarda kullanılan fren sistemlerinin boyutları tam tersine küçülmüştür. Dolayısıyla birim alana düşen enerji miktarı artmıştır ve çalışma sıcaklıkları kullanılan balata malzemesindeki komponentlerin sınırlarını aşmıştır ve oluşan ısının transferinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli yüzey alanı küçülmüştür [4]. Bu şartlar altında fren sisteminin güvenlik sınırlarını aşmadan ve gerekli konforu sağlayacak şekilde çalışabilmesi için araç tipini, yükleme durumunu, kullanım şartlarını da dikkate alarak en uygun balata kompozisyonunun seçilmesi gerekir.

Yapılan bu çalışma ile polimer matriksli fren balata malzemelerinin kompozisyonunu oluşturan komponentlerin, literatürde yapılan çalışmalardan faydalanılarak, olumlu ve olumsuz özellikleri derlenmiştir. Kompozisyonun yanı sıra polimer matriksli fren balata malzemelerinin üretimi ve üretim parametreleri de literatürdeki farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre değerlendirilmiştir.

Polimer Matriksli Fren Balata Malzemeleri

Bir fren sisteminin ana fonksiyonu araç hızını yavaşlatmak, yokuş aşağı yollarda hızı sabit tutmak veya aracı tamamen durdurmaaktır. Bunun için kinetik enerji, disk ve balata arasındaki sürtünme işi tarafından ısıya dönüştürülür.

Fren balataları istenen sürtünme kararlılığı, çalışma ömrü, minimum gürültü ve vibrasyonu karşılamak üzere tasarlanmalıdır. Sürtünme kararlılığı fren balatasında sıcak, soğuk, ıslak ve kuru çevre koşullarındaki ve farklı frenleme hızlarındaki performansını ifade eder. Bu bakımdan güvenliği etkileyen faktörlerin başında gelir. Metalik balatalar, genellikle çok ağır frenleme



Şekil 1. Disk ve Balata Malzemesinin Şematik Resmi. [2]

şartlarında ve yüksek sıcaklıklarda kararlı sürtünme katsayısına sahip olma özelliklerinin yanında daha fazla ısı iletirler. Frenleme basıncının artması veya olumsuz çevresel etkenler (soğuk, sıcak, yağ ve tuzlu su) sürtünme katsayılarında büyük değişimlere neden olmaz [5]. Ancak metalik balataların gürültü ve vibrasyona eğilimli olması diske hasar vermesi gibi dezavantajları vardır. Büyük taşıtlarda ve kamyonlarda bu sebepten dolayı genellikle metalik balatalar tercih edilir. Daha yüksek konforun tercih edildiği binek tipi hafif taşıtlarda ise genellikle daha az vibrasyon ve gürültü oluşturduğundan düşük metalik veya organik balatalar tercih edilir. Ancak organik balataların da çalışma ömürleri kısadır ve yüksek sıcaklıklardan büyük oranda etkilenirler. Her iki tip balatanın avantajlarından faydalanıp, dezavantajlarını en düşük seviyede tutabilmek amacıyla polimer matriksli (yarı-metalik) balatalar geliştirilmiştir. Polimer matriksli balatalar, metalik ve organik balataların olumlu özelliklerinin taşımasının yanı sıra, seramik balatalar ile karşılaştırıldığında daha ucuz ve kolay üretilirler. Ancak seramik balatalar kadar yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı değildirler [6]. Asbestli balatalar ile karşılaştırıldığında ise, polimerik balatalar çevre ve insan sağlığını tehdit etmeden uygun bir kompozisyon tasarımı ile daha yüksek performans sağlayabilmektedir. Ancak en önemli dezavantajı aramid (kevlar), reçine, lastik tozu, kauçuk gibi polimer malzemeler içermesi nedeniyle yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı düşüktür ve yapısı sıcaklıkla birlikte büyük oranda değişir. Bu sebeple birçok

araştırmacı tarafından yoğun olarak incelenen frenlemede zayıflama (fade) olarak bilinen olayın oluşumunda en önemli etkidir [7-10].

Polimer Matriksli Fren Balata Malzemelerinin Kompozisyonu

Polimer matriksli balata malzemeleri, polimer bir matriks içerisinde lifli yapısal malzemeler, metal veya mineral dolgu partikülleri ve katı yağlayıcılardan oluşmaktadır [2]. Bu malzemelerin seçimi ve oranları frenleme performansı üzerinde birinci derecede etkin olması sebebiyle son yıllarda farklı malzemeler ve farklı oranların balata performansı üzerindeki etkileri direkt olarak deneylerle veya geliştirilen optimizasyon metotları ile ya da deneysel tasarım metotları kullanılarak gerek numune sayısını en aza indirip maliyeti düşürmek, gerekse zaman kaybını önlemek bakımından balata kompozisyonu tasarımında önemli yer tutmaktadır [11-13].

Polimer matriksli balata kompozisyonlarında kullanılan malzemeler sahip oldukları görev bakımından beş gruba ayrılmaktadır. Aşağıda bu grupları oluşturan malzemeler ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar verilmiştir:

Yapısal Malzemeler

Yapısal malzemeler, balatada mekaniksel dayanım, sertlik, termal stabilite, aşınma direnci ve kararlı bir sürtünme üretir. Genellikle çelik yünü, Cu lifleri, Al lifleri, kaya yünü, cam yünü, seramik lifler ve aramid (kevlar) lifler tek başına veya farklı kombinasyonlarda kullanılırlar [14].

Günümüzde, çelik yünü iyi aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda kararlı bir sürtünme sergilemesi nedeniyle kullanım alanı oldukça geniştir, ancak diskte aşınma, kalınlık değişimine, vibrasyon ve gürültüye sebebiyet verirler. Bununla birlikte yapı içerisinde çelik yünü oranının artmasıyla kesikli sürtünmeye olan eğilimi şiddetli bir şekilde arttırdığı gözlenmiştir [15]. Çelik yünü içeren sürtünme malzemesinde kayma hızı arttıkça sürtünme

katsayısının düştüğü tespit edilmiştir [16]. Bu durumun en başta gelen sebebi çelik yünü etkisiyle artan aşınma oranı ve ara yüzeyde oluşan sürtünme filminin kalınlığının artarak teması kesmesidir.

Bakır ve bakır alaşımları sürtünme ara yüzeyinde genelde termal dağılımı iyileştirmek için eklenir. Ayrıca bakır yüksek sıcaklıklarda ara yüzeyde bakır oksit oluşturarak sürtünme katsayısını kararlı kılar. Bu malzeme genellikle balataya karşıt yüzeye (diske) olan agresivliğinden sakınmak ve sürtünme değişimini kontrol etmek için eklenir [15].

Alüminyum lifler sürtünme malzemesine genellikle alüminyum metal matriksli kompozit (Al-MMC) fren diskleri kullanıldığı zaman eklenir. Al lifler içeren bir sürtünme malzemesi, bakır ve çelik yününe göre kayma hızından daha az etkilenir [15].

Aramid lifler, lif doğrultusunda güçlü bir kovalent bağ ve enine doğrultuda da zayıf hidrojen bağına sahip olan kristal yapısı sebebiyle yüksek derecede anizotropik özellik sergilemektedir [17]. Bu bakımdan, güçlü bir yapı sağlamak için liflerin uygun doğrultularda üretilmesi gerekir. Aramid liflerin miktarı ile ısı direnç doğru orantılı olarak artarken, sürtünme kararlılığı çok fazla değişmez [18]. Genellikle balata malzemesi içerisinde yapısal olarak kullanılan aramid, lifli yapısı sebebiyle abrasiv olarak da görev yapar. Sürtünme esnasında sıcaklık 450°C'yi aştığında ise yağlayıcı olarak görev yapmaya başlar [19].

Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, tüm bileşenleri bir arada tutmak ve kararlı bir matriks oluşturmak için kullanılır. Bu malzemeler polimer esaslı olduğundan, yüksek sıcaklıklara dayanıksızdırlar ve sürtünme malzemesinin içinde değişimi en az tahmin edilebilen komponentlerdir. Genel olarak termoset veya novolac tipte fenolik reçine yer alır ve sönümlenmeyi arttırmak için lastik tozu ile birlikte kullanılır [14].

Fenolik reçine gibi polimer malzemeler, her reçine tipi için farklı olan bir sıcaklık aralığında bağlayıcılık

özelliği kazanır. Bu olay polimerizasyon olarak bilinir ve katlı bağ (C=C gibi) yapısına sahip küçük temel moleküllerin, herhangi bir yan ürün oluşturmaksızın ısı vererek her molekülün birbiriyle tek katlı yeni bağ ile zincir şeklinde makromolekülleri meydana getirir [20]. Ancak, frenleme esnasında oluşan çok yüksek sıcaklıklar polimerin yapısını bozarak kimyasal bağların yanmasına ve bağlayıcılık özelliğini yitirmesine neden olur ve balata-disk ara yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetlerinde büyük bir düşüş meydana gelir. Dolayısıyla reçine konsantrasyonunun düşük olması fiziksel özelliklerin zayıf olmasına, yüksek konsantrasyonu ise yüksek sıcaklıklarda sürtünme katsayısının düşmesine sebep olur [21, 22, 23]. Porozite ve sertlik gibi sürtünme malzemesinin fiziksel özelliklerinin değişimi reçine oranıyla orantılıdır, moleküler bağ yapısı değiştirilerek termal dayanımı artırılabilir ve balatanın disk malzemesine alışma süresi kısaltılabilir [24].

Abrasivler

Abrasivler, disk-balata ara yüzeyinde yüksek ve kararlı bir sürtünme katsayısı sağlamak için katılırlar [14]. Abrasive olarak kullanılan $ZrSiO_4$, potasyum titanat, sürtünme tozu (cashew partikülleri), pirinç ve silikat sürtünme katsayısını arttırmalarına karşın uygun yağlayıcı ve yapısalların kullanılmaması durumunda disk aşınmasına sebep olurlar.

Abrasiv olarak kullanılan $ZrSiO_4$ (zirkonyum silikat) sürtünme torku üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek oranlarda kullanılması durumunda yüksek bir sürtünme katsayısı sağlamasına karşın tork kararsızlığını arttırdığı gözlenmiştir [25]. Tork değerinin büyük değişimler sergilemesi ise ara yüzeyde oluşan sürtünme tabakasının kalkmasına neden olur ve bu durum aşınma miktarını arttırdığı için istenmez.

Potasyum titanat lifleri'nin direkt olarak sürtünme ve aşınma davranışını iyileştirdiği yapılan araştırmalarda ispatlanmıştır [26]. Özellikle yüksek sıcaklıklarda (204°C civarında) aşınmanın %40 azaldığı, sürtünmenin %30 arttığı tespit edilmiştir. Termal dayanımın yanında

bağlayıcı reçine ile uyumluluğu da son on yıl içinde yapılan araştırmalarda dikkati çekmiştir. Abrasivler üzerine yapılan bir çalışmada [17] balata malzemesi içinde yer alan aramid lifleri ve potasyum titanat'ın sinerjistik etkisi ile optimum oranlarda kullanımının en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir. Aramid liflerin malzemeleri bir arada tutma kabiliyeti ve potasyumun ısıl direnci birbirini tamamlayarak balata-disk ara yüzeyinde oluşan sürtünme filminin bağ dayanımını arttırmıştır.

Sürtünme tozu organik esaslı bir malzemedir ve genellikle yüksek sıcaklıklarda sürtünme dayanımını ve soğuk aşınmayı iyileştirmek için kullanılır. Bağlayıcı sistemin elastikiyetini artırır, kesikli sürtünme ve buna bağlı olarak oluşan gürültü ve vibrasyonu azaltır [16, 19].

Balata abrasiv olarak yer alan pirinçin içerisindeki çinko sürtünme esnasında balata yüzeyinden diske transfer olur. Bu sebeple frenleme sonrasında balata yüzeyi ve sürtünme tabakası içerisinde yer almaz. Disk yüzeyi incelendiğinde ise Zn ve O'nin homojen bir şekilde dağılmış olduğu görülmüştür. Bu yüzden pirinç abrasiv olarak görev yapmasının yanı sıra, yüksek sıcaklıklarda oluşan çinko oksit sebebiyle katı yağlayıcı olarak da görev yapar [27, 28]. Benzer durum kalsiyum sülfatta da meydana gelir [29].

Yağlayıcılar

Fren sistemlerinde yağlayıcı olarak genellikle grafit, farklı metal sülfidler, antimonite (Sb_2S_3) gibi katı yağlayıcı tercih edilmektedir. Katı yağlayıcılar normal şartlar altında rotor yüzeyinde sürtünme filmi oluşturur ve bu filmin sürtünme katsayısını öncelikle yüksek sıcaklıklarda stabilize etme, balata-disk aşınma kontrolünü sağlama, gürültü eğilimini azaltma ve vibrasyonu söndürme gibi çeşitli faydaları bulunmaktadır [30, 31].

Grafit, karbon elementinden oluşan bir polimorfudur. Balata malzemesi içinde iyi bir yağlayıcı ve ucuz olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak 700°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yanmaktadır. [21]

Tablo 1.'deki gibi bir kompozisyona sahip balata malzemesinde yapılan testler esnasında Sb_2S_3 'in arayüzeyde yüksek sıcaklıklarda (> 450°C) oluşturduğu antimon oksit tabakasının yağlayıcı etkisi dolayısıyla

Tablo 1. Polimer Matrisli Balata Malzemesi İçin Kompozisyon (% hac) [25].

Malzeme	% Hac.	Malzeme	% Hac.	Malzeme	% Hac.
Fenolik reçine	20	Ca(OH) ₂	3	Lastik part.	3
Aramid pulp	6	MoS ₂	3	Mika	3
Seramik fiber	3	Grafit	5	Sb ₂ S ₃	2-6
Bakır fiber	3	Sürtünme tozu	10	ZrSiO ₄	2-6
Baryum sülfat	20	Vermikülit	3	Potas. titanat	Yeterli miktarda

Disk Malzemesi: Gri Dökme Demir.

sürtünme kararlılığını iyileştirdiği ortaya çıkmıştır. Dinamometre üzerinde gerçekleştirilen aşınma testlerinde ise en düşük aşınma oranının maksimum Sb₂S₃ ve minimum ZrSiO₄ kullanılması durumunda elde edilmiştir [25, 31].

Ancak son yıllarda Sb₂S₃ üzerine yapılan çalışmalar, bu malzemenin kanser riski taşıdığını göstermiştir. Sb'nin frenleme esnasında bileşikten ayrılması ile bir kısmının havaya toz olarak karıştığını, bir kısmının ise oksijen ile Sb₂O₃ oluşturduğunu (Sb₂O₃ fizyolojik sıvı içerisinde çözünebilir) ve bunların insan sağlığını tehdit eden kanserojen maddeler olduğu tespit edilmiştir.[32]

Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri, temelde maliyeti azaltmak ve üretilebilirliğini iyileştirmek için kullanılır. Mika ve vermikülit'in yanı sıra BaSO₄, potasyum titanat, aramid lifler, CaCO₃ ve Al₂O₃ da genelde kullanılan diğer dolgu malzemeleridir. [14]

Vermikülit frenleme esnasında oluşan yüksek sıcaklıklar sebebiyle eksen boyunca akordiyon gibi uzamaktadır. Bu karakteristik genişlemenin, yapıda bulunan kristal suyunun aniden buharlaşması sonucu oluşan buhar basıncından kaynaklandığı düşünülmektedir. 870°C'nin üzerinde içerdiği su buharlaşır ve geriye kalan partiküller solucan (helisel) şeklinde genişler [19, 3].

BaSO₄ miktarı azaltıldığında yüksek sıcaklıklarda dahi sürtünme katsayısı kararlılığını koruduğu, ancak aşınma oranının önemli derecede arttığı gözlenmiştir. Alternatifi olarak CaCO₃ kullanılır. Daha ucuzdur, ancak yüksek sıcaklıklarda dayanıksızdır [19].

POLİMER MATRİSLİ FREN BALATA MALZEMELERİNİN ÜRETİMİ

Fren balata malzemeleri çok ince tozlar halindeki metal veya metal dışı malzemelerin karıştırılması, istenilen formda preslenmesi ve kontrollü bir atmosfer altında belirlenen süre içerisinde sinterlenmesini kapsayan üretim prosesinden oluşmaktadır. Bu yöntem ile tek bir aşamada üretim yapmak mümkündür [33].

Fren balata üretiminde bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni farklı özelliklere sahip karışım malzemelerinin özelliklerini yitirmeden üretiminin gerçekleştirilebilmesidir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı düşük olan lastik tozu, kauçuk, reçine gibi polimer esaslı malzemeler üretim esnasında yanarak özelliklerini yitirebilirler. Dolayısıyla fren balata malzemeleri yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen döküm gibi yöntemlerle üretilemez. Toz metalürjisi yöntemiyle yapılan bir fren balatası üretiminde ise balatayı oluşturan tüm malzemeler üretim esnasında özelliklerini korur, istenen boyutlara sahip gözenekli bir yapı elde edilebilir ve farklı boyut ve şekle sahip malzeme tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür.

Polimer matrisli balata malzemelerinin üretimi; karıştırma, şekillendirme (kalıplama) ve daha sonra partiküllerin sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir.

Karıştırma: Karıştırma işleminin tipi çoğunlukla karışımı oluşturan malzemelerin türüne bağlıdır. Özellikle yoğunlukları, partikül boyutları ve bazen yüzey karakteristikleri ve şekilleri önemli farklılıklar gösteren toz bileşenlerde karıştırma işlemi zor olabilmektedir.

Karıştırma işlemi segregasyonu önlemek açısından çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Segregasyonu önlemek için karışıma genellikle yağlayıcı (grafit gibi) eklenir [34] ve düşük viskoziteye sahip olan toz veya sıvı (sıvı reçine gibi) komponentlerin homojen karışması için karıştırıcı kollar ile kesici bıçakların birlikte karıştırma işlemini gerçekleştirmesi gerekir.[35]

Kalıplama: Kalıplama işlemi, karıştırma işleminden sonra homojen olarak dağılmış olan toz partiküllerinin hidrolik veya mekanik preslerle bir kalıp içerisinde sıkıştırılması işlemidir. Kalıp içerisine tozlar doldurulduktan sonra, üst baskı plakası ile tek yönlü basma gerçekleşir. Uygulanan basınç arttıkça toz kütlelerinin yoğunluğu artar, gözenek oranı azalır [36]. Aşağıda verilen (1) no'lu denklemden de görüldüğü gibi sıkışma oranı porozite üzerinde direkt etkiye sahiptir; [35]

$$P = 100 - V \quad (1)$$

P (% porozite) ve V (% sıkışma oranı) değerleri Young modülü ve malzemenin sönümlenme özelliği ile doğrudan ilgilidir. Bu yüzden kalıplama parametreleri fren balata malzemesinin özelliklerine doğrudan etkilediği için oldukça önemlidir.

Bazı araştırmacıların yaptıkları çalışmalar ile

kompozisyona sahip olan karışımın bir kalıp içerisinde belirli basınçta yoğunlaştırılmasıdır. Bu işlem soğuk olarak gerçekleştirilmekte ve balatanın ön şeklini oluşturmak için 200-600 MPa basınç uygulanmaktadır.

Sıcak Şekillendirme: Bu proses genellikle kalıplamada yoğunluk ile yakından ilgilidir. Şekillendirme burada, balatanın son boyutlarına oldukça yakın hatların oluşması anlamındadır. İşlem yaklaşık 140-250°C civarında yapılmaktadır. Bazı balataların üretiminde ön ve sıcak şekillendirme işlemleri tek bir aşamada uygulanabilmektedir [35].

Sinterleme: Sinterleme, yüksek sıcaklıklarda kontrollü atmosfer altında toz partiküllerinin kimyasal bağlanmasını sağlayan işlemdir. Özellikle, fren balatalarında sinterleme koşulları (sıcaklık ve süre) reçine üreticileri tarafından belirlenir ve reçinenin yapısına zarar vermeyecek üretim parametrelerinde gerçekleşir. Ayrıca sinterleme sıcaklığı, süresi ve atmosferi gözenekliliği de büyük oranda etkiler. Çünkü sıcaklıkla bağlayıcı reçinenin akıcılığı ve dolayısıyla gözeneklilik de değişir. Gözenekliliğin en önemli avantajı, ses ve vibrasyonu sönümlenme özelliklerine sahip olmasıdır [37]. Balata üretiminde kullanılan farklı araştırmacıların tespit ettikleri üretim parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı Araştırmacılara Göre Üretim Parametreleri.

İşlemler	Üretim Parametreleri	[37]	[17]	[16]	[23]	[38]
Karıştırma	Zaman (dak)		5			1.10
	Yöntem		Kuru			kuru
Ön Şekillendirme	Zaman (dak)	1	1			
	Sıcaklık (°C)	100	100	oda sic.		
	Basınç (MPa)	20	20	34.3		
Sıcak Şekillendirme	Zaman (dak)	6	10	10		50
	Sıcaklık (°C)	225	160	160	145	177
	Basınç (MPa)	27	35	31.36	41.36	
Sinterleme	Zaman (saat)	6	6	6	12	1
	Sıcaklık (°C)	200	200	210	180	140

kalıplama basıncı ve zamanının yüzey sertliği üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir [37]. Balatalarda kalıplama ön ve sıcak şekillendirme olmak üzere iki aşamada gerçekleşen bir süreçtir;

Ön şekillendirme: Karıştırma işleminden sonra belirli

SONUÇ

Kullanımda yer alan ve henüz gelişim aşamasında olan polimer matrisli fren balata malzemelerinin kompozisyonlarına bakıldığında, içinde bulundurduğu

komponent ve oranlarına göre balata malzemesinin sergilediği tribolojik özellikler de değişim göstermektedir. Taşıtın tipi, yükleme durumu, çevre koşulları, trafik durumu gibi faktörler de göz önüne alınarak uygun bir balata malzemesinin seçimi ve üretim parametrelerinin optimizasyonu ile frenlemeden istenen performansı ve konforu sağlamak mümkündür. Yapılan bu çalışma ile, polimer matrisli fren balata malzemelerinin kompozisyonunu oluşturan komponentlerin ve üretim parametrelerinin sürtünme performansı bakımından önemi literatürdeki çalışmalar derlenerek sunulmuştur.

KAYNAKÇA

1. **Paustenbach, D.J., Richter, R.O., Finley, B.L., and Sheehan, P.J.** (2003) An Evaluation of the Historical Exposures of Mechanics to Asbestos in Brake Dust, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 18: 786804.
2. **Paustenbach, D.J., Finley B.L., Lu E.T., Brorby G.P., Sheehan P.J.** (2004) Environmental and Occupational Health Hazards Associated with the Presence of Asbestos in Brake Linings and Pads (1900 To Present):A "State-Of-The-Art" Review. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 7:33110
3. **Blau, P.J.** (2001) Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Mater. and Their Additives, U.S. Department of Energy, Office of Transportation Technologies, USA, 38.
4. **Day, A.J.** (2000) Friction, Friction Materials, and Brake Operational Characteristics, Short Course on the Braking of Road Vehicles, University of Bradford, 4-8 September p. 13.
5. **Uygun, M.E.,** (1996) Balata Üretim Teknolojisi, I. Ulusal Toz Metalurjisi Kongresi, Bildiriler kitapçığı, Gazi Üniversitesi, Ankara, s. 6-17.
6. **Boz, M.,** (2003) Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme-Aşınma Özel. Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara. s. 3-47.
7. **Österle, W., Griepentrog, M., Gross, T.H. and Urban, I.** (2001) Chemical and microstructural changes induced by friction and wear of brakes, Wear 251. 14691476.
8. **Bark, L.S.** (1977) Wear 41, 309.
9. **Jacko, M.G.** 1978. Wear 46 (1978) 163.
10. **Schneider, L.** (1988) Schmierungstechnik (Berlin) 19 (1988) 205.
11. **Jacko, G.K. and Rhee, S.K.** (1992) Kirk Othmer Encyclop. Chem. Tech., 4th edn, John Wiley & Sons, New York, 523-536.
12. **Lu, Y.** (2004) Optimization of a Semimetallic Friction Material Formulation. Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 23, No. 14., 1537-1545.
13. **Lu, Y., Tang, C.F. and Wright, M.A.** (2002) Optimization of a Commercial Brake Pad Formulation. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 84, 2498-2504.
14. **Eriksson, M., Bergman, F. and Jacobson, S.** (2002) On the Nature of Tribological Contact in Automotive Brakes, Wear 252. 26-36.
15. **Jang, H., Ko, K., Kim, S.J., Basch, R.H. and Fash, J.W.** (2003) The Effect of Metal Fibers on the Friction Performance of Automotive brake friction materials, Wear (article in press).
16. **Jang, H., Lee, J.S. and Fash, J.W.** (2001) Compositional Effects of the Brake Friction Material on Creep Groan Phenomena, Wear 251. 1477-1483.
17. **Kim, S.J., Cho, M.H., Lim, D.S. and Jang, H.** (2001) Synergistic Effects of Aramid Pulp And Potassium Titanate Whiskers in the Automotive Friction Material, Wear 251, 1484-1491.
18. **Kim, S.J. and Jang, H.** (2000) Friction and Wear of friction Materials Containing Two Different Phenolic Resins Reinforced With Aramid Pulp. Tribology International 33, 477-84.
19. **Nicholson, G.** 1995. Facts About Friction, P&W Price Enterprises, Inc., Croydon, PA.
20. **Demirci, A.H.** (2004) Mühendislik Malzemeleri, Önemli Endüstriyel Malzemeler ve Isıl İşlemleri, Alfa Akademi Basım Yayıncılık Ltd.Şti. Eminönü/İstanbul. S.176-229.
21. **Spurr, R.T.** (1972) Fillers in Friction Materials, Wear 22, 367-409.
22. **Walsh, P. and Spurr, R.T.** (1979) Journal in Mech E (Railway Div), C 161, 137.
23. **Abbasi, F., Shojaei, A. and Katbab, A.A.** (2000) Thermal Interaction Between Polymer-based Composite Friction Materials and Counterfaces. Jour of Applied Pol Sci, Vol. 81, 364-369.
24. **Kim, S.J. and Jang, H.** (2000) Friction and Wear of Friction Materials Containing Two Different Phenolic Resins Reinforced With Aramid Pulp. Tribology International 33, 477-84.
25. **Jang, H. and Kim, S.J.** (2000) The Effects of Sb₂S₃ And Zirconium Silicate ZrSiO₄ in the Automotive Brake Friction Material on Friction Characteristics. Wear 239, 229236.
26. **Halberstadt, M. L., Mansfield, J. A., Rhee, S.K.** (1977) Effects of Potassium Titanate Fiber on the Wear of Automotive Brake Linings, International Conference on the Wear of Materials, St. Louis, Mo., U.S.A., April 2628.
27. **Prasad, S.V. and Zabinski, J.S.** (1997) Tribological Behaviour of Nanocrystalline Zinc Oxide Films, Wear 203-204. 245-256.
28. **Österle, W. and Urban, I.** (2004) Friction Layers and Friction Films on PMC Brake Pads. Wear 257, 215-226.
29. **John, P.J., Prasad, S.V., Vaevodin, A.A. and Zabinski, J.S.** (1998) Calcium Sulphate as a High Temperature Solid lubricant. Wear 219. 155-161.
30. **Godet, M.** (1984) The Third-Body Approach: A Mechanical View of Wear, Wear 100. 437-452.
31. **Munz, M., Schulz, E. and Sturm, H.** (2002) Use of scanning force microscopy studies with combined friction, stiffness and thermal diffusivity contrasts for microscopic characterization of automotive brake pads. Surface and Interface Analysis 33. 100-107.
32. **Uexküll, O., Skerfving, S., Doyle, R. and Braungart, M.** (2005) Antimony in brake pads-a carcinogenic component? Journal of Cleaner Production 13, 1931.
33. **Yavuz, N.** (2002) Toz Metalurjisi Ders Notları. Uludağ Üniversitesi Müh-Mim. Fak. Makine Müh. Böl. Bursa.
34. **Kuhn, H.A., Lawley, A.** (1978) Powder Metallurgy Processing New Techniques and Analyses, Academic Press, New York, San Francisco.
35. **Oehl, K.H. and H.G. Paul.** 1990. Brake Linings for Road Vehicles. Verlag Moderne Industrie AG&Co, D-8910, Box 1751, Germany, p. 4-44.
36. **Öveçoğlu, M.L.** (1997) Toz Metalurjisi Tarihsel Gelişimi, Üretim Aşamaları ve Yeni Eğilimler, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, Türkiye, s. 449-475.
37. **Kim, S.J., Kim, K.S. and Jang, H.** (2003) Optimization of Manufacturing Parameters For a Brake Lining Using Taguchi