






Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi İle Alüminyum Alaşımli Otomobil Jant Üretimini Simülasyonu

Simulation of Aluminum Alloy Automobile Wheel Production by High Pressure Die Casting

Samed Berker IŞIK^{1*} , Muzaffer ZEREN² , Kemal ATAMAY³ 

¹ Kırpart Otomotiv Parçaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8251-3237

² Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-5490-3799

³ Kırpart Otomotiv Parçaları Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-7747-5491

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 26/12/2019

Kabul Tarihi : 30/06/2020

Anahtar Kelimeler

Alüminyum
Jant
Alçak Basıncılı Döküm Yöntemi
Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi
MagmaSoft 5.4.

Research Paper

Received Date : 26/12/2019

Accepted Date : 30/06/2020

Keywords

Aluminum
Wheel
Low Pressure Die Casting
High Pressure Die Casting
MagmaSoft 5.4.

Özet

Otomobil üreticileri yolcu güvenliğini göz önünde bulundurarak konforlu, küresel ısınma ile mücadelede destek olan ve yakıt tüketimi az olan araçlar geliştirmek için bir takım çalışmalar yürütmektedir. Yoğunluk, maliyet, işlenebilirlik, elektriksel iletkenlik, üretilebilirlik, estetik, korozyon direnci ve geri dönüşüm özelliklerinden dolayı Al-Si alaşımli jantlar otomobil üreticileri tarafından tercih edilmektedir. Ana ekipman üreticisi ürün için tüm spesifikasyonları belirlesede inovatif yaklaşımlarla aynı ürün özellikleri elde edebilecek, az maliyetli üretim yöntemlerini kabul etmektedir. Yüksek basınçlı otomobil jant üretimi yöntemi ile alçak basınçlı döküm yöntemi karşılaştırıldığında ana ekipman üreticilerine katma değer katarak alüminyum alaşımli jant sektörüne rekabet kazandıracığı düşünülmektedir. Bu çalışmada, MagmaSoft 5.4. simülasyon programında, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretimi için simülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Simülasyon sonuçları gerekli iyileştirmeler yapıldıktan sonra jant üretiminin yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilebileceğini doğrulamıştır.

Abstract

Considering the passengers' safety, automobile manufacturers have been performing a study to develop comfortable, supportive to the fight against global warming and fuel-saving cars. Thanks to its features like intensity, low cost, machinability, electrical conductivity, productivity, esthetic, corrosion resistance and recycling, Al-Si alloy wheel have been preferred by the automobile manufacturers. Although main equipment producer has determined all specifications for the product, it accepts the cheaper production methods which produce all same specificatipons with innovative approach. When compared with low pressured die casting method, high pressured wheel manufacturing method has been found to provide added value to the main equipment producers and thanks to this, it is thought that high pressured wheel manufacturing shall nring the competition to the compounded wheel sector. There have been studied simulations on MagmaSoft 5.4. simulation program to producer wheels bu high pressured die cansting method and the results of simulations have also corrected the idea of manufacturing wheel by high pressured casting method after improvements are done.

1. Giriş

Otomobil üreticileri güvenlik ve konfordan ödün vermeden az yakıt tüketen araçlar geliştirmek için çalışmaktadır. Bu çalışmalarda alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif metaller ön plana çıkmaktadır. Alüminyumun otomobil ana ve yan sanayi üreticileri

tarafından kullanımı, maliyet, işlenebilirlik, elektriksel iletkenlik, üretilebilirlik, estetik, korozyon direnci ve geri dönüşüm özelliklerinden dolayı her geçen yıl artmaktadır. Yolcu güvenliği için alüminyum ve alaşımları beklentileri karşılamakta, çarpışma anında enerji absorbe edebilen yüksek darbe emiş özelliğinden dolayı tercih edilmektedir [1].

Bu üstün özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımları otomobil jant üretiminde tercih edilmekte ve kullanımı her

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): samedberker@gmail.com



geçen yıl artmaktadır. Yerli alüminyum alaşımlı jant üretimi 25 yıl önce yılda 20.000-25.000 adet iken, günümüzde yılda 9.000.000 adet kapasiteye ulaşmıştır [1].

Alüminyum çevrenin korunmasına destek olmaktadır. Petrol türevi yakıtlara bağımlı olan otomotiv sektöründe, CO₂ salınımının küresel ısınmaya etkisi göz önüne alındığında, otomobil ağırlıklarının azaltılması gereklilik haline gelmiştir. Bu nedenle otomotiv sektöründe alüminyum kullanımı artmış ve otomobil başına alüminyum kullanımı yıllara göre lineer artış göstermiştir. Günümüzde ağırlık azaltmak amacı ile Al-Si alaşımları otomobil jant üretiminde kullanılmaktadır. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen alüminyum alaşımlı jantlar için ötektik altında bulunan Al-Si alaşımları kullanılmaktadır. A356 olarak bilinen AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları en yaygın kullanılan otomobil jant alaşımlarıdır. AlSi9Mg alaşımının kullanım oranı düşük olsada otomobil jant üretiminde kullanılmaktadır [2,3].

Mühendislik problemleri barındıran jant üretim prosesi inovatif yaklaşımlara açıktır. Araç sayısının artış gösterdiği günümüz piyasasında rekabetin yolu yenilikçi çözümlerden geçmektedir. Rekabet, kaliteli ürünü en hızlı şekilde, mümkün olan en ucuza üretmeyi gerektir [1].

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde, alçak basınçlı döküm yöntemine göre yüksek kontrollü katılaşma yönlendirmesinin yapmak mümkündür. Yüksek basınçlı döküm yöntemi kontrollü katılaşma ile üretim süresinin azalması, gelişmiş mikroyapısal özelliklerle ısıl işlem maliyetlerinin ortadan kalkması açısından otomobil jant üretiminde avantaj sağlayacaktır.

2. Alüminyum Alaşımlı Jantların Üretimi

Jantlar, tek parça olarak üretilen tubeless otomobil jantlarından, 6 parçalı 25" çapında ağır iş makinalarının jantlarına kadar farklı formlarda ve farklı özellikleri karşılayacak şekilde dövme, sıvama (flow-forming) ve alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilmektedir. [4].

Bu çalışmada otomobil ve hafif araç jantlarının üretiminde tercih edilen alçak basınçlı döküm yöntemi incelenmiştir.

Yüksek yüzey özellikleri ve yüksek mekanik dayanım ihtiyaçları nedeni ile eski zamanlarda tercih edilen gravite döküm yöntemi yerini alçak basınçlı döküm yöntemine bırakmıştır. Alçak basınçlı döküm yönteminde sıvı metal, hava ile temas etmediği için temiz sıvı metal ile döküm gerçekleştirilir [1].

Tek parçalı jant üretimi tasarım ve ürün geliştirme ile başlamaktadır. Daha sonra simülasyonlarla üretilecek ürünün iyileştirme çalışmaları yapılır. Jantın fiziksel özellikleri tamamıyla belirlendikten sonra dökümü için kalıp imalat süreci başlatılır [4].

Alçak basınçlı döküm yönteminde master alaşımlı alüminyum külçelere, giriş kalite bölümünde şartname gereği, mikroyapı kontrolü, görsel kontrol ve kimyasal kompozisyon analizi yapılır. Şartname şartlarını sağlayan külçe partisi ergitilmek üzere gerekli birimlerde bekletilir [1].

Ergitme ile hammadde hazırlığı başlar. %100 master alaşımlı külçelerin ergitilmesi ideal durum olsada üretimin gerekliliklerini yerine getirecek şekilde külçe ve yolluk belli oranlarda birlikte ergitilerek maliyet azaltma ve geri dönüşüm sağlanır [1].

Gaz almadan önce tane inceltme, modifikasyon ve alaşımlandırma için gerekli ilaveler yapılır. Gaz alma ünitesinde, ergiyük içinde bulunan oksit, yabancı partiküller ve H₂ sıvı metalin yüzeyine çıkartılır. Azot gazı, farklı tepkimeler ile hidrojenleri mekanik olarak yüzeye yapıştırıp, ametalik olarak yukarı çıkarır [1].

Sıvı metal dozaj ocağına aktarıldıktan sonra döküm başlar. Sıvı metal aşağıdan yukarıya doğru, kalıp içine alçak basınç ile doldurulur. Döküm kalıbının büyüklüğüne göre uygulanan basınç değişkenlik gösterebilir ortalama 1 Bar civarındadır. Kalıp doldurulduktan sonra basınç düşürülür ve katılaşma gerçekleşir [1,2].

Katılaşmayı yönlendirmek için kalıp içine soğutma kanalları yerleştirilmektedir. Alçak basınçlı dökümde hava ile soğutma uygulanan kalıplarda döküm yönüne ters olacak şekilde katılaşma gerçekleşir. Basınçlı döküm yönteminin başarısı ısı transferine ve kalıp sıcaklığına bağlıdır. Metal kalıpların et kalınlıklarının belirlenmesi, gerektiğinde soğutma kanallarının tasarlanması gerekmektedir. Kalıp maliyetleri pahalı olduğundan, bu yöntem seri üretim için ekonomik bir yöntemdir [1,4].

İnce kesitli ve kompleks geometriye sahip otomobil jantlarında sıvı metalin katılaşmadan kalıbı doldurabilmesi için kaplama uygulanmaktadır. Kaplama, bağlayıcı, seramik tanecikler ve sudan oluşmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve ısı transferi sıvı metalin kalıba dolmasını etkilemektedir. Bu kaplamalar sıvı metalin katılaşmadan tüm kalıbı doldurmasına yardımcı olurlar. Kaplama malzemesi sıvı metalin, kalıp çeliği ile direk temasını keserek kalıp ömrünü uzatmaktadır. Yapışma problemlerini çözerek, parçanın kalıp yüzeyinden deforme olmadan çıkmasını sağlamaktadır. Kaplama ömrü tamamlanan kalıplar döküm tezgahından alınır, kumlama ile temizlenir ve tekrardan kaplanırlar [2].

Katılaşma tamamlandıktan sonra sıcak parça döküm kalıbından robot ile çıkartılır. Sonraki proseslerde tezgah ve operatöre zarar vermemesi için su soğutma tanklarına daldırılarak sıcaklığı düşürülür. Brüt jant üzerinde oluşan çapaklar temizlenir ve X-Ray kontrolüne gönderilir.

Malzeme içinde oluşabilecek süreksizlikleri (döküm boşluklarını) analiz etmek için brüt jantlar, müşteri şartnamelerine bağlı kalarak X-Ray kontrolünden geçirilir. Jant emniyet parçası olduğu için %100 X-Ray kontrol mecburiyeti vardır. X-ray kontrolünden sonra, üretilen ürüne göre ısıtma işleme veya talaşlı imalata gönderilir [1].

Isıl işlem uygulanacak alüminyum alaşımlı jantlara, T6 yapay yaşlandırma ısıtma işlemi uygulanır. T6 yapay yaşlandırma işlemi sırasıyla çözeltiye alma (homojen bir katı çözelti), su verme, yaşlandırma (difüzyon ve zaman) adımlarından oluşmaktadır [1].

Isıl işlemi tamamlanan veya dökümden direkt talaşlı imalata gelen brüt jantlara göbek boşaltma, iç-dış çap delik ve offset kenarlarının işlenmesi, kapak ve stil işlenmesi, bijon ve subap deliklerinin açılması işlemleri uygulanmaktadır. Ön yüzey işlemeli jantlar, sıvı boya ve vernik uygulamalarından sonra, talaşlı imalat bölümüne tekrar gönderilir ve yüzeyleri işlenir. İşlenen yüzeyler korunarak vernik atılması için tekrar boya atölyesine gönderilir [1].

Kaçak kontrolü, güvenlik karakteristiği olduğu için %100 yapılmaktadır. Şartnamelerde belirlenen sızdırma değerinin altında kaçak veren jantlar onay olarak balans kontrol ünitesine gönderilir. Janta özel, tanımlı kontrol ağırlığı janta takılır ve döndürülür. Jantın merkezden kaçıklık değeri ve bölgesi ölçülerek tezgaha kayıt edilir. Şartnamelerde belirlenen değerlerin dışında ise iskarta olarak ayrılır. Balans ünitesinde onay olan jantların tesviye işleminde jantın üzerinde kalan çapaklar, yüzey bozukları ve keskin köşeler giderilir [1].

Boya sürecinde amaç, janta estetik görünüm kazandırmak, korozif etkilerinden korumak ve jant ömrünü özel kaplamalar ile uzatmaktır. Boya atölyesinde jantlar sırasıyla yüzey hazırlama, toz boya, sıvı boya ve vernik ünitelerinde işlem görürler. Yüzey hazırlama ünitesinde, boya sürecinde görsel olarak uygunsuzluklar oluşmaması için çeşitli banyolardan geçirilerek yüzey hazırlama işlemi uygulanır. Toz boya tesisinde amaç sıvı boya öncesinde parça yüzeyini pürüzsüz hale getirmektir. Toz boyanın kürlenmesi için toz boya fırınında bekletilen jantlar, daha sonra soğutma tünellerine sevk edilir. Sıvı boya ünitesinde sıvı boya uygulanan jantlar, boya içindeki çözücülerin uçurulması için üniteye belli bir süre tutulmaktadır. Sonrasında vernik kabini son kat olan vernik uygulaması yapılır. Sıvı boyanın kürlenmesi için sıvı boya fırınından ve son olarak soğutma tünellerinden geçirilerek bir jantın boya süreci tamamlanır [1].

Müşteri hata kataloğuna göre %100 görsel kontrole tabi tutulan jantlar, müşteri talebine göre paketlenerek, sevkiyata hazır halde ambara teslim edilir [1].

2.1. Jantlara Uygulanan Testler

Hangi üretim yöntemi ile üretilirse üretilsin jantların üzerinde oluşan gerilim kuvvetleri aynıdır. Jantlar hareket eden aracın seyrini, sürücü ve yolcuların can güvenliğini etkileyen temel otomobil bileşeni olduğu için kalite standartlarına ve şartnamelere bağlı kalarak çeşitli testlerden geçmektedir [5].

Mikroyapı analizi ISO/IEC 17025 standardında belirtildiği gibi yapılır. Jant üzerinde belirlenen metalurjik analiz bölgeleri lastik yüzeyi, feder, göbek, iç flanş ve dış flanş kesitleridir. İnceleme numuneleri 15 saniye süre ile dağlama çözeltisi içinde tutulur. Referans görüntülerle karşılaştırılarak dendrit büyüklükleri, ötektik yapı, modifikasyon dereceleri, yüzeydeki döküm özellikleri incelenir. Mikroyapı içinde oksit ve çekme boşluklarına rastlanmamalıdır. Döküm sonrası yapıda ötektik silisyum lifi yapıda olmalıdır. Isıl işlem sonrası, ötektik yapıda ki silisyum, küresel halde olmalıdır [1].

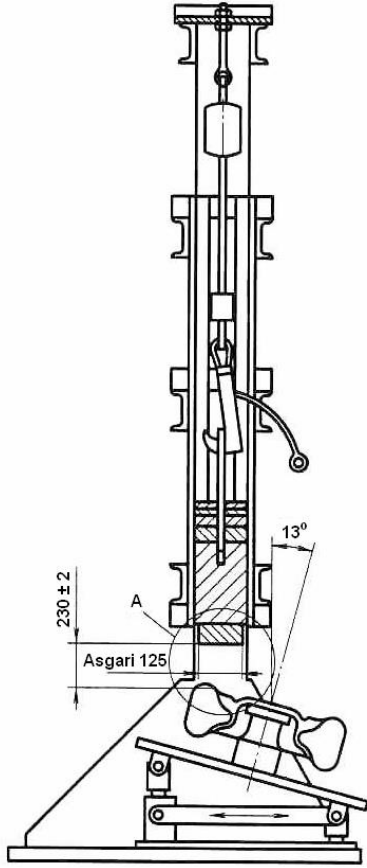
Üretilen jantın kimyasal kompozisyonu optik emisyon spektrometresi ile analiz edilmektedir [1].

Döküm yöntemi ile üretilen jantın Brinell sertlik ölçümü, ASTM E10 ve ISO 6506 standartlarına göre yapılır. Sertlik ölçümü, jant kesidi boyunca stil yüzeyi ve iç flanş üzerinden yapılır [1].

Darbe testi, jantın çalışma şartları altında bir engele çarptığı zaman kenar ve diğer hassas noktalarda kırılmaya karşı direncini kontrol etmek amacıyla yapılır. Jant ve lastik deney makinasında poyra bağlantılarına, darbe yükünün flanşa geleceği şekilde takılır.

Takılan lastik, jant üzerinde kullanılmak üzere en küçük anma kesit genişliğine sahip, radyal katlı, içsiz lastik olmalıdır. Şişirme basıncı, taşıt imalatçısı tarafından belirlenir. Çekiç, lastiğin üzerine ve jant çemberi flanşına 25 mm±1 denk gelecek şekilde olmalıdır. Jant spesifikasyonlarında belirtilen yük, jant çemberi flanşının en yüksek kısmının üstünde 230 mm±2'lik bir yüksekliğe kaldırılır ve düşmek üzere bırakılır [1].

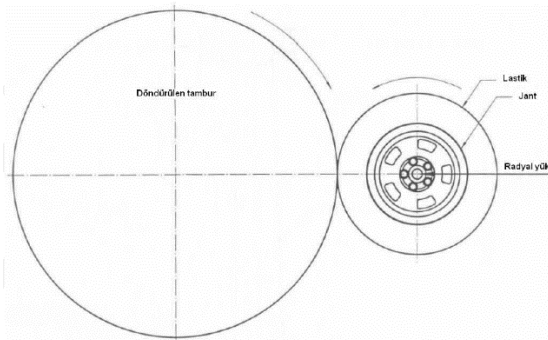
ISO 7141 standardına göre test sonucunda, jant yüzeyinden içeri doğru herhangi bir görünür kırılma yoksa ve deney tamamlandıktan 1 dakika içinde lastik basıncında herhangi bir azalma yoksa deney başarılı olarak kabul edilmelidir. Düşen ağırlık ile doğrudan temas nedeniyle oluşan kırılmalar ve çökmeler kabul edilebilir. Fakat jant merkezi kasnaktan ayrılır ise test başarısızdır. Sökülebilir jant çemberi veya ayrılabilen başka bileşeni olan jantlarda, kol veya havalandırma deliklerine yakın olan dişli bağlantılarda hasar oluşuyorsa jant yapılan deneyde başarısız olmuş kabul edilmelidir [1].



Şekil 1. Darbe testi düzeneği [1].

Dinamik radyal testinde, tambur üzerinde yuvarlanan bir jantın düz sürüş sırasında üzerinde oluşan gerilmeler simüle edilir.

Test sonucunda penetrant ile yapılan kontrolde jant üzerinde çatlak olmamalıdır. Jantın takma civata ve somunlarına uygulanan sıkma momenti başlangıç momentinden max. %30 az olmalıdır, fazlası olması durumunda test başarısız olarak nitelendirilir. Hava sızdırma olmamalıdır [5].

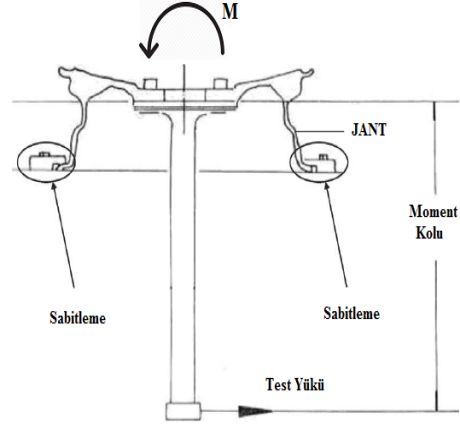


Şekil 2. Dinamik radyal test düzeneği [5].

Dinamik viraj testi viraj boyunca tekerlek üzerine etki eden kuvvetleri simüle etmek amacı ile yapılır. Sabit hızda döndürülen jantın göbek bağlantı yüzeyine sabit bir eğilme momenti uygulanarak jant üzerindeki etkileri incelenir.

Hızlandırılmış ömür testi olarak da bilinir. Müşteri şartnamelerinde, uygulanan moment değerine karşılık jantın çatlaksız olarak tamamlaması gereken tur sayısı, yani ömür belirtilmiştir. Ana ekipman üreticisi, bu yaklaşım ile jantın toplam ömür beklentisini karşıladığını garanti etmektedir [1].

Test sonucunda, penetrant ile yapılan kontrolde jant üzerinde çatlak olmamalıdır. Jantın takma civata ve somunlarına uygulanan başlangıç sıkma momentinde max. %30 kayıp olmalıdır. Fazla kayıp olması durumunda test başarısız olarak nitelendirilir [1].



Şekil 3. Dinamik viraj test düzeneği [1].

Korozyon direnci, ISO 9227 standardına göre tuz püskürtme testi ile belirlenir. Jantın normal kullanımı sırasındaki durumları simüle etmek için numuneye, çapraz çizik ve taş darbesi (ISO 565) ile hasar verilmelidir. Jant, deney düzeneği içine dik konumda yerleştirilir ve her 48 saatte bir jant 90° döndürülür. Korozyondan etkilenen (gizli yerler, vidalar, çinko veya kadmiyum tabanlar, alایش yalıtım kaplamaları, vb.) tüm bölgeler ölçülmelidir. 192 saat sonunda herhangi bir korozyon göstergesi olmamalıdır. 384 saat sonra jant işlevselliği, montaj aksamı ve lastik topuk yatağı korozyondan olumsuz etkilenmemelidir. Bu durum, dinamik viraj deneyi veya dinamik radyal deneyi ile doğrulanmalıdır [5].

Çekme testi için numuneler DIN 50125 standardına göre hazırlanır. Janttan çekme numunesi için alınması gereken referans bölgeleri müşteriler belirlemektedir. Genelde feder, dış flanş ve iç flanş bölgelerinden çekme numunesi hazırlanmaktadır. Elde edilen akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve kopma uzaması verileri malzemeye ait, dayanımı temsil eden temel verileri sağlamaktadır [1].

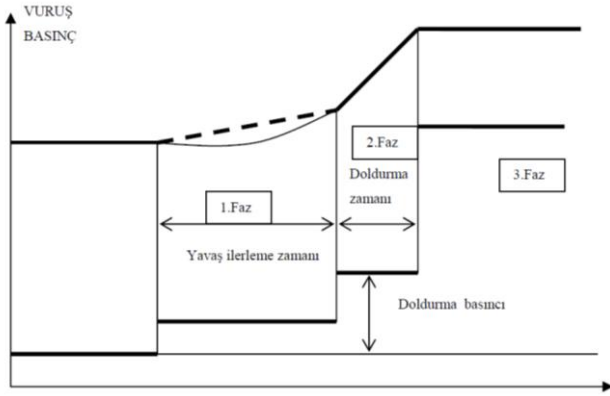
3. Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi

Ergimiş metalin, yüksek hız ve yüksek basınç altında, metal kalıba enjekte edilmesine dayalı, hidrolik ve pnömatik enerji kaynaklarından yararlanan döküm yöntemidir [6].

Otomotiv sektöründe hafif olmasından dolayı alüminyum kullanımının gereksinimleri karmaşıktır ve bu ihtiyacı basınçlı döküm yöntemi karşılamaktadır. Seri üretim için yüksek kalitede ve düşük maliyetle parça üretmenin dökümüne olanak vermektedir. [7, 8]

Yüksek basınçlı döküm tezgahlarında tezgahın fonksiyonu iki kalıp yarımını birbirine karşı sıkı tutmak, ergimiş metalin basınç altında kalıp boşluğuna enjekte edilmesine izin vermek ve dökülmüş parçayı çıkarmak için kalıbı açmaktır [6,10].

Yüksek basınçlı döküm yönteminde döküm prosesi 3 faz halinde alt basamaklara ayrılmaktadır. Birinci fazda, sıvı metal, parçanın figürü olan kalıp boşluğunun yolluk girişine kadar yavaş bir hızla itilir. İkinci fazda sıvı metal yüksek hız ile kısa sürede kalıp gözüne doldurulur. Üçüncü fazda, yüksek basınç altında katılma sağlanır [9,10].



Şekil 4. Yüksek basınçlı dökümde basınç profili [9].

Basınçlı döküm kalıpları hareketli ve sabit olmak üzere iki yarımından oluşur. İki kalıp yarımı sıcak iş takım çeliklerinden üretilmektedir. Kalıplarda sabit veya hareketli maçalar sıkça kullanılmaktadır. Eğer sabit maça kullanılıyorsa, maçanın eksen kalıbın açma eksenine paralel olmak zorundadır. Hareketli maçalar ise genellikle kalıp ayırım hattına paralel olacak şekilde, bazen de açılı olacak şekilde tasarlanırlar. Talaşlı işlemlerden sonra kalıp gravürünü oluşturan parçalar, sertleştirme ve tavlama işlemleri ile yüksek sertliğe sahip olurlar. Basınçlı döküm kalıplarının ergimiş metalle direkt temas etmeyen bileşenlerinin yapımında ise genellikle orta karbonlu çelikler kullanılır [7].

Enjeksiyon hızını etkileyen en önemli faktörlerden biri kalıbın ısı iletkenliğidir. Dökülen alaşım ne olursa olsun kalıbın ısı iletkenliği sabittir. Fakat kalıbı yağlamak için kullanılan yağ veya gres ısı iletimini etkileyerek iletkenliği azalttığı veya arttırdığı için kalıp performansını olumlu yada olumsuz etkileyen bir parametredir [6].

Basınçlı döküm tekniğinde en önemli işlerden biri de kalıbın yağlanmasıdır. Yağlama maddesinin en önemli fonksiyonu döküm yüzeyi ile kalıp boşluğunun iç yüzeyi arasında ince bir yağ filmi meydana getirerek ergimiş

alaşımın kalıp boşluğu yüzeyini ergitip demir bileşikleri meydana getirmesini önlemektir. Aksi halde metal alaşımlarının (demir-çinko, demir-alüminyum ve diğerleri) etkisi altında kalıp kısa zamanda hasarlanarak kullanılmaz hale gelebilir [6].

4. Tasarım Doğrulama ve Simülasyon Çalışmaları

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımlı otomobil jant üretimi araştırmalarında ilk olarak MagmaSoft 5.4. simülasyon programı ile dökülebilirlik ve tasarimsal doğrulama çalışmaları yapılmıştır.

Jant dökümü için seçilen alüminyum alaşımı AlSi9Cu3, döküm sıcaklığı 670°C olarak ayarlanmıştır.

Kalıp malzemesi X40CrMoV51 seçilip, kalıp sıcaklığı yağ ile kontrol edilmek üzere 180°C'ye ayarlanmıştır.

Enjeksiyon piston malzemesi Ø80mm CuCoBe seçilip, piston sıcaklığı su ile kontrol edilmek üzere 25°C'ye ayarlanmıştır.

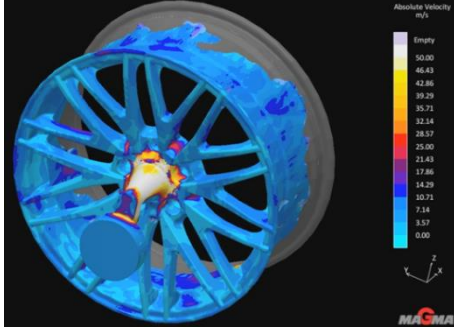
Döküm öncesi kalıp yağlama işlemi 8 saniye yağlama, 8 saniye hava üfleme olacak şekilde toplamda 16 saniye ayarlanmıştır.

Enjeksiyon hız profili ayarlarına bakıldığı zaman, 1.faz hızı artan ivmelenme ile max. 0.2 m/s, ikinci faz hızı 4.0 m/s hıza ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Katılma sırasında uygulanacak spesifik basınç ise 800-1000 bar aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır.

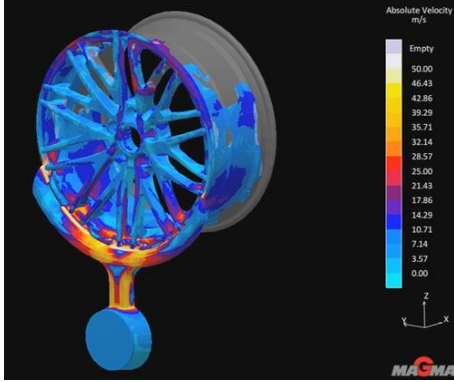
14" otomobil jantının, aynı döküm parametreleri ile farklı yolluk tasarımları ve farklı kalıp tasarımlarından elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Velocity sonucu sıvı metalin kalıp boşluğuna dolarken, hız değerlerini ve akış rejimini gösteren sonuçtur. Yüksek hız, sıvı metalin akış rejimini bozabilir. Bozulan akış rejimi türbülanslı akışa neden olabilir. Bu durum kalıp içinde sıkışan hava basıncının artışına ve hava sıkışmasından kaynaklanan döküm boşluklarının oluşumuna sebep olabilir.

Çalışmada farklı yolluk tasarımları ile parça dolumu incelenmiştir. Sıvı metalin göbek bölgesinden ve flanş bölgesinden giriş yapacağı iki farklı yolluk tasarlanmıştır. Şekil 5.'te görüldüğü gibi sıvı metalin göbek bölgesinden giriş yaptığı yolluk tasarımında parçanın homojen ve laminer akış rejimi ile dolduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6.'da görüldüğü gibi sıvı metalin, flanş bölgesinden giriş yaptığı yolluk tasarımında türbülanslı akış rejimi ile parçanın düzensiz şekilde dolduğu ve kalıp genelinde değişken hızların olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle nihai tasarımda sıvı metalin göbek bölgesinden giriş yaptığı yolluk tasarımı kullanılmaya karar verilmiştir.

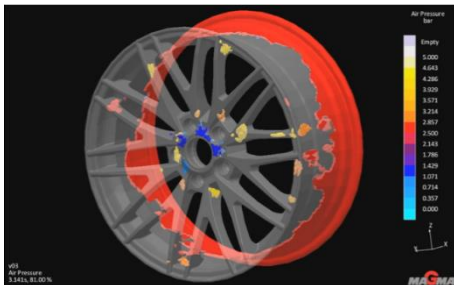


Şekil 5. Göbek bölgesi yolluk tasarımı.

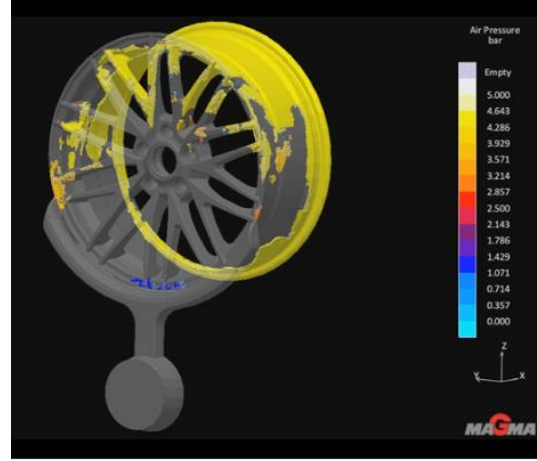


Şekil 6. Flanş bölgesi yolluk tasarımı.

Air pressure sonucu sıvı metalin kalıp boşluğunda ve sıvı metal içinde sıkışan havayı incelememize yardımcı olmaktadır. Hava sıkışmasının neden olacağı poroziteler bu sonuçta analiz edilebilir. İki farklı yolluk tasarımı, parça içinde sıkışan hava basınçlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Şekil 7.'de sıvı metalin göbek bölgesinden giriş yaptığı yolluk tasarımında, kalıpta hava çıkış bölgelerinin olmaması ve vakum sisteminin aktif olmadığı göz önünde bulundurulduğunda sıkışan hava basıncının 5 bar'ı geçmediği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda sıvı metalin önünde süpürdüğü havanın homojen olarak kalıbın son noktasına ulaştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen hava sıkışma sonuçları sıvı metalin göbek bölgesinden dolun yaptığı yolluk tasarımını doğrulamıştır.

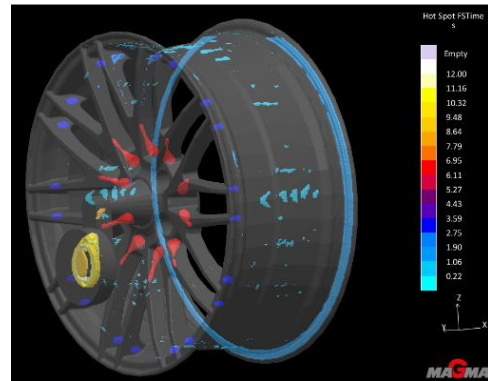


Şekil 7. Göbek bölgesi yolluk tasarımı ile hava sıkışması sonucu.



Şekil 8. Flanş bölgesi yolluk tasarımı ile hava sıkışması sonucu.

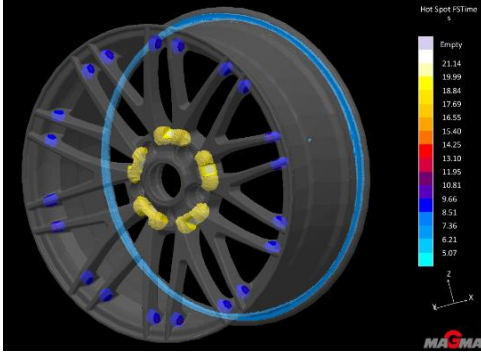
HotSpot FS time sonucu sıcak kalan bölgelerde ne kadar süre daha sıvı metal ile besleme ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Sıvı metal besleme ihtiyacı olan bölgelerde porozite oluşma ihtimali vardır. Prosesin kısıtlamalarından dolayı sıvı metal ile besleme süresinin azaldığı durumlarda soğutma kanallarının tasarımı ön plana çıkmaktadır. Kalıp tasarımlarında soğutma kanallarının devreye girmesiyle katılaşma yönlendirilerek porozite oluşum yok edilmeye çalışılmıştır. Şekil 9. soğutma kanallarının çalışmadığı durumda, katılaşmada sıcak kalan bölgeleri göstermiştir. Şekil 9.'dan anlaşıldığı üzere soğutma kanallarının olmadığı durumda jantın çeşitli bölgelerinde sıvı metal besleme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır ancak yolluğun katılaşması ile sıcak kalan bu bölgelere sıvı metal besleme imkanı olmadığı için soğutma kanalları ile katılaşmanın yönlendirilmesi gerekmektedir. Soğutma kanallarından soğutma sıvısı geçirilerek bu bölgelerde katılaşmayı yönlendirmek ve hızlı katılaşma sağlamak hedeflenmiştir.



Şekil 9. Soğutma kanallarının çalıştırılmadığı tasarımda Hot Spot FS time sonucu.

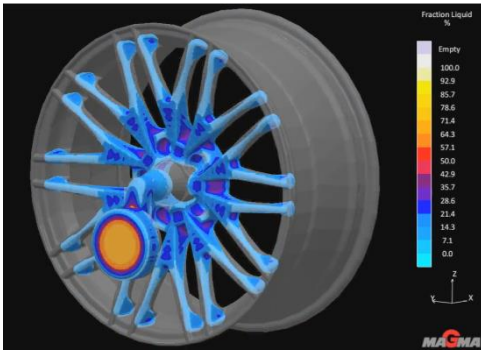
Ø16mm'lik soğutma kanallarının kalıp içine tasarlandıktan sonra, soğutma sıvısı olarak 25°C'de, 12 litre/dakika su geçirilip katılaşmanın yönlendirildiği simülasyon sonuçları şekil 10.'da gösterilmiştir. Şekil 9.'da

dağınık olan, sıcak ve sıvı metal besleme ihtiyacı olan bölgeler şekil 10.'da görüldüğü gibi belirli bölgelere toplanarak katılaşma, tasarlanan soğutma kanalları ile yönlendirilmiştir. Soğutma kanalları çalıştırdıktan sonra göbek ve flanş bölgelerinde sıcak kalan bölgelere jetcooling sistemleri ile 25°C'de, 20 bar basınçlı su ile ekstra jet soğutma kanalları tasarlanarak sonraki çalışmalarda katılaşmanın ileri seviyede yönlendirilmesine karar verilmiştir.



Şekil 10. Soğutma kanallarının çalıştırıldığı tasarımda Hot Spot FS time sonucu.

Fraction liquid sonucu parçanın katılaşma sırasında sıvı kalan bölgelerinin oranını göstermektedir. 3. faz besleme etkisinin sona erdiği noktayı ifade etmektedir. Yolluk girişleri katılaştıktan sonra 3. fazda uygulanan basınç parçaya iletilmemektedir. Yüksek oranda sıvı kalan bölgeler için soğutma kanallarında optimizasyon çalışmaları yapmak gerekmektedir.

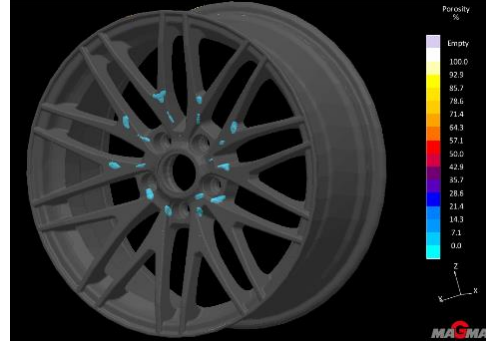


Şekil 11. Fraction liquid sonucu.

Şekil 11.'de yolluk girişi katılaştıktan sonra feder bölgesinde sıvı bölgelerin kalması, bu bölgelerde besleme yetersizliğinden kaynaklı çekinti boşluklarının oluşma ihtimalini göstermiştir. Ancak jet soğutma sistemleri ile hızlı katılaşma kontrol edilerek porozite oluşumlarının giderilmesi öngörülmüştür.

Porosity sonuçları katılaşma sonrasında parçada karşılaşılabilecek döküm boşluklarını göstermektedir. Şekil 12.'de görüldüğü gibi feder bölgesi et kalınlığı fazla olmasından dolayı döküm boşlukları ile karşılaşılabilecek

bölgedir. Porosity sonuçları, fraction liquid ve hotspot FS time sonuçlarını doğrulamaktadır. Feder bölgesinde parça tasarımı ve kalıp tasarımı çalışmalarına devam etmeye karar verilmiştir.



Şekil 12. Porosity sonucu.

5. Sonuçlar

Alçak basınçlı döküm yöntemi ile dakikalar mertebesinde dökülen jantlar, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile saniyeler mertebesinde dökülerek seri üretime hız kazandıracığı için ana ekipman üreticileri tarafından kabul göreceği düşünülmüştür.

MagmaSoft 5.4. simülasyon sonuçlarına göre başarılı bir kalıp tasarımı yapıldığı takdirde yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminin mümkün olduğuna karar verilmiştir.

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretimi, alçak basınçlı döküm yönteminden daha hızlı katılaşma sağlayacaktır. Dolayısıyla dökümden sonra ısıl işlem uygulamadan aynı dayanım özellikleri elde edilerek enerji maliyetlerinde avantaj sağlanacağı düşünülmüştür.

Alçak basınçlı döküm yönteminde soğutma kanallarının sıvı geçirilememektedir. Soğutucu kanallardan farklı karakterlerde sıvı geçirilerek hızlı katılaşmanın yüksek basınçlı döküm yönteminde uygulanabilir olması katılaşma sürecine ve ürün özelliklerine yeni bir boyut kazandıracığı düşünülmüştür.

Kalıp dolum hızının yüksek olmasından dolayı alçak basınçta uygulanan kalıp kaplama işlemine gerek kalmayacağı için yüksek basınçlı döküm yönteminin üretim açısından avantajlar sağlayacağı düşünülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışmada desteklerini esirgemedikleri için Kırpart Otomotiv Parçaları San. ve A.Ş. ailesine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Tarkun D., 2015, AlSi7Mg T6, AlSi7Mg ve AlSi11Mg Alaşımlarının Binek Araç Jant Malzemesi

- Olarak Kullanılabilirliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Topçuoğlu Ö.Y., Çe Ö.B., Aybarç U., Keşkiç M., 2014, Alçak Basınç Döküm Prosesinde Kullanılan Kalıp Kaplama Malzemesinin Metal Akışkanlığına Etkisi, 7. Uluslararası Ankiros Döküm Kongresi, İstanbul.
- [3] Kurban A.F., Çukur A., Dönmez A., Kaba M., 2017, Tane İnceltme İşleminin İyileştirilmesi ve Alçak Basınçlı Döküm Sistemiyle AlSi5Mg0.3 Alaşımli Jant Üretimi, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [4] Oytaç M., 2006, Türkiye Jant Sanayi ve Jant Sanayinde Kullanılan Kalıp Çelikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [5] Şirin U., 2017, Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantının Dinamik Testinin Modellenmesi ve Doğrulama Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [6] Duruk B., 2006, Enjeksiyon Döküm Kalıplarında CrN Uygulamasının Kalıp Ve Parça Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Vanlı A.S., 2017, Tüm Bileşenleriyle Basınçlı Döküm, Tüdoksad Akademi, Kocaeli, Türkiye, 24-25 Kasım.
- [8] Öksüz Ö. C., 2016, New Generation Tool Steel For Die Casting Dies:Isotrop, Kalıp Dünyası Dergisi.
- [9] Özçelik G., 2004, Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Mukavemet Hesapları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [10] Kenar O., 2019, Yüksek Basınçlı Döküm Prosesi İle Üretilen Alüminyum Otomotiv Parçalarında Kalıp Tasarım Değişkenlerinin Parça Döküm Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.