

Kaybolan Köpük Döküm Yöntemi (Dolu Kalıba Döküm)

Prof. Dr. Kerem Altuğ GÜLER

Giriş

Modern anlamda yapılan döküm yöntemlerinin temel sınıflandırmasında bağlayıcısız kum kalıplama teknikleri arasında yer alan kaybolan köpükle döküm (KKD) yöntemi ilk olarak 20. Yüzyılın ortalarında geliştirilmiştir. İlgili metot dolu kalıba döküm, uçucu modelle döküm, kalıp boşluksuz döküm, uçucu köpükle döküm, Styrocast™, Foamcast™, Styrocast™ ve Policast™ olarak da adlandırılmaktadır. Yöntem prensipte bağlayıcısız kum içerisinde bulunan ve daha öncesinde refrakter bir boya ile kaplanmış, istenen biçimdeki polimerik model materyalinin döküm sırasında sıvı metalin sahip olduğu ısı tarafından bozunmasının ardından, refrakter ile çevrelenen metalin katılaşmayı takiben model materyalinin şeklini almasına dayanmaktadır.

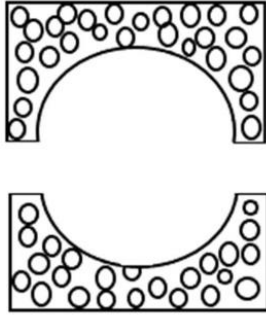
Yöntemin geleneksel kum kalıba döküm metotlarına göre birçok açıdan üstünlüğü bulunmaktadır. Kalıplama sonrasında modelin çıkarılmasına ihtiyaç duyulmadığı için üründe ayırım çizgisi oluşmamaktadır. Kullanılacak polimerik model kesilip birleştirilebileceği için yöntem elde edilecek nihai ürünün tasarımında büyük esneklik sunmaktadır. Bu teknikle karmaşık geometriye sahip ürünlerinin üretimi oldukça pratik bir biçimde gerçekleştirilebilmekte ve boşluklu malzeme üretimi için maça ihtiyacı giderilmektedir. KKD yöntemi ile elde edilen yüksek boyutsal hassasiyet ve düşük yüzey pürüzlülüğü nedeniyle bitirme işlemlerine duyulan ihtiyaçla beraber azalmaktadır. Modern KKD uygulamalarında kalıplama sırasında bağlayıcısız kum kullanımı yöntemi pratik, ekonomik ve çevreci hale getirmekle beraber kumun yaklaşık %95'i yeniden kullanılabilir.

Tarihçe

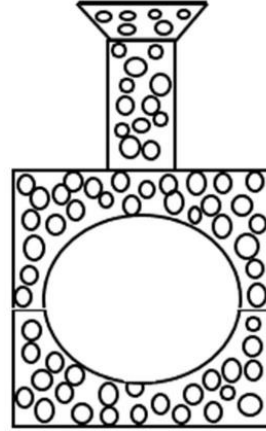
KKD yöntemi ilk olarak 1958 yılında H. F. Shroyer tarafından geliştirilmiş ve patentlenmiştir. Yöntemin ilk uygulamaları F-prosesi olarak da anılmakla beraber kalıp malzemesi olarak yaş kum kullanımı ile polistiren model malzemesinin refrakter boya ile kaplanmadan kalıplanması göze çarpmaktadır. 1964 yılında ise T. R. Smith tarafından patentlenen yöntemle bağılayıcısız kumun kullanımı KKD uygulamaları için devrim niteliği taşımakla beraber günümüzdeki uygulamalarda da bu teknik sıklıkla tercih edilmektedir. 1960 ve 1970 yılları arasında özellikle otomotiv endüstrisinde araştırma çalışmaları süregelse de yöntemin uygulaması oldukça limitli kalmıştır. 1981 yılında T. R. Smith'in aldığı patentin süresinin dolmasıyla beraber yöntemin kullanımının otomotiv endüstrisindeki artışı ciddi oranda göze çarpmaya başlamaktadır.

1990'ların başından itibaren özellikle Almanya ve ABD menşeli birçok otomotiv firmasında üretim bantları kurulmaya başlamıştır. General Motors, FIAT ve BMW yöntemi sektöre entegre etme konusundaki öncü firmalar olarak öne çıkmaktadırlar. 3xx serisi Al-Si döküm alaşımlarının şekillendirildiği tesislerde yıllık 5.000 tonla 36.000 ton arasında değişen bir üretim hacminde silindir bloğu ve silindir kapağı üretimi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca KKD yöntemi ile üretilen ürün yelpazesi otomotiv parçaları ve alüminyum alaşımları ile sınırlı kalmamaktadır. Altyapı sistemlerinde pompa gövdesi üretiminde ve denizcilik endüstrisinde de zamanla hayata geçen metot, demir esaslı alaşımlar ve 2000'li yılların başından itibaren de magnezyum alaşımlarının dökümü için kullanıla gelmiştir.

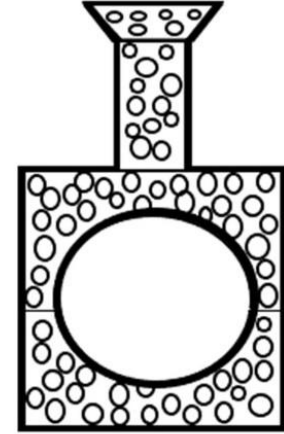
Süreç adımları



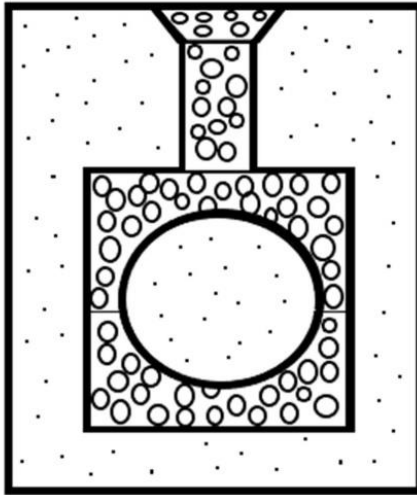
Model yapımı



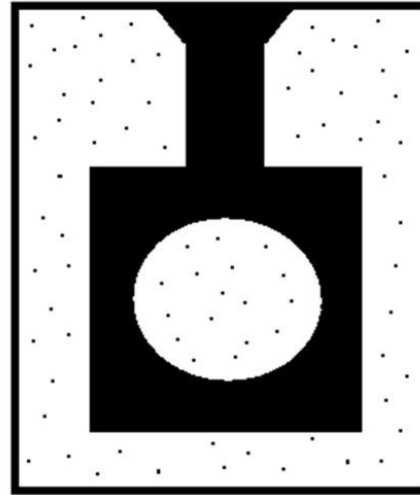
Model birleştirme



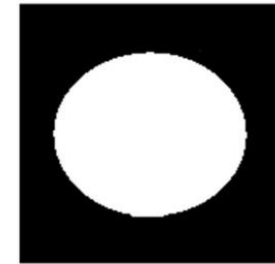
Kaplama



Kalıp yapımı



Döküm



Bitirme

Köpük tanelerinin üretimi (Ön şişirme)

Model üretiminde en yaygın kullanılan ve en ucuz polimer polistrendir. Genleştirilecek polistrenin molekül ağırlığı 200 kg/mol'dür ve şişirme ajanı (blowing agent) olarak yaklaşık % 5 oranında pentan emdirilmiştir. Genleşebilen polistrenin ham (raw) halinde yoğunluğu 640 kg/m³ iken köpük model üretimine uygun olabilmesi için bu değerin 16-27 kg/m³ arasına indirilmesi gerekmektedir. Bu işlem ön şişirme olarak bilinen bir süreçle gerçekleştirilir. Ön şişirme ham polistren tanelerinin yüklendiği buharla ısıtılan ve karıştırılan bir haznede yapılır. Bu işlem sırasında taneler yumuşarken içeriğindeki gaz genişler ve her tanede bir hücre oluşarak genişmiş polistren (EPS) üretilir. Sonuç olarak tane çapları artarken yoğunluk azalmış olur.

Ön şişirilen taneler işlem sonrası 6-12 saat süreyle soğuma ve kararlaşma için bekletilir. Nihai köpük model yoğunluğu ön şişirme ile elde edilen tanelerin yoğunluğuna bağlıdır ve üretimde hedef yoğunluk \pm % 2 sınırları içinde kalmalıdır. Alüminyum, bakır (pirinç, bronz) ve dökme demir alaşımları için önerilen köpük model yoğunlukları sırasıyla 24-27, 20-21,6 ve ≤ 20 kg/m³ değerlerindedir.

EPS dışında genleşmiş polimetil metakrilat (EPMMA) model yapımında kullanılır. Bu malzeme özellikle demir ve çelik dökümlerinde karbon kaynaklı hataları azalttığı içi tercih edilir ancak pahalı olması ve şişirme zorlukları kullanımı sınırlar. Onun yerine polistren ve polimetil metakrilat kopolimeri demir esaslı dökümlerde çok daha yaygın kullanılmaktadır.

Model yapımı

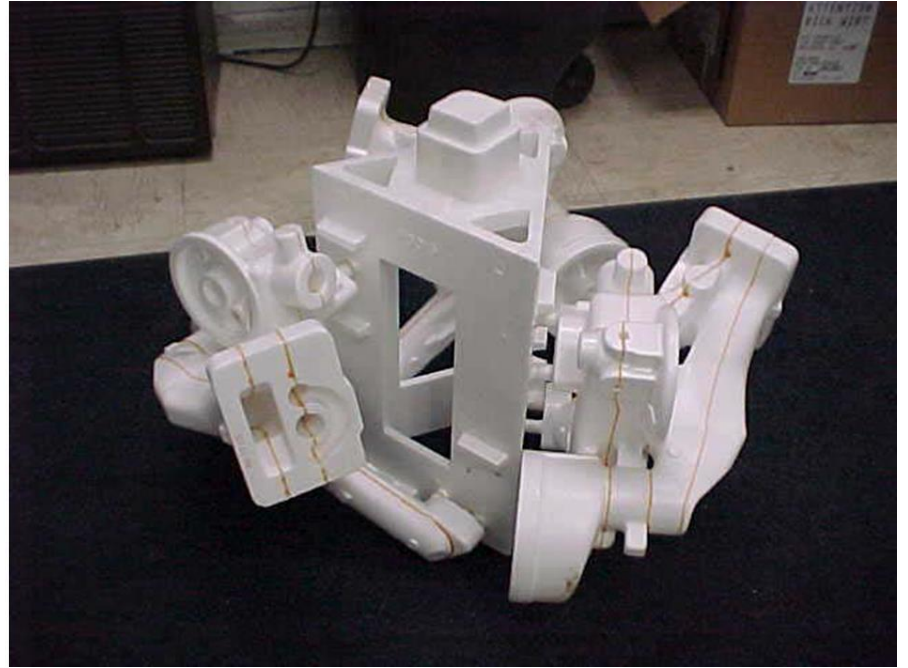
Kaybolan köpük yönteminde kullanılan modeller iki şekilde üretilmektedir: Birincisi kalıpta şişirme ikincisi blok köpükten işlemedir. Ön şişirmeden çıktıktan sonra soğutulan ve kararlaştırılan polistren taneleri model kalıplama presinin besleme hunisine doldurulur. Kalıpta şişirme işleminin kademeleri sırasıyla, doldurma, kaynaştırma , soğutma ve çıkarmadır. Köpük modeller veya model bileşenlerinin alüminyum kalıplar içinde son şişirme ile şekillendirilir. Doldurma aşamasında kalıplar hava akımı veya vakum kullanılarak ön şişirilmiş taneler ile doldurulur. Tamamen dolduktan sonra kaynaştırma işlemi için kalıplardan buhar geçirilir. Buharın girip çıkabilmesi için kalıplarda delik ve kanallar bulunmaktadır. Buharla ısıtma genleşme sürecini yeniden başlatır ve malzeme ön şişirmede olduğu gibi yumuşar. Genleşen malzeme hava boşluklarını doldurur, bağımsız taneler kaynaşarak birleşir ve kalıbın şeklini alan model oluşur.

Kaybolan köpük döküm yönteminde ikinci model yapım tekniği bloktan işleme metodudur. Bu metotta blok veya plaka şekilli kalıplarda şişirilen yarı mamul köpük malzemeler kullanılır. Bu yöntem genellikle büyük parçaların dökümlerinde tercih edilmektedir. Bu tip parçaların model veya model bileşenleri kalıplama preslerinde şişirilemeyecek boyutlardadır. Bunun yanında kalıpta şişirme özel alüminyum kalıplar gerektirdiği için yüksek hacimli seri üretimlere uygundur. Büyük parçalarda üretim adedi genelde düşüktür ve modellerin bloktan işlenmesi daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca bu teknik prototip model üretimlerinde de çok kullanılmaktadır. İşleme, bu iş için özel tasarlanmış CNC freze tezgâhlarında veya sıcak tel kesim cihazları ile yapılmaktadır. Şişirilmiş köpük bloklar yerine ekstrüzyonla üretilmiş köpük bloklar da işlenerek model üretimi yapılabilir.



Model birleştirme

Kaybolan köpük yönteminde model parçalarının birleştirilmesi ya da modellerin yolluklar ile birleştirilmesi genellikle yapıştırıcılar kullanılarak yapılır. Bu yapıştırıcılar mum veya silikon esaslı olabilir. Endüstriyel olarak çoğunlukla sıcak sıvı yapıştırıcılar tercih edilmektedir. Yapıştırıcının uygulama sıcaklığı ve kimyasal yapısı köpük modele zarar vermemelidir. Uygulama sonrasında modelin şekil ve boyut bütünlüğünü bozmamalıdır. Buharlařma hızı ve kül miktarı döküm hatalarına neden olmaması için EPS ile benzer olmalıdır. Yeterli bağ kuvveti oluşturarak kaplama, taşınma ve kalıplama aşamalarında kırılmamalı ve ayrılmamalıdır. Yapıştırma işlemleri elle yapılabileceğı gibi üretim hızını ve kalitesini arttırmak için otomatik ve yarı otomatik sistemler de kullanılmaktadır. Bu sistemlerde sıcak yapıştırıcıyı ilgili yüzeye hızlı ve hassas bir şekilde uygulayan özel cihazlar kullanılmaktadır



Model kaplama

Bazı dökümleri kaplamasız yapabilmek mümkün olsa da kaybolan köpük yönteminde refrakter model kaplaması önemli bir gerekliliktir. Bu özel kaplamanın iki hayati işlevi vardır. Birincisi düzgün model yüzeyi ile kaba kum arasında bir bariyer işlevi görür. Böylece öncelikle döküm sırasında kalıbın çökmesini önler ve boyutsal kararlılık ile yüzey kalitesinin bozulmasını engeller. İkinci işlevi ise kontrollü bir geçirgenlik sağlayarak köpük modelin buharlaşmasıyla oluşan gaz ürünlerin döküm parçadan uzağa, kaplama üzerinden kumun içine kaçmasına izin verir. Kaplamanın gaz geçirgenliği parçalanma ürünü gazların ve havanın döküm esansında sıvı metal köpük ara yüzeyinden kaçış hızını belirler. Sonuç olarak sıvı metalin köpüğün yerini alma hızını belirler.

Eğer gaz geçirgenliği çok düşükse, sıvı metal köpük ara yüzeyinde yüksek geri basınç oluşarak metalin ilerleme hızını azaltır, eksik yürüme hatasına neden olabilir. Eğer gaz geçirgenliği çok yüksekse sıvı metal cephesinde türbülans oluşabilir ve sıvı polimer ürünleri metal içinde hapsolarak piroliz hatalarına neden olabilir. Ayrıca kaplamanın ısı iletkenliği ve ısı kapasitesi metalin soğuma ve katılaşma davranışı üzerinde etkilidir. Yüzey alanı hacim oranı yüksek olan örneğin emme manifoldu gibi alüminyum döküm parçalarda düşük geçirgenlikte kaplamalar tercih edilmektedir. Kalın kesitli alüminyum ve diğer demir dışı dökümlerde orta veya yüksek geçirgenlikte kaplamalar gerekmektedir. Demir esaslı dökümlerde ise genellikle demir dışı olanlara göre daha yüksek geçirgenlikte kaplamalar istenmektedir.

Kaplamanın seramik içeriği silika, mika, alümina, zirkon veya olivin olabilir. Silika düşük maliyeti ile çok tercih edilir. Zirkon ve olivin kullanımı yaygın değildir. Kaplamanın taşıyıcı seçenekleri sınırlıdır çünkü köpük model ile uyumlu olması gerekmektedir. Hidrokarbon ve klor içeren solventler EPS için saldırgan olabilir. En çok kullanılan taşıyıcı sudur, o nedenle kaplama seçeneklerinin büyük çoğunluğu su bazlıdır. Refrakter kaplamanın köpük model üzerine uygulanması daldırma, püskürtme, fırçayla sürme veya yüzeyden akıtma (flow coating) yöntemleriyle yapılabilir. Genellikle küçük ve orta ölçekte parçalar daldırma ile kaplanırken büyük ölçüdeki parçalar için diğer yöntemler tercih edilmektedir. Köpük modelin düşük yoğunluğu nedeniyle geniş modellerin seramik çamuruna daldırılması güçleşmektedir.

Kaplama sırasında ve sonrasında ıslak kaplama ağırlığı modele zarar verebilir, şekil bozulması veya kırılmalar olabilir. Bunun önüne geçmek için özenli ve dikkatli çalışmak gerekmektedir. Kaplama çamurunun viskozitesi düzenli olarak kontrol edilerek üniform kalınlıkta ve damlamayan kaplamaların yapılmasına dikkat edilmelidir. Kurutulmuş kaplamanın ortalama kalınlığı 0,2-0,3 mm arasındadır. Kaplama işlemleri tamamen elle yapılabileceği gibi orta ve yüksek hacimde üretim yapan dökümhaneler otomatik sistemler geliştirmiştir, bu sistemler kaplama tutarlılığını arttırmaktadır. Kaplamayı takiben kurutma işlemi yapılmaktadır. Kurutma ortam koşullarında 24 saat süreyle yapılabilir. Ya da bir fırında veya ısıtılmış bir odada daha kısa sürede gerçekleştirilebilir. Bu hızlandırılmış kurutma 50-65 °C'de 2-6 saat sürelerde yapılmaktadır. Çok yüksek hacimli üretimlerde mikro dalga ısıtma da kullanılabilir.



Kalıp yapımı

Modern kaybolan köpük döküm yönteminin en önemli özelliklerinden biri kalıpların bağlayıcısız kum ile yapılmasıdır. Ancak bazı durumlarda özellikle büyük kalıpları desteklemek için kısmen veya tamamen bağlayıcılı kum kullanılabilir. Yaygın olarak kaba küresel silis kumu tercih edilir. Bazı dökümhaneler ısı genleşmesi düşük olivin veya sentetik mullit kumu kullanmaktadır. Kaba kum yüksek geçirgenlik için gereklidir buharlaşan gaz hızlıca uzaklaşmalıdır. Model kaplaması kullanıldığı için de kaba kum yüzey kalitesini düşürmemektedir. Genellikle demir esaslı dökümler için 3 elek dağılımında 35 AFS boyutunda kum tercih edilir. Demir dışı metaller için ise yine 3 elek dağılımında 45 AFS boyutunda kum tercih edilmektedir. Kalıplamada genellikle tek parça çelik dereceler veya kutular kullanılmaktadır. Kaplanmış, kurutulmuş köpük modeller derece içerisine yerleştirilir, derece tabanında 25-75 mm kalınlığında önceden doldurulmuş kum yatağı bulunmaktadır. Serbest kuru bağlayıcısız kum bir yağmurlama sistemi ile dereceye doldurulur.

Yağmurlama sistemi kumun eş yükseklikte dolmasını sağlarken hassas modelin zarar görmesine engel olur. Kum doldurma esnasında ve sonrasında sıkıştırma için mekanik titreşim uygulanır. Gerekli sıkışmayı sağlamak için çeşitli frekans ve genlikte titreşim uygulanabilir. Modelin iç ve dış bölgelerindeki bütün boşlukların tam olarak dolmasını sağlayabilmek için titreşim süresi yeterli olmalıdır. Geçirgenliğin sürdürülebilir olması için kum içinde biriken ince partiküllerin elenerek ayrılması gerekmektedir. Bazı dökümhaneler kuma ısıtma reklamasyon uygulamaktadır. Buharlaşıp polimerik köpük ürünleri kum içinde yayılarak döküm parçaya yakın bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bu artıklar kumun akıcılığını sıkıştırılabilirliğini ve geçirgenliğini kötü yönde etkilemektedir. Isıtma reklamasyon ile kum bu tür artıklardan temizlenebilir. Kalıplama için hayati olan bir husus kumun çevriminde bir sonraki kullanım öncesi yeteri kadar soğumasını sağlamaktır. Kum dereceye doldurulduğunda sıcaklığı 50 °C'nin üzerinde olursa köpük modele hasar verecektir.



Döküm

Kaybolan köpük döküm yönteminde kalıba sıvı metalin doldurulması diğer döküm yöntemlerinden farklı değildir. Akışın sürekliliği sağlanarak döküm ağzının ve yolluk sisteminin devamlı dolu kalacağı bir hızda döküm yapılmalıdır. Bu şekilde sıvı metal cephesinde metalostatik basınç sabit tutulur, sisteme gaz ve cüruf girmesi engellenir ve yolluğun çökmesi önlenerek sıvı metalin kalıbın tamamına ulaşması temin edilir. Döküm sıcaklığı kritiktir ve diğer döküm yöntemlerine göre daha sıkı kontrol edilmelidir. Alüminyum alaşımları, bakır alaşımları (pirinç ve bronzalar) ve gri dökme demir dökümleri için önerilen döküm sıcaklığı aralıkları sırasıyla 705 - 790 °C, 1040 - 1260 °C ve 1370 – 1455 °C'dir.

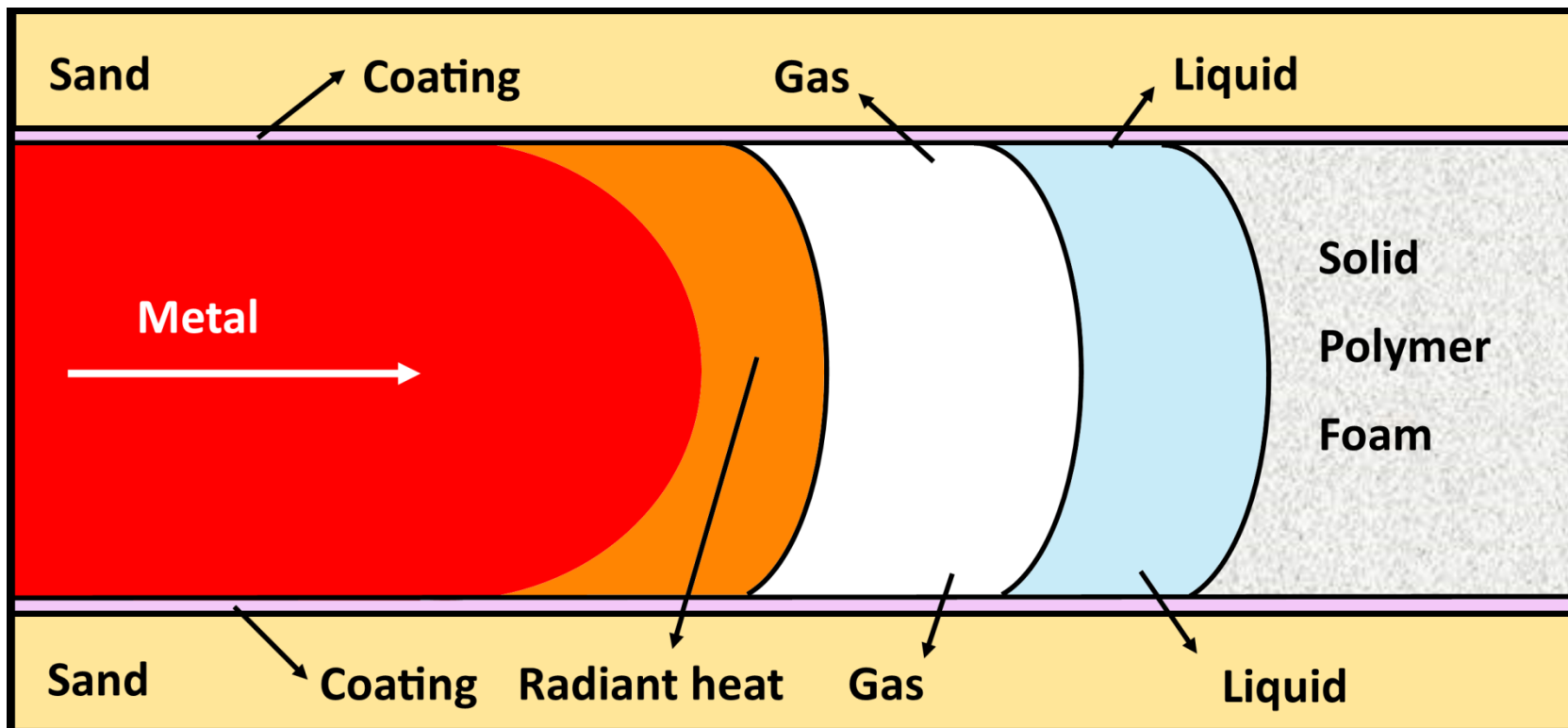
Çoğu kaybolan köpük döküm işlemi yer çekimiyle gerçekleştirilir. Bunun yanında dökümde vakum desteği uygulaması da yaygındır. Vakum desteği için derece tabana yakın bir noktadan hortumla vakum pompasına bağlanır ve derece üstü polimerik bir film ile kapatılır. Vakumun sağladığı çekim zararlı parçalanma ürünlerinin uzaklaştırılmasına ve bunlardan kaynaklı döküm hatalarının önlenmesine yardımcı olur. Döküm sonrası bekleme süreleri diğer kum kalıp yöntemleriyle benzerdir. Dökümü ve katılaşmayı takiben kalıplar devrilme bölgesine aktarılır ve bağlayıcı kullanılmadığı için derecenin devrilmesiyle döküm parça kumdan ayrılmış olur. Sonrasında modelden parçaya geçmiş olan kaplama parça yüzeyinden temizlenir.



Kaybolan köpük yönteminde metal akışı

Bu yöntemde modelin kalıbın içinde duruyor olması ve sıvı metalin bunun yerini alma gerekliliği metal akışını diğer bütün döküm yöntemlerinden çok farklılaştırmaktadır. Sıvı metal katı köpük ile temasa geçtiği andan ara yüzeyde sıvı ve gaz polimer bölgeleri oluşmaktadır. Ara yüzeydeki gaz ve sıvı bölgelerinin genişliği ve oranı sıvı metalin sıcaklığına bağlıdır. Al ve Mg alaşımları gibi düşük sıcaklık dökümlerinde oluşan gaz bölgesi görece dardır. Demir esaslı alaşımların yüksek döküm sıcaklığı ise gaz bölgesinin oldukça genişlemesine neden olur. Bu nedenle dökümde vakum desteği özellikle demir esaslı alaşımların dökümünde son derece faydalıdır. EPS'nin yüksek sıcaklıktaki pirolizi katran benzeri karbonlu ürünlerin oluşmasına sebebiyet verir ve bu ürünler her zaman kalıptan uzaklaşamaz ve özellikle parça yüzeyinde döküm hataları oluşturur.

Metalin akış hızında model yoğunluğunun ve kaplama geçirgenliğinin büyük etkisi vardır, bunların üzerinde önceki bölümlerde durulmuştur. Sıvı metal cephesi önünde oluşan kontrollü bir geri basınç faydalıdır. Bu şekilde ara yüzey düzgün bir profille ilerleyerek türbülans oluşumu engellenir ve sıvı ya da gaz parçalanma ürünlerinin kaplama üzerinden uzaklaşması için yeterli zaman bırakılır. Düşük sıcaklık alaşımlarının dökümlerinde sıvı polimer ürünlerin türbülans ile metalin içine karışması ve döküm hatalarına neden olması son derece olasıdır. Sıvı metal cephesi ilerledikçe bu noktada sıcaklığın düşmesi geriye doğru belirgin bir sıcaklık gradyanı oluşturur ve bu durum yönlenmiş katılaşmanın oluşumuna büyük katkı sağlar. Sonuç olarak besleyici boyutları küçülür veya çoğu zaman besleyici kullanılmasına gerek olmayabilir.



Video linkleri

- https://www.youtube.com/watch?v=vAsKiEy0b_4&t=3s
- https://www.youtube.com/watch?v=u3GOV4_Vn3U
- <https://www.youtube.com/watch?v=MNJt0a8Pn20&t=2s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=PIFuuxWC9rY&t=2s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZIsW1aaxMvg&t=448s>
- https://www.youtube.com/watch?v=KRW_DniO68M&t=14s
- <https://www.youtube.com/watch?v=x57bRbg5bBE&t=24s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=t7RDmBMbcUg>