



## **Havada Sertleşen Reçine Sistemi, Köpük Model Döküm (Dolu Kalıp Döküm) Prosesinde, Prosesle ilgili Parametrelerin İncelenmesi**

Hazırlayan Dr. Sven Uebrick (ASK Chemicals GmbH – Almanya, 2016)  
Çeviren Gökhan YILDIRIM (ASK Chemicals TR Tic Ltd Şti.)

### **Bölüm II**

Bu araştırmanın ilk bölümünde, çeşitli model yardımcı malzemelerinin gaz verme kapasitesi belirlendi ve değerlendirildi. İkinci bölüm, dolu kalıpların kalıp boşluğundaki gaz yoğunluğu ve gaz geçirgenliğinin, boya ile olan ilişkisi, ayrıca model takım parçalarının kalitesi ile olan ilişkisi ile ilgilidir. Refrakter malzeme genellikle sıvı metal ile kalıplama malzemesi arasındaki teması önleme görevine sahiptir. Ergimiş metalin kalıplama malzemesi yüzeyinde yer alan tane yapısına (penetrasyon) nüfuz etmesi önlenir [1]. Dolu kalıp döküm metodu için kullanılan boyaların aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir [2]:

- Polistiren köpük model yüzeyinin çözünmesi sonrası atıkların geçişini engeller;
- Uygulama sırasında boyaların iyi ıslanma ve yapışma özelliklerinin sağlanması;
- Çabuk kurumaya izin vermesi (kurutma);
- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik stabiliteye sahip olması;
- Termal şoka dayanıklı olması [3];
- Yüksek gaz geçirgenliğine sahip olması [4];
- Kurutulmuş boyanın, modelin polistiren köpük yüzeyine iyi yapışmasını sağlaması.

### **Gaz Geçirgenliği ve Boya Kalınlığı İlişkisi**

Polistiren köpüğün buharlaşması sırasında açığa çıkan ayrışma atık ürünlerinin, model kaplaması tarafından kısmen serbest bırakılarak kalıp boşluğundan ayrılması sağlanır [5]. Buharlaştırma ürünlerinin sürekli olarak uzaklaştırılması her an daha zorlaşır ve dolu kalıpta, daha büyük bir basınç oluşur. Bu, sıvı metalin kalıp dolumunu engeller, köpük modellerinin ayrışmasını geciktirir ve sonuç olarak döküm hatalarının oluşumunu teşvik eder. Örn: karbon inklüzyonları.

Yeterli ayrışma artık ürünlerini dağıtamayacak boyalar, metal yüzeyinde sıvı polimerler bırakır. Bunlar, kaçınılmaz olarak döküm yüzeyinde hatalara ya da metal dolumu sırasında birbirine denk gelen iki metal yüzeyi arasında tamamlanmamış bir yüzeye neden olur [6].

Bulgulara dayanarak, kalite tipi 1 [7] imalatçısı ile işbirliği yapılarak, modifiye bir kalite tipi 2 [8] boya geliştirilmiştir. Değişiklikler aşağıdaki alanlarda belirtilmiştir:



- Bağlayıcı türü;
- Termofleks (Isı ile şekil değiştiren) lamel alüminyum silikatların ilavesi (temel oran > 40 µm);
- Granül termo stabil zirkonyum ilavesi (oran < % 15);
- Katı içeriğinin % 59'a çıkarılması (Kalite tipi 1, %55 ile %57)
- Özgül ağırlığın 1.6 g / cm<sup>3</sup>'e artırılması (Kalite tipi 1, 1.45 g / cm<sup>3</sup> ile 1.6 g / cm<sup>3</sup>)
- Katkı malzemelerinin ilavesi

Boya Kalitesi 1 ve 2 'nin gaz geçirgenliği, refrakter model kaplamaların bir metal ızgaraya uygulanmasıyla GF geçirgenlik tipi PDU test cihazı ile test edilmiştir. Kaplama tabaka kalınlığının bir fonksiyonu olarak boyaların gaz geçirgenliği incelemesine ait sonuçlar Tablo 1' de gösterilmektedir.

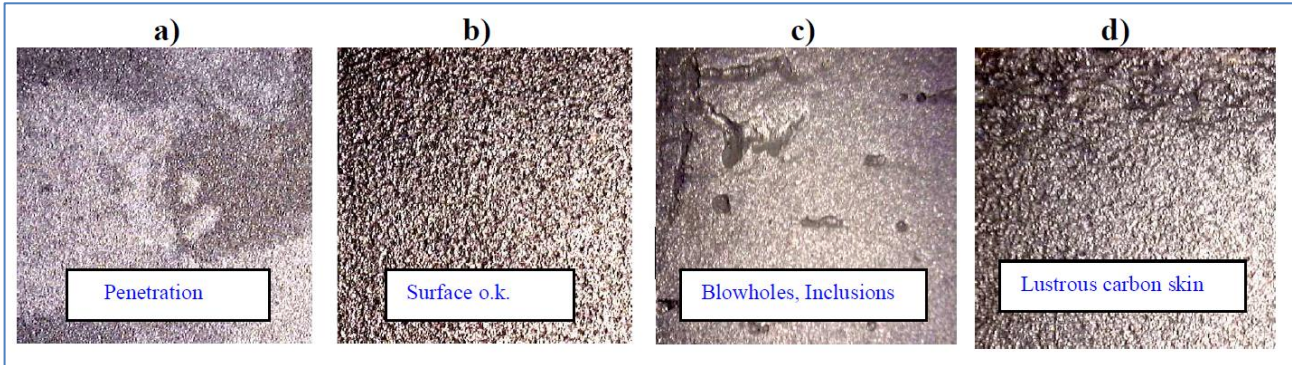
	Ref Esaslı Boya 1			Ref Esaslı Boya 2		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Seyreltme – H <sub>2</sub> O	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Viskozite – [Pas] Brookfield	4,0	2,1	1,25	3,30	1,6	0,8
Boya kalınlığı [mm]	1,35	0,96	0,65	1,55	0,68	0,47
Gaz Geçirgenliği (Boya)[Unit]	14,2	17,7	21,4	31,0	46,2	75,2

Tablo 1, 0.65 mm (Tip 1) 0.68 mm (Tip 2) karşılaştırılabilir bir boya tabaka kalınlığında, 2,15 kat daha yüksek bir gaz geçirgenliği oluştuğunu göstermektedir. (46.2)

46.2 birimin tip 2 boya gaz geçirgenliği % 20'lik bir su ilavesiyle elde edilmiştir. % 10 daha az su ilavesinden dolayı modellerin kuruma süresi ve boya çatlama riski vb. azalmıştır. Buna ek olarak, % 10 su ve daha büyük tabaka kalınlıklarında, örn. 1.35 mm (Tip 1) ve 1.55 mm (Tip 2) arasında, 2.18 kat daha yüksek gaz geçirgenliği gözlenmiştir. (%31)

Pratikte, en uygun hale getirilmiş kalite tipi 2, yaklaşık 0.7 mm' lik bir tabaka kalınlığına sahip olan polistiren köpük modellerine püskürtülerek uygulanmıştır. Kalıp dolumu sırasında ayrışma atık ürünlerinin ayrılması, boyanın gaz geçirgenliğini artırarak ve boyanın tabaka kalınlığını azaltarak sağlanabilir.

Saha denemelerinde, model refrakter boyalarının tabaka kalınlığının azaltılmasının, kalıplama malzemesinin nüfuz etme eğiliminde (penetrasyon) bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Değerlendirmenin sonuçları aşağıdaki resim serilerinde gösterilmiştir (Resim 1).



Resim 1 : GJL 250 tipi döküm. Döküm sıcaklığı 1.348 – 1.359 °C ve döküm sonrası yüzey görüntüsü.  
a) Boyasız Yüzey, b) 0,7 mm boya kalınlığı, c) 1,4 mm boya kalınlığı d) 2,1 mm boya kalınlığı

Resim 1, refrakter model boyalarının uygulama tabaka kalınlığının bir fonksiyonu olarak hata tiplerinin oluşumunu açıkça göstermektedir. Refrakter model boyalarının artan tabaka kalınlığı ile, yüzeydeki hatalarda bir artış gözlemlenebilir. Boyaların aşırı kalın uygulanması, modelin daha sonra bir kurutma fırınında ( $T \sim 40 \text{ } ^\circ \text{C}$ ) kurutulması sırasında çatlama riskine neden olabilir (Resim 2).

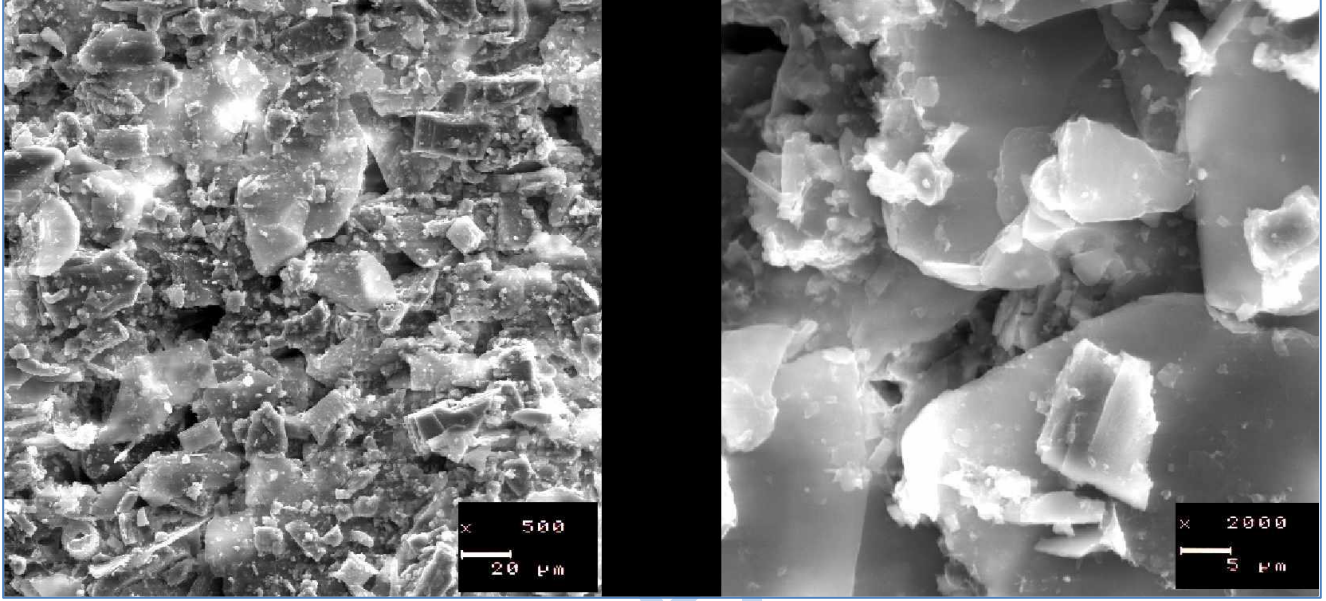


Resim 2 : Strafor model üzerinde, boya kurutma işlemi sonrasında boya çatlama problemi.  
(Uygulama kalınlığı yaklaşık  $\approx 2,70 \text{ mm}$ ) kuru hava ile kurutma ve hava sıcaklığı  $40 \text{ } ^\circ \text{C}$ .

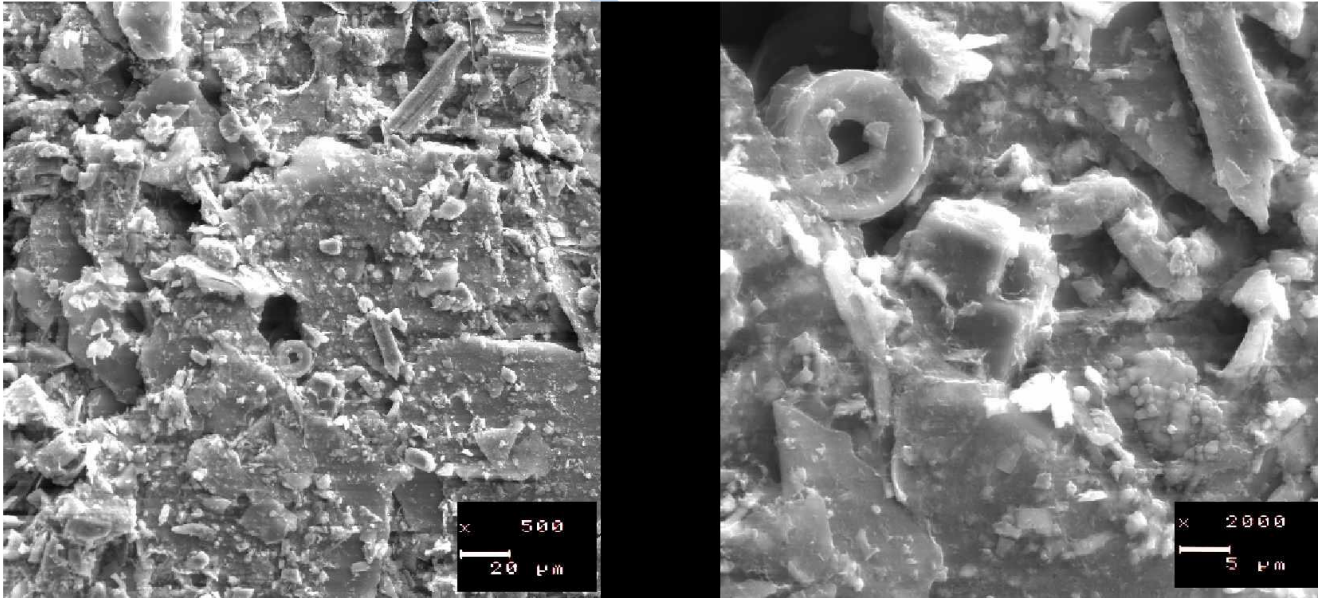
Kalıp boyama malzemesi geçişlerinden kaynaklanan çatlak oluşumu, temizleme maliyetlerinde önemli bir artışa neden olmaktadır. Polistiren köpüğün ayrışmasından kaynaklanan atık ürünlerin sürekli ve hızlı bir şekilde tahliyesi, çok yüksek bir gaz geçirgenliğine sahip bir boyanın kullanılmasıyla desteklenir. Bu nedenle, piroliz atık ürünlerinin hızlı bir şekilde tahliyesi kaçınılmaz olarak hataların (örneğin karbon inklüzyonları) azalma eğilimine neden olmalıdır. Sıvı ve gaz halindeki ayrışma - atık ürünlerinin, boya tabakası yoluyla çıkarılabilmesi önemlidir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla, refrakter model boya tip 1 ve 2 'nin döküm işleminden önce ve sonra nasıl davrandığı araştırılmıştır (Resim 3 = > 6).



Refrakter model boyanın yapısında, lamel ve granül alüminyum silikatlar mevcuttur. (Resim 3 a ve b). Birleşen parçacıklar, boya çökme davranışını iyileştirmeye, viskoziteyi arttırmaya ve uygulama sonrasında model dikey yüzeyler üzerinde akma eğilimini azaltmaya hizmet eder. Bu, model üzerinde model geometrisine bağlı bazı noktalarda boya birikmesine engel olur. Refrakter model boyanın ana kısmı lamel tipli alüminyum silikatlardan oluşmaktadır.



Resim 3 a ve b : Tip 1 Boya uygulama öncesi görüntü .

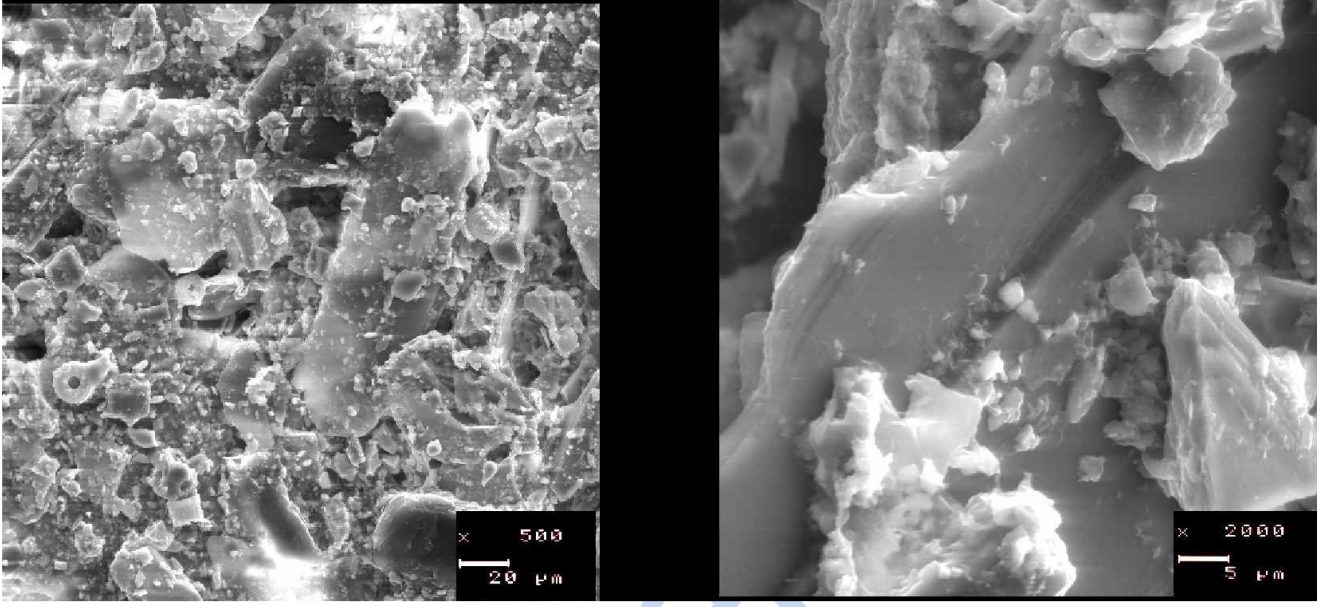


Resim 4 a ve b : Tip 1 Boya uygulama sonra model üstü görüntü .

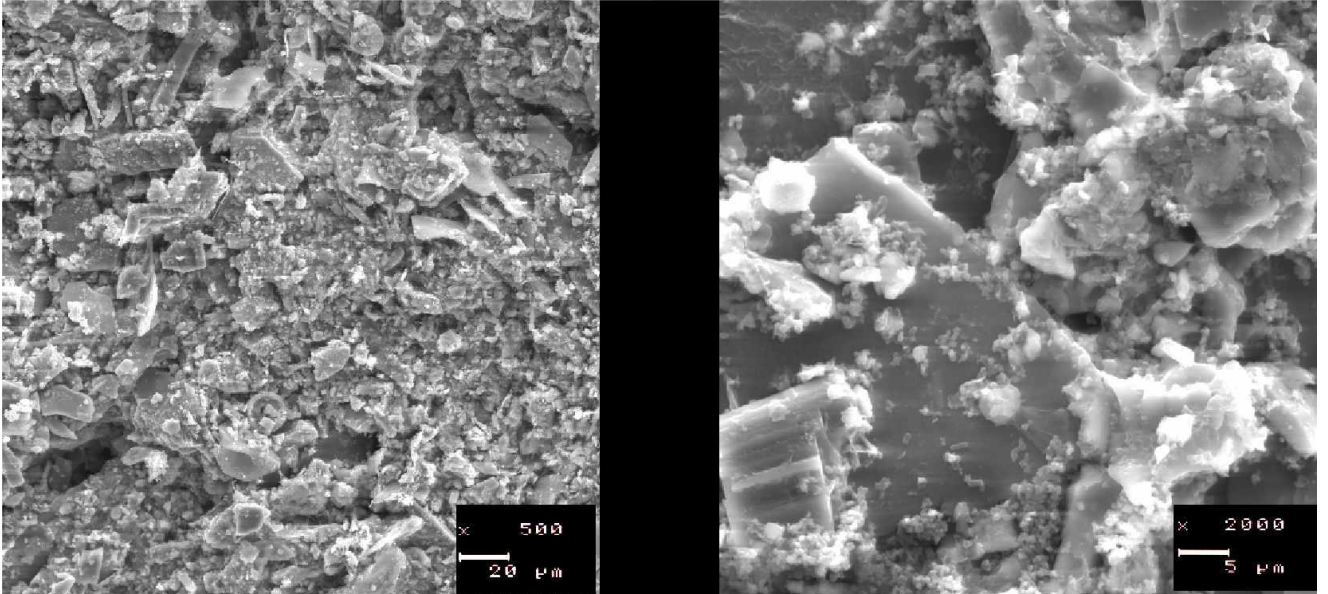
Resim 4 a, döküm prosesi ve neredeyse kapalı bir yüzeyden sonra tek katmanlı alüminyum silikat parçacıklarının sinterlenmesini göstermektedir. Gaz geçirgenliği böylece granül ve lamel alüminyum silikat parçacıklarının sinterlenmesi ile önemli ölçüde azalmıştır. Daha fazla 4



büyütmede ve resim 3b ile karşılaştırıldığında, Alüminyum silikatlar üzerinde bulunan piroliz atık ürünü birikimini gözlemlemek mümkündür (Resim 4b). Bunlar, sıvı polistiren (köpük) fazından veya termal ayrışmadan kaynaklanmış olabilir. Model boya tip 2 tipinin davranışı da döküm işleminden önce ve sonra incelenmiştir (Şekil 5 ve 6).



Resim 5 a ve b : Tip 2 Boya uygulama sonra model üstü görüntü .



Resim 6 a ve b : Tip 2 Boya uygulama sonra model üstü görüntü .

Daha kalın lamel alüminyum silikatlar ve granül zirkonyum parçaları ilave edilerek, tek katmanlı alüminyum silikatların doğrudan yapışması önlenmiştir (Şekil 5). Alüminyum silikat lamelleri arasındaki bu ayırım, sıcaklığın etkisi altında büyük ölçüde sinterleşmeyi önler (Şekil 6).

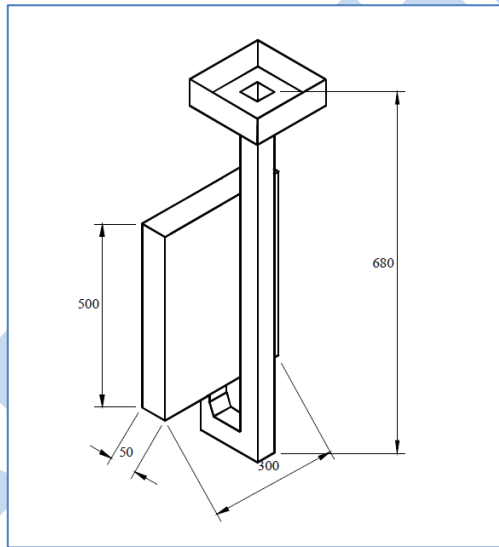


Lamel alüminyum silikatların kısmi sinterlenmesi tip II refrakter boyanın gaz geçirgenliğini de azaltır. Refrakter model kaplamanın sinterleme işlemleri ile yüzeyin kapatılması gözlenememiştir. Piroliz atık ürünlerinin refrakter model boyaya dahil de burada gözlenebilir (Şekil 6b). Prosesle ilgili diğer faktörlerin (örn: mukavemet, kalıp kaplama malzemesi parametreleri vb.) dikkate alınması ile, ayrışma - atık gazlarının hızlı ve sürekli tahliyesi için şartlar sağlanır. Örneğin, yanma direnci, refrakter model kaplamasının tabaka kalınlığındaki bir azalmanın ön şartıdır ve böylece gaz geçirgenliğinde bir artış da sağlanır.

### Gaz Basıncının Belirlenmesi

H. Kowalke [8], gaz oluşma bölgesinde baskın olan basıncın, atmosfer basıncının üzerinde yaklaşık 0.25 bar'a yükseldiğini bulmuştur, bu geleneksel kil - bağlı kalıpların kalıp boşluğundaki basıncın yaklaşık 100 kat fazlasıdır. Gaz oluşma bölgesindeki basınç, metalin akış hızını ve köpüğün gaz oluşturma oranını belirler. [9] 'da formüle edilen sabit kalıp dolur varsayımları ve hipotezleri, boya ve kum katmanlarından akan gaz miktarının, modelin ayrışmasından kaynaklanan gaz miktarı ile kantitatif-nicel olarak karşılık geldiğini varsayar.

Boşluk'taki aşırı basınç H.Kowalke tarafından deneyde 1,25 bar olarak belirlenmiştir, ki bu aynı zamanda J. Bast ve çalışma arkadaşlarının tahmin ettiği değerler arasındadır.



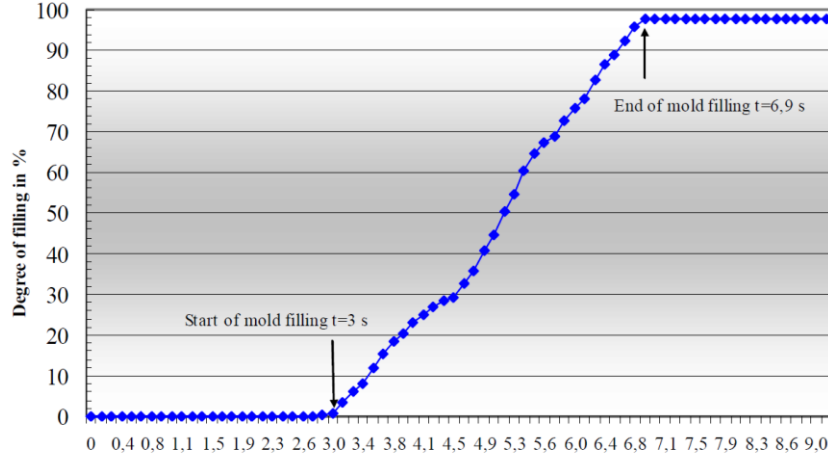
Resim 7 : Kalıp dolumu sırasında gaz basıncının ölçülmesi için hazırlanan düzenek.

Kalıp dolumu sırasında gaz basıncının belirlenmesi deneyi 1,97 cm'lik modüle sahip plaka model üzerinde gerçekleştirilmiştir (Resim 7). Denemeler için basınçlı döküm sistemi kullanılmıştır. Gaz basıncını ölçmek için plaka modelin üstüne bir basınç sensörü (ölçüm aralığı 0 - 2 bar) yerleştirilmiştir. Sürekli bir basınç ölçümü, plaka modellerinin yaklaşık 20 mm' lik dikey boşluğu ile sağlanmıştır.



Havada sertleşen reçine ile yapıştırılmış kalıpların gaz basıncının ve kalıp dolum eğrisinin belirlenmesi, boyanmamış plaka modellerinde ve 0,7 ve 2,1 mm'lik bir son boya kalınlığına sahip olan Şekil 8 ila 13'te gösterilen plaka modellerinde araştırılmıştır.

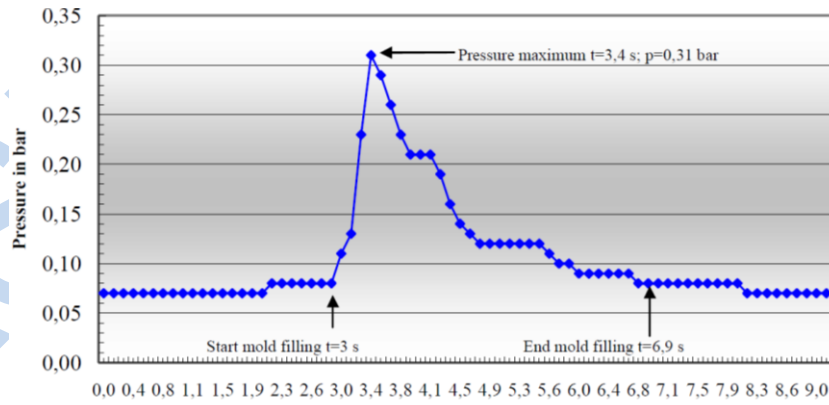
Resim 8 : Kalıp Dolum – Boyasız Döküm – GJL 250



Kalıp dolum başlama t= 3 saniye  
Kalıp dolum tamamlama t = 6,9 saniye

Kaplanmamış plaka modellerinin dolum şekli eğrisi, sürekli bir kalıp dolumu olduğunu açıkça göstermektedir, diğer bir deyiş ile kalıp doldurma sorunsuz olarak yapılabilir. Buharlaşma atık ürünlerinin oluşumu ve tahliyesi dengededir.

Resim 9 : Basınç Değişimi – Boyasız Döküm – GJL 250

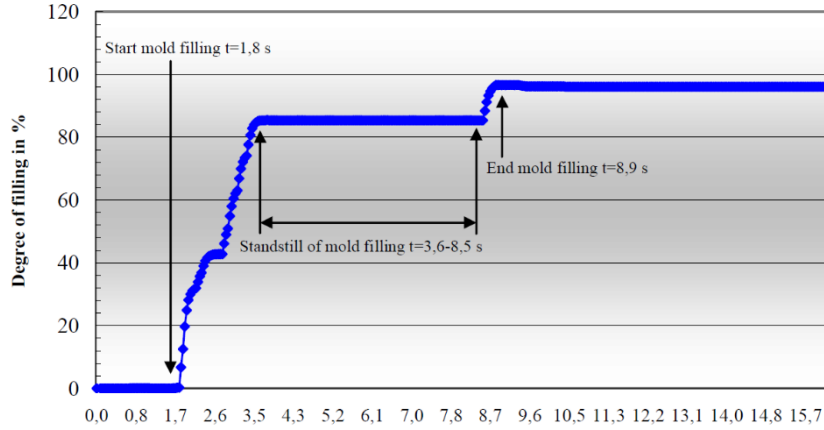


Kalıp dolum başlama t= 3 saniye  
Maksimum basınç t=3,4 saniye, p=0,31 bar  
Kalıp dolum tamamlama t = 6,9 saniye

Kalıp dolumu başlangıcında, buharlaşma bölgesindeki basınç aniden 0.31 bar'a çıkar. Kalıp dolumu devam ettikçe, basınç, döküm sırasında oluşan piroliz atık ürünlerinin kalıptan çıkarılabileceği bir seviyeye düşer.



Resim 10 : Kalıp Dolum – Boya Kalınlığı  $\approx 0,7$  mm – GJL 250

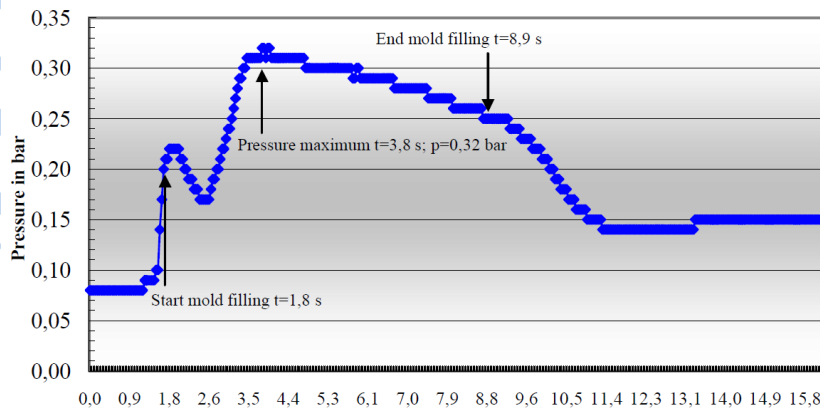


Kalıp dolum başlama  $t = 1,8$  saniye  
Kalıp dolunun durması,  $t = 3,9$  san. ve yeniden başlaması  $t = 8,50$  san.  
Kalıp dolum tamamlama  $t = 8,9$  saniye

Model refrakter kaplamanın yanı sıra basınçlı bir dökme sisteminin kullanılması, kalıp dolumu kontrolünün sadece polistiren köpüğün ayrışma hızına değil, aynı zamanda ilave faktörlere, örn. döküm sistemine tabi olduğu da görülmektedir.

Birim zamandaki piroliz atık ürünlerin oluşumu gazın tahliyesinden daha fazla ise, ayrışma bölgesindeki basınç, basınç sütunu tarafından oluşturulandan daha fazladır. Ayrıştırma aralığındaki basınç, basınç sütunundan daha küçük olana kadar kalıp doldurma kesintiye uğrar. Kalıp dolununun sonunda, gaz tahliyesi gazın oluşumundan daha büyüktür, diğer bir deyiş ile kalıp dolum sonunda basınç düşer. (Resim 11)

Resim 11 : Basınç Değişimi – Boya Kalınlığı  $\approx 0,70$  mm – GJL 250



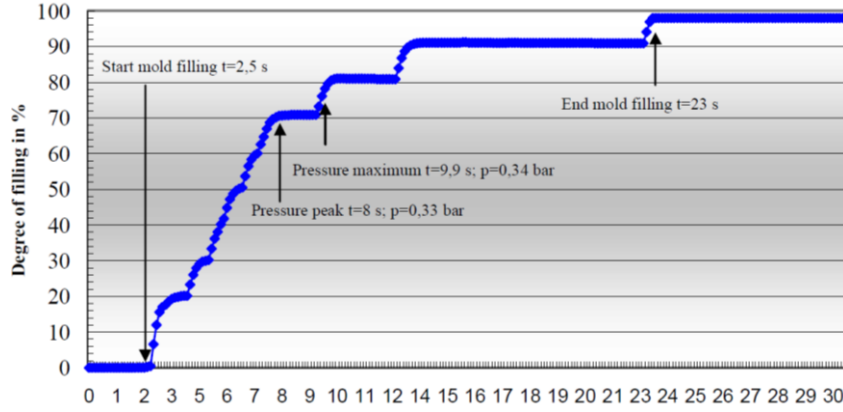
Kalıp dolum başlama  $t = 1,8$  saniye  
Maksimum basınç  $t=3,8$  saniye,  $p=0,32$  bar  
Kalıp dolum tamamlama  $t = 8,9$  saniye





Refrakter model kaplama malzemesi kullanılması hem dolum süresi hem basınç miktarını değiştirir. Kalıp dolumunun başlangıcı ile, polistiren köpüğün ani ayrışması, basınçta bir artışa yol açar ve bu da ilk maksimum değere neden olur. Ayrışma atık ürünlerinin oluşumu, buharlaştırma ürünlerinin tahliyesinden daha fazladır. Basınç artar (Resim 11).

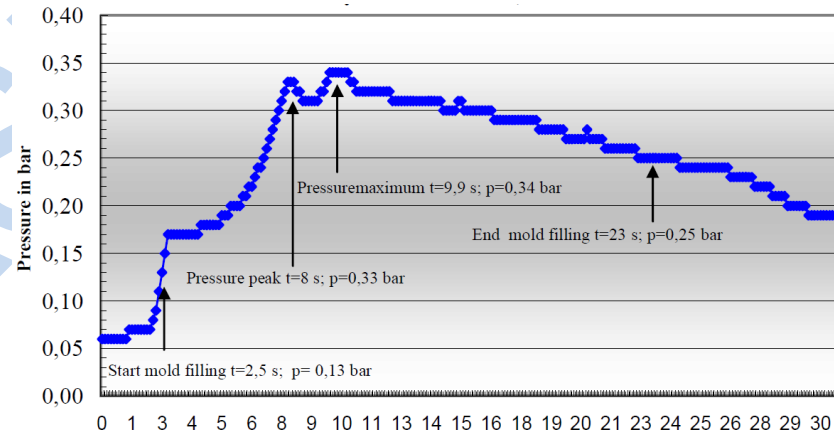
Resim 12 : Kalıp Dolum – Boya Kalınlığı  $\approx 2,10$  mm – GJL 250



Kalıp dolum başlama  $t = 2,5$  saniye  
 Basınç artışı,  $t = 8$  saniye,  $p = 0,33$  bar  
 Maksimum basınç,  $t = 9,9$  saniye,  $p = 0,34$  bar  
 Kalıp dolumunun tamamlanması  $t = 23$  saniye

Eğer kalıp dolum eğrisi (Şekil 12) basınç eğrisi ile karşılaştırılırsa (Şekil 13), kalıp doldurma sırasında basınçtaki artış kalıp dolumunun durması ile sonuçlandırıldığı görülür.

Resim 13 : Basınç Değişimi – Boya Kalınlığı  $\approx 2,10$  mm – GJL 250



Kalıp dolum başlama  $t = 2,5$  saniye,  $p = 0,13$  bar  
 Basınç artışı  $t = 8$  saniye,  $p = 0,33$  bar  
 Maksimum basınç  $t = 9,9$  saniye,  $p = 0,34$  bar  
 Kalıp dolumunun tamamlanması  $t = 23$  saniye,  $p = 0,25$  bar



## Özet

İlave olarak, yüksek gaz geçirgenliğine sahip bir refrakter model boya kullanımı basınçlı bir yolluk sistemi içinde meydana gelen kalıp dolum duruşunu kompanse edemez. Refrakter model boyanın artan tabaka kalınlığı ile kalıp dolum duruşu artar. Buradan, kalıp dolum mekanizmasının kontrolünün sadece gaz geçirgenliği yoluyla değil, aynı zamanda refrakter model boyasının tabaka kalınlığı aracılığıyla da elde edilebileceği anlaşılmaktadır.

Kendi araştırmalarımızın sonuçlarından, çok yüksek bir gaz geçirgenliğine sahip bir refrakter model boya kullanıldığında, üretime özgü özelliklere göre uyarlanmış bu boya malzemesi, polistiren köpüğün ayrışması sırasında oluşan artık ürünlerin önemli bir bölümünü dağıtmak için kullanılabilir.

Çeşitli yazarların [1], [5], [10] çalışmalarında, uygulanan kalınlığın, mukavemet ve gaz geçirgenliğinin sadece kalıp dolumunu etkilemediği, aynı zamanda penetrasyon, karbon kalıntıları ve gaz kabarcıkları gibi hataların oluşumu üzerinde de etkili olduğunu göstermektedir.

Refrakter model boyanın termal gerilmesi nedeni ile gaz geçirgenliğinde zamana bağlı bir azalma gerçekleşir. Bu davranış, bir yandan, mevcut lamel alüminyum silikatların kısmi sinterlenmesine ve diğer taraftan, boya yapısında ayrışma artıklarının (örneğin karbon parçacıkları) oluşmasına dayanmaktadır. Refrakter boyama ile ilgili bulgulara dayanarak, optimize edilmiş özelliklere (örneğin, daha yüksek yanma direnci ve gaz geçirgenliği) sahip bir boya malzemesi (Tip II) hazırlanmıştır. Refrakter model boyamanın gaz geçirgenliğini etkileyen önemli bir faktör, modele uygulanan boyanın kalınlığıdır. Denemelerde boyama tipleri 1 ve 2 ile belirlenen değerlerde, boyama kalınlığı iki katına çıktığında, gaz geçirgenliğinin üçte biri kadar düştüğünü göstermektedir.

Üretime özgü koşullar (örn: döküm sıcaklığı, döküm parçası spektrumu, kalıp malzemesi kalitesi) göz önünde bulundurularak, boya tip 2 kullanıldığında, yaklaşık 0.7 mm'lik model refrakter kaplamanın en uygun mukavemeti vermiştir.

Hemen hemen aynı deney koşullarında (örn: döküm sıcaklığı), kalıp dolum oranının, refrakter model boyanın mukavemetine ve dolayısıyla polistiren köpüğün ayrışma hızına bağlı olduğu gösterilmiştir. Artan kaplama kalınlığı, tahliye edilmesi gereken ayrılan gazları engelleyen direnci artırır. Ayrışma boşluğunda basınç artar ve kalıp dolumu engellenir. Bu bulgular [5], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17] 'de sunulanlarla tutarlıdır.



## Literatür

- [1] Barron, J. H.: Modern Casting 47 (1965) Nr. 5, S. 123-125
- [2] Schuljak, W. S.: Das Gießen mit vergasbaren Modellen aus Polystyrolschaum, Kiew 1971, S. 25
- [3] Salcman, J. E.; Mikelson, A. E.: Giessereitechnik 21 (1975), Nr.5, S. 170-179
- [4] Walter, C.; Siefer, W.: Einfluß der Gasentwicklung in kaltharzgebundenen Vollformen auf Putzaufwand und Gußfehler, Teil 2. Einfluß der Schlichte und des Schlichtens auf die Gaskonzentration beim Vollformgießen, Giesserei 82 (1995) Nr. 3, S. 91-95
- [5] Grozina, N. D. und Mitarbeiter: Das Vollformverfahren, Institut für Gießereifragen der Akademie der Wissenschaften der Ukrainischen Sozialistischen Sowjetrepublik, Kiew 1973, S. 55-57
- [6] Littleton, H.; Miller, B.; Sheldon, D.; Bates, C.: Process Control for Precision Lost Foam Castings-Part III, Foundry Management & Technology, March 1997, S. 34-37
- [7] DIN-Sicherheitsdatenblatt: Polytop FS 5, Ashland-Südchemie-Kernfest GmbH, Hilden
- [8] DIN-Sicherheitsdatenblatt: Polytop FS 6, Ashland-Südchemie-Kernfest GmbH, Hilden
- [9] Kowalke, H.: Zur thermischen Auflösung verlorener Polystyrol-Schaumstoffmodelle beim Vollformgießen von Serienteilen, Dr.-Ing. Diss.Tech.Hochschule Darmstadt 1980 12
- [10] Hopf, W.; Bast, J.; Radoev, B.: Modellierung der Formfüllung beim Vollformgießen, Giessereiforschung 51 (1999) Nr. 4, S. 145-153
- [11] Liu, J.: Effects of Foam Density and Density Gradients on Metal Fill in the LFC Process, AFS Transactions 97-139, S. 435-442
- [12] Standke, W.: Giesserei 74 (1987) Nr. 1, S. 4-12
- [13] Tscherswinskaja, N. P. und Mitarbeiter: Quelle [5], S. 85-87
- [14] Shitnik, A. S.; Ovscharenko, E. G.: Quelle [5], S. 81-84
- [15] Liu, X.: The Mechanisms of Mold Filling Casting Defect Formation in the Lost Foam Casting Process, Ph.D. Dissertation. Rolla, MO: University of Missouri-Rolla (1995)
- [16] Gorla, C.,A.; Serramoglia, G.; Caironi, G.; Tosi, G.: Coating Permeability: A Critical Parameter of the Evaporative Pattern Process, AFS Transactions 86-101, S. 589-600
- [17] Liu, X.; Ramsay, C. W.; Askeland, D. R.: Study on Mold Filling Control Mechanisms in the LPC Process, AFS Transactions 94-148, S. 903-914