

ZAMAK ALAŞIMI NEDİR? ZAMAKTAN NASIL PARA KAZANILIR?

B. Deniz POLAT

Metalurji Mühendisi

ÖZET

Zamak, temel olarak saf çinkoya alüminyum ve bakır ilavesi ile elde edilen alaşım ailesinin genel ismidir. Zamak alaşımları diğer çinko-alüminyum (ZA) alaşımlarından içerdikleri %4 Al miktarı ile ayırt edilir. Bu alaşım grubu, seri üretime uygunluğu, düşük boyutsal toleransı, yüksek korozyon direnci, düşük döküm sıcaklıklarında sergilediği yüksek metalik akışkanlığı, sağladığı uzun kalıp ömrü ve nihai ürün eldesinde gösterdiği üstün şekil alabilme özellikleri nedeniyle başta otomotiv, yapı sektörleri olmak üzere spor aletleri, oyuncaklar, hırdavat, dekoratif parçalar, beyaz eşya parçaları, ara bağlantı elemanları gibi farklı amaçlı malzemelerin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır.

Ticari olarak zamak2, zamak3, ve zamak5 yaygın olarak kullanılmasına rağmen alaşım ailesinde zamak7, zamak8, zamak12, zamak27 gibi farklı zamak alaşımları da bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı döküm sektöründe her zaman önemini koruyan ve uzun yıllar koruyacak olan zamak alaşımlarından başlıca zamak2, zamak3 ve zamak5'in özelliklerini alternatif Al, Mg ve çelik alaşımları ile kıyaslayarak açıklamak suretiyle döküm sektörünü bilgilendirmek; dünya pazarında farklı kullanım alanlarında kullanılan zamak alaşımlarından örnekler vererek sektörel anlamda Türkiye pazarında zamak kullanım yelpazesini genişletmek ve hali hazırda fiyatlandırma için yararlanılan Londra Metal Borsası (LME) borsası ve çinko fiyatları hakkında bilgilendirmede bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler

Zamak alaşımları, Zamak alaşımlarının fiziksel –mekanik özellikleri, İşletme parametreleri, Zamak pazarı, Çinko fiyatlandırması, LME borsası

ZAMAK NEDİR?

Çinko alaşımları döküm alaşımları (Casting Alloys) ve yoğrulabilir/işlenebilir alaşımlar (Wrought Alloys) olarak temelde iki ana başlık altında incelenirler; Çinkonun kurşun, bakır ve kadmiyum ile oluşturduğu alaşımları kapsayan işlenebilir alaşımlar grubundan farklı olarak döküm alaşımları grubundaki alaşımlar kendi içlerinde de ikiye ayrılmaktadırlar. Geleneksel çinko dökümde %4Al miktarı önemli iken ZA(Çinko-Alüminyum) döküm alaşımlarında alüminyum miktarına (ağırlıkça yüzdesine) bağlı olarak farklı alaşımlar bulunmaktadır (ZA8,ZA12,ZA27) [1].

Zamak alaşımları genetik döküm alaşımları grubunda yer alırlar. İlk defa 1929 yılında New Jersey Cooperation tarafından bulunan bu alaşım %95 oranında %99.995'lik çinko metaline %4'lük alüminyum ve farklı miktarlarda bakır metalinin ilave edilmesi sonucu üretilmiştir. İsmi Almanca alaşımı oluşturan: Zink (çinko), Aluminum (Alüminyum), Magnesium (Magnezyum) ve Kupfer (Bakır) metallerin baş harflerinden almaktadır [2].

Alaşım içerisinde bulunan çinko metalinin özelliklerini tanımlamak için değişik ülkeler tarafından standartları oluşturulmuştur. (Tablo1) [3] :

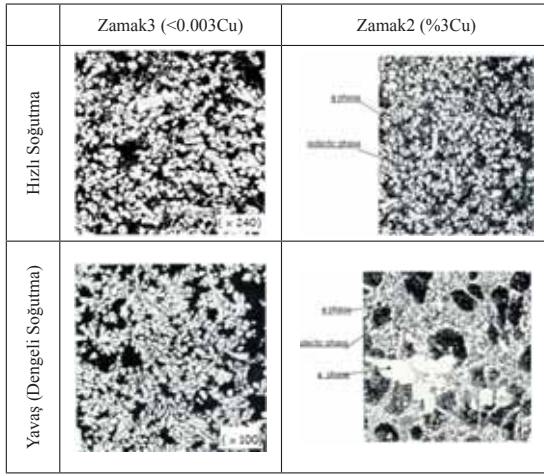
Tablo1: Ülkelere ait çinko alaşım standartları [3]

| Ülke | İngot Çinko | Çinko Döküm |
|--------------|-----------------|-----------------|
| Avrupa | EN 1774 | EN 12844 |
| USA | ASTM B240 | ASTM B86 |
| Japonya | JIS H2201 | JIS H5301 |
| Avusturya | AS 1881-SAA H63 | AS 1881-SAA H64 |
| Çin | GB 8738-88 | |
| Kanada | CSA HZ3 | CSA HZ11 |
| Uluslararası | ISO 301 | |

ZAMAK ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

1920'lerde bulunan zamak alaşımları renklendirilmelerinin zor olması, fiyatlarının kararsızlığının yüksek olması ve yüksek sıcaklık çalışmalarına uygun olmamaları gibi dezavantajlara sahip olmalarına rağmen diğer metallere kıyasla yüksek mekanik özellikleri, korozyon ve aşınma dirençleri ve işlenebilirlikleri nedeniyle endüstrisinin hemen hemen her yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. [4-6] :

kullanımı oldukça sınırlandırılmıştır. Hızlı ve yavaş soğutma koşullarında elde edilen zamak3 (<%0.003 Cu içerir) ve zamak2 (%3Cu içerir) döküm parçalarının mikro yapı görüntülerinden de anlaşılacağı gibi zamak3 parçasının az miktardaki bakır içeriği tane büyüklükleri hariç hiç bir mikroyapısal değişime izin vermemektedir. Her iki soğutma durumunda da çinkoca zengin dendiritik faz ötektik fazlarca çevrelenmektedir. Üçlü bir alaşım olan zamak2 için ise dökülen parçanın soğutma koşulları alaşımın bakır içeriğine bağlı olarak mikroyapısal değişikliklere sebep olmaktadır. Dengeli soğutulmuş numunenin yapısında ϵ , η ve ötektik faz bulunurken, hızlı soğutulmuş zamak2 döküm parçasında ϵ oluşumu engellendiğinden yarı kararlı durum elde edilir. Bu da zamanla yapının mekanik özelliklerinde azalmaya sebep olan bir durumdur (Şekil 1)



Şekil 1: Zamak 2 ve Zamak3 alaşımlarının farklı soğutma koşullarında elde edilen mikroyapı görüntüleri [4]

Magnezyum elementi yapı içerisinde bulunan empürütelerle yaptığı reaksiyonlar nedeniyle hammaddeye eklenmektedir. Mukavemeti ve sertliği de arttıran magnezyum elementi alaşımda fazla bulunması durumunda ötektit dönüşümü geciktireceğinden dros miktarını artırır ve ergiyik metalin akışkanlığını azaltır. Bu nedenle alaşımlarda çok kısıtlı miktarda bulunmaktadır [7].

Alaşım elementlerinin yanı sıra, alaşım üreten firmalar standartlara uygun üretim yapamamaları, SHG Zinc ve saf Al kullanmaları yüzünden kurşun, kadmiyum, kalay, silisyum, demir başta olmak üzere farklı empürüteler alaşıma karışmaktadır. Tablo3'de alaşımlardaki empürüteler ve yapıda bulunmalarına izin verilen maksimum miktarları standartlara uygun olarak kısaca özetlenmiştir. Bu empürite miktarlarının standartlar

dışında olması döküm kalitesini direk etkilemesinin yanı sıra parçanın uzun süreli kararlılığına da zarar vermektedir. Söz konusu elementlerin nihai üründe sebep olduğu problemler ve bu problemlere ait çözüm önerileri ileriki çalışmalarda incelenecektir.

Tablo 3: Farklı ZAMAK alaşımlarının içerikleri[8]:

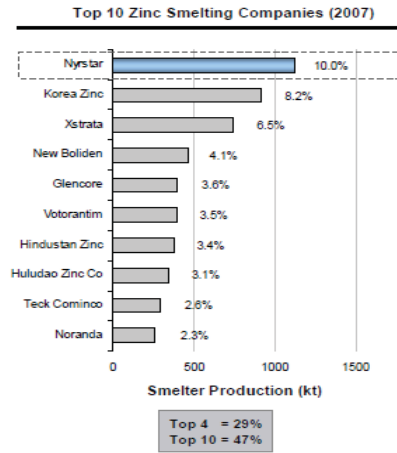
| Alaşım no | %Al | %Cu | %Mg | %Zn | %Mn | %Fe | %Si | %Ni | %Sn | %Cd | %Pb |
|-----------|---------|----------|-----------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Zk2 | 3.7-4.3 | 2.7-3.3 | 0.02-0.06 | Kalan | - | <0.05 | <0.03 | <0.02 | <0.02 | <0.005 | <0.005 |
| Zk3 | 3.7-4.3 | <0.05 | 0.02-0.06 | Kalan | - | <0.05 | <0.03 | <0.02 | <0.02 | <0.005 | <0.005 |
| Zk5 | 3.7-4.3 | 0.7-1.25 | 0.02-0.06 | Kalan | - | <0.05 | <0.03 | <0.02 | <0.02 | <0.005 | <0.005 |
| KS | 3.8-4.2 | 2.5-3.5 | 0.4-0.6 | Kalan | - | <0.05 | <0.03 | <0.02 | <0.02 | <0.005 | <0.005 |

ZAMAK ALAŞIMLARININ ÜRETİM PROSESİ

Zamak Alaşımlarının Birincil Üretimi

Dünya metal pazarında en çok kullanılan dördüncü metal olan çinko, yer kabuğunda en yoğun bulunan 27. elementtir [14]. Dünya da 266 farklı çinko madeni bulunmasına rağmen bunlardan sadece 19 tanesinin üretimi 100 000 ton/yıl çinko seviyelerindedir. Sınırlı miktarlarda madenden çinko üretilmesinin sebebi çinko metalinden demir, nikel, bakır metallere olduğu düzeyde karlı üretim gerçekleştirilmemesidir [15].

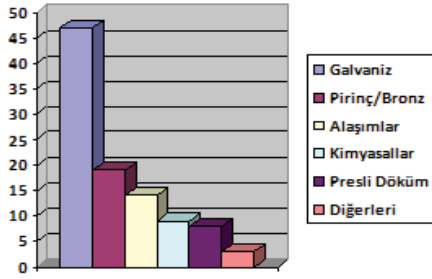
Şekil 1'de en yüksek miktarda Çinko Ergitme yapan Şirketleri (2008 yılına göre) vermektedir.



Şekil 2: 2008 yılı Çinko metalü üretim miktarları [17]

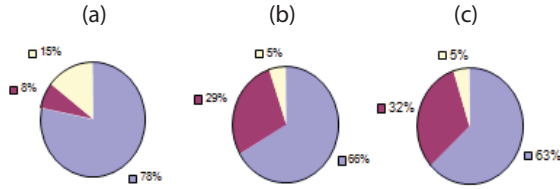
2010 yılı ilk yarısında yapılan incelemeler sonucunda dünya çapındaki çinko tüketiminin 12 milyon ton olduğu bunun 1,5 milyon tonunun ise döküm işlemi sırasında tüketildiği görülmüştür. Avrupa'nın tüketimi ise 300-350KT civarındadır [18]. Dünya üzerinde bulunan saf çinko (SHG) metalinin tüketim miktarları incelendiğinde basınçlı dökümde üretilen çinkonun sadece %13'ünün

kullanıldığı görülmüştür (Şekil3)



Şekil 3: Üretilen çinko metalinin tüketim alanları [17-18]

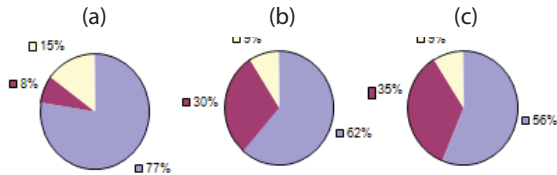
Zamak fiyatlandırmasına temel rol oynayan çinkonun dünyada son 15 yıl içerisindeki tüketim ve üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4 ve 5'de sırayla gösterilmiştir.



Şekil 4: Çinko tüketiminin son 15 yıldaki dağılımı [19]

Mavi: Gelişmiş Ülkelerde Bordo: Çin Sarı: Diğer

(a) Consumption 1990, (b) Consumption 2006, (c) Consumption 2010 [17-18].



Şekil 5: Çinko üretiminin son 15 yıldaki dağılımı [19]

Mavi: Gelişmiş Ülkelerde Bordo: Çin Sarı: Diğer

(a) Consumption 1990, (b) Consumption 2006, (c) Consumption 2010 [17-18].

Şekil 2'de verilen tablo incelendiğinde; günümüzde en yüksek saf çinko (SHG) üretiminin (2008 yılında 1056000ton, 2009 yılında 817000ton) Nyrstar firması tarafından yapılmakta olduğu bilinmektedir. Nyrstar üretimini Auby (Fransa), Balen (Belçika), Budel (Polonya), Clarksville (USA), Hobart (Avustralya) ve Port Pirie (G Avustralya) fabrikalarında gerçekleştirilmektedir. Sahip oldukları Tennessee, Coricanha, Talvivaara madenleri sayesinde kendilerine ait madenlerden öncelikle SHG üretilip daha sonra da alaşımlandırarak farklı zamak alaşımları elde etmektedirler.

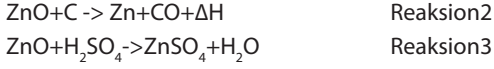
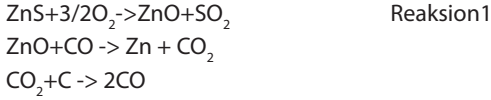
Zamak alaşım üretimi incelendiğinde üretim hattının SHG çinko üretimi ve alaşımlandırma olmak üzere temelde iki ana kolda yürütüldüğü görülmektedir.

Dünya üzerinde farklı çinko cevherleri bulunmasına rağmen ZnS (sülfür = zinc blende = sfalerit) üretilmekte olan çinko metalinin cevherini oluşturmaktadır. Sfalerit (sphalerite) doğada pirit, FeS₂ ve başka sülfürlerle bir arada bulunur. Üretim sırasında Zn'nin bunlardan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için Sfalerit'ce zengin cevhere kırma ve öğütme işlemi uygulanarak tane boyutu küçültülür (ort 0.1mm). Flotasyon işlemi ile yüzey gerilimlerine bağlı olarak ayrılan yapıdan %40-45 Zn içeren konsantre üretilir. Akışkan Yataklı Fırında 700-800°C'de konsantre yapısındaki sülfür yakılır (bkz Reaksiyon1). Bu esnada baca gazından çıkan SO₂ gazı, H₂SO₄ üretimi gerçekleştirmek için yeterince zengin olduğundan sülfirik asit üretiminde kullanılır.

Elde edilen kalsineden saf çinko üretebilmek için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar temel olarak pirometalurjik ve hidrometalurjik prosesler olarak incelenmektedir. Pirometalurjik uygulamada, elde edilen kalsine yüksek sıcaklık fırını içine konarak 1120°C'de karbonla indirgenir (bkz Reaksiyon 2). Zn buharı ise kondanse edilerek yüksek saflıkta Zn üretilir. Yapılan bu ilk kondensasyon işlemi sonrası elde edilen Zn'nin içeriğinde az miktarda Cd olduğundan 756°C'de distile edilerek uygulanarak döküm için saf Zn eldesi sağlanır. SHG üretimi için uygulan diğer bir yöntem hidrometalurji yöntemidir. Nyrstar firmasına ait dünyadaki en büyük saf çinko üretim fabrikasında (Overpelt/Belçika) gerçekleştirilen hidrometalurjik üretime ait akış şeması Şekil 6'da gösterilmektedir.

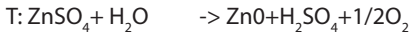
İçeriğinde %1'den az sülfür bulunan ZnO kalsinesi (belli miktarda Fe, Pb, Ag, Sb, Cd, Co ve Ni ihtiva eder) içerdiği empürüteleri uzaklaştırmak ve çinko metalini çözeltiye almak için liç işlemine tabii tutulur. (bkz Reaksiyon3).

Nötrleyici Liç işlemi sırasında sisteme verilen H₂SO₄ ile sistemde bulunan Fe, Pb gibi empürütelerin uzaklaştırılması amaçlanır, MnO₂ ise Fe₂O₃ oluşumunu engellemek, sistemdeki demirin büyük çoğunluğunu atık kekine (pulp) katmak için sisteme eklenir. Böylece liç işlemi sonrasında oluşan atık kekine sıcak asidik liç uygulayarak Pb üretimi gerçekleştirilir. Sıcak işlemde sonra demirli atıkları ayırt edebilmek içinse Jarosit/Goethite veya Hematit işlemleri uygulanabilir.



Nötrleyici liç işleminden sonra çinko elementince zengin çözeltinin (pH:4.5-5) içeriinde belli miktarda kirlilik bulunması (Sb, Cu, Co, Ni, Cd) elektroliz işlemi sırasında katotta kirliliğe, anot ve katot yüzeyinde istenmeyen reaksiyonlara tüm bunlara bağlı olarak da akım veriminde düşüşe sebep olur. Bu nedenle Çözelti Temizleme İşlemi ile pozitif yüklü iyonlar sementasyon işlemi uygulanarak çözülden uzaklaştırılırlar.

Temizlenip, iletkenliği artırılan çözelti (pH:5) elektrolizhaneye gönderilir. Hidrojen Fazla Voltajı prensibine esas alınarak uygun olarak katotta çinko eldesi sağlanır. Hücreye uygulanan voltaj 3,5-3,7 V iken akım 700-1000A/m²'dir. Elektrolizhanede gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir:



(A:Anotta (Pb (%1Ag)) gerçekleşen reaksiyon,

K: Katotta(Alüminyum plaka) gerçekleşen reaksiyon

T: Elektroliz Reaksiyonu)



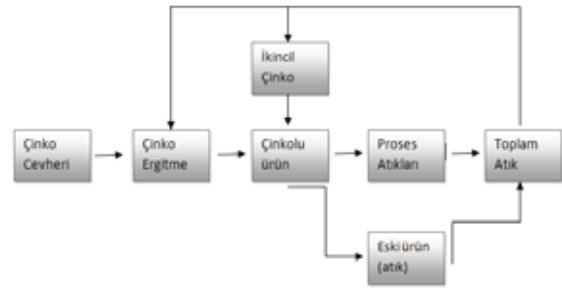
Şekil 6: Sfalerit (ZnS) cevherince zengin madenden gerçekleştirilen Zamak alaşımı üretimi akış şeması

Çözeltide bulunan Zn^{2+} ler katoda giderek yüzeyde indirgenir. Buradan elde edilen elektrolitik çinko daha sonra katot yüzeyinden sıyrılır ve ergitilerek zamak alaşım türü için gerekli olan ergiyik alaşım elementleri ile birleştirilip ingotlara dökülür [20-21].

Zamak Alaşımlarının Yeniden Değerlendirilmesi (İkincil Üretim)

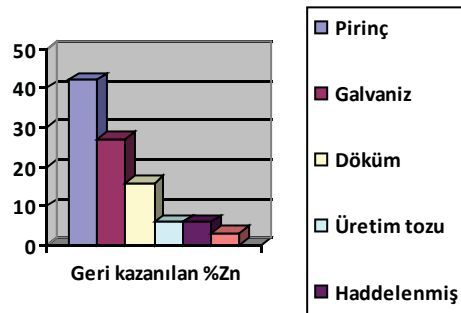
Çinko metali tamamiyle yeniden değerlendirilebilir bir metaldir. Dünya üzerinde bulunan metalin %70'i cevherden üretilen, %30'u ise yeniden kazanımla elde edilmiş çinkodur. Genel anlamda çinko içeren bir ürüne uygulanan yeniden kazanım prosesi Şekil 7'de özetlenmiştir [14].

Çinko ergitme yöntemi ile ürün elde ederken ortaya çıkan proses atıkları hurdalar ve eski ürünler (atıklar) toplam atık havuzunda toplanarak çinko ergitme prosesine geri gönderilirler bu şekilde atıkların ikincil üretim sırasında elde edilen ürünün bileşim ve kalitesini bozması engellenir.



Şekil 7: İkincil Çinko genel üretim akış şeması [17]

Farklı kullanım alanlarına bağlı yeniden çinko kazanım miktarları Şekil 8'de gösterilmiştir [14].



Şekil 8: Geri kazanılan %Zn miktarlarının kullanım alanlarına göre dağılımı

Ürünlerin ikincil üretime ait genel akış şeması Şekil 9'da verilmiştir. İkincil üretimde proses atıkları potaya

ZAMAK Alaşımalarının Fiyatlandırılması

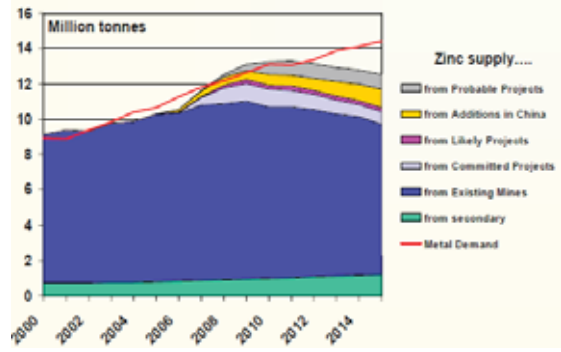
LME borsasında, çinkonun geçtiğimiz 10 yıl içerisinde aldığı değerler Şekil 13'de görülmektedir. 2000'li yılların başında beklenilenden düşük olan fiyatlar, 2006 yılında piyasada yaşanan metal eksikliği ve buna bağlı yapılan spekülasyonlar sebebiyle 4500 USD/ton'a kadar çıkmıştır. Bu ani çıkış bazı tüketicilerin artan çinko fiyatı karşısında döküm parçalarında çinkodan alüminyuma doğru geçiş yapmasına neden olurken, üreticilerinde yeni madenleri piyasaya arz etmelerine sebep olmuştur.

2008 yılında gerçekleşen ekonomik kriz çinko tüketiminin 2007 yılına nazaran %30-40 azalmasına sebep olmuştur. 2008 yılından bugüne kadar çinko madencileri ve üreticileri tarafından sağlanan "fazlalık (surplus)" 2010 yılının ikinci yarısından itibaren dengelenmeye başlamıştır. Bu dengenin sağlanmasında özellikle Asya'da (Çin, Tayvan, Tayland ve Endonezya'da) gerçekleşen otomotiv ve yapı sektörlerindeki çinko metal kullanımının artması ve Çin'deki metal üreticilerinin üretim miktarlarını azalması etkin bir rol oynamaktadır [18,25]. İlerleyen teknolojiye bağlı olarak dünya pazarında farklı kullanım alanlarında özellikle çinko pillerin araç ve otobüslerde kullanımı, çinkonun gübre katkısı olarak tarımda yaygınlaşması da 2011'den itibaren metal piyasasındaki öneminin yükselen ihtiyaca paralel olarak artacağını göstermektedir.



Şekil 13: LME borsasında çinko metali fiyatlarında son 10 yıllık değişim [26]

Dünya pazarında çinkonun arz talep dengesi Şekil 14'de verilmiştir. Bu dikkate alındığında önümüzdeki 5 yıl içinde sürekli artan talebe karşılık yapılan çinko metal üretimin yeterli olmayacağını görülmektedir.



Şekil 14: Çinko üretimi ve tüketimi arasında öngörülen ilişki [27]

Özetle; global ekonomide yaşanan tüm hareketlenmeler ve dünya da teknolojiye bağlı olarak değişen dengeler göz önüne alındığında çinkonun ve dolayısıyla da Zamak alaşımlarının 21.yy boyunca önemini yitirmeden metal piyasasında değişken değerleri ile bulunması beklenmektedir [28].

*Bu bölümde yer alan bilgiler güvenilirliğine inanılan bir çok bilgi kaynağının incelenmesi sonucunda derlenmiş olup, okuyucunun söz konusu bilgileri genel çerçevede değerlendirip çinko piyasası hakkında bilgi sahibi olması hedeflenmiştir.

ZAMAK'tan NASIL PARA KAZANILIR?

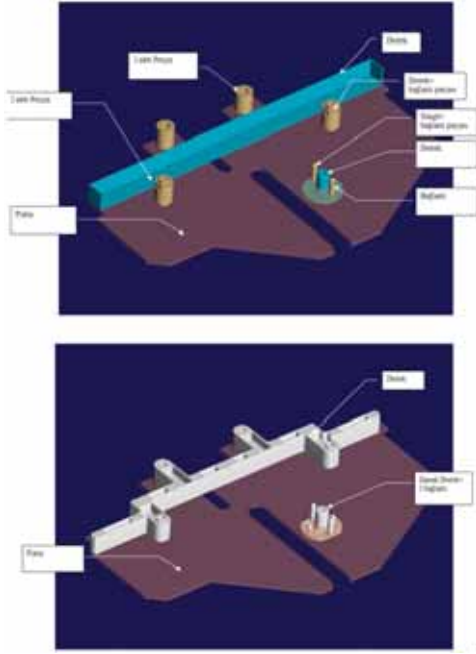
Günümüzde, toplumların küresel ısınma problemine daha bilinçli yaklaşımları ve devletlerin azalan enerji kaynaklarının tüketiminde uyguladıkları hukuki ve cezai yaptırım gücünün daha etkin kullanılmaları sonucunda "enerji" ve "çevre kirliliği" kavramları üreticilerin önem verdiği kavramlar haline gelmişlerdir.

Zamak alaşımlarının düşük ergime sıcaklıkları sayesinde enerjiye çok gereksinim duymadan dökümleri gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca bu alaşımların yeniden kullanılabilir olmaları, döküm işlemi sırasında patlayıcı reaksiyon vermemeleri ve zehirli gazların oluşumuna sebep olmamaları nedeniyle alternatif malzemelere göre daha az çevreye zarar vermektedirler.

İçeriklerinde bulunan %4 alüminyum miktarı sayesinde ise makine ekipmanlarının daha uzun süre daha yüksek verimle kullanımına imkan vermektedir.(> 1.000.000 basma sayısı). Böylece uzun vade de bakım masraflarında azalma sağlanırken verimlilikte artış sağlamaktadır.

Tüm bunların yanı sıra, pres döküm yöntemi sayesinde

kompleks şekilli parçalar tek seferde üretilerek talaşlı imalat işlemine duyulan ihtiyaç azaltılır. Aynı zamanda birleştirme ve bir araya getirme gibi işlem basamaklarına olan ihtiyaçta bu özelliği sayesinde ortadan kalkmaktadır. (bknz Şekil 14,15)



Şekil 15: Zamak ile üretimin yarattığı kazanç a) Eski üretim yöntemi b) Zamak ile üretim yöntemi



Şekil 16: Kalıpta yapılacak iyileştirmeler ile tüketilen hammadde miktarında azalma sağlanabilir.a) 1. Yeni dizayn (duvar kalınlığı 1,3mm), 2. Eksi dizayn (tüketilen zamak miktarından kazanç:%28,5.) b) 1. Yeni dizayn, 2. Eksi dizayn (tüketilen zamak miktarından kazanç:%11,6.) c) 1. Eski dizayn, 2. Yeni dizayn (tüketilen zamak miktarından kazanç:%30.)

Son olarak sergiledikleri yüksek mekanik özellikleri, ve kalıp dizaynına yapılan iyileştirmelerle alternatiflerine nazaran daha az miktarda malzeme tüketimi ile (0,9 mm duvar kalınlığına kadar indirilebilir) aynı verimin elde edilebileceği parçalar üretilebileceği göz önüne alındığında (bknz Şekil4). zamak alaşımlarının uzun vadeli üretimlerde işletmeciyeye büyük karlar sağlayabildiği, üretilen ürünün sahip olduğu üstün özellikleri açısından

da alternatiflerine nazaran rahatça tercih edilebileceği açıkça görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında yardımları için Doç. Dr. Özgül Keleş'e teşekkür ederim.

Kaynakça

1. G. Boothroyd , P. Dewhurst , W. A. Knight, 'Product Design for Manufacture and Assembly', Second Edition, CRC Press 2001, 400-435.
2. R. F. Lynch, 'Zinc: Alloying, Thermomechanical Processing, Properties, and Applications', Lynch & Associates Inc., Wyckoff, New JerseyUSA, 20-80.
3. http://www.nyrstar.com/en/productsServices/products/zinc/ZincAlloysZamakProducts/ZZ_standards/DieCasting/ZincDieCastingStandardsWorldwide.htm, 02.04.2008
4. Nyrstar Annual Seminary in Paris, presented by Bruno Dubaele,2007.
5. Editions Techniques des Industries de la Fonderie, Le Moulage Sous Pression des Alliages de Zinc, pp10-20, 2000.
6. Les caractéristiques mécaniques des alliages de Zinc utilisés en fonderie sous pression par J. Parisien.
7. Nyrstar Annual Seminary in Istanbul, presented by Marc Verstraete,2009.
8. A. Pola, R. Roberti, L. Montesano, 'New Zinc alloys for semisolid applications', International Journal of Material Forming, 2010, Volume 3, Supplement 1, 743-746.
9. M. Gelfi, E. Bontempi, A. Pola,R. Roberti,D. Rollez, L.E. Depero, Advanced Engineering Materials Volume 6, 10, 818-822, 2004.
10. P., Molera, E., Santamarta, Revista de Metalurgia, Vol29, 6, 375-379, 1993.
11. D.G.Sosa, T. Greday, D.Coutsouradis, ATB Metall, Vol24, 3, 253-273,1984.
12. M. Yılmaz,S.Altintas, C.Levallant, 7th International Metallurgy and Materials Congress. Vol.2, 1017-1024, Turkey, 1993.
13. D. Rolez, L. Coster, P. Piel, Metall, Vol54, 5, 273-276, 200.

14. <http://www.galvanizeit.org/aga/galvanized-steel-in-use/sustainable-development/zinc-recycling>, 20.08.2010
15. R.J.H. Wanhill and T. Hattenberg , "Corrosion-induced cracking of model train zincaluminium die castings", National Aerospace Laboratory NLR, 2005
16. www.metalbulletin.com/events/papers.aspx, 20.09.2010
17. www.basemetals.com/html/zninfo.htm, 20.08.2010
18. Nyrstar Annual Seminary in Istanbul, presented by Marc Verstraete,2010.
19. Zinc Substitution Global Marketting and Sales, 2006, Zinifex.
20. Porter, Frank C., Zinc Handbook, CRC Press,1991, ISBN 9780824783402, pp 35-80.
21. Gupta, C. K.; Mukherjee, T. K. (1990), Hydrometallurgy in Extraction Processes, CRC Press, p. 62, ISBN 0849368049
22. O. Radovici, Cecilia Vass and I. Solacolu, Electrodeposition and Surface Treatment Vol 2, 4, 263-273, 1974.
23. M.R. Monteiro, A.R.P. Ambrozin, A.O. Santos, P.P. Contri, S.E. Kuri, Materials Science Forum, Vol 636 – 637, 1024-1029, 2010.
24. www.basemetals.com/html/lme.htm, 20.08.2010
25. B. Magnus, M. Meeus, G. Crocq, Fonderie Belge. Vol. 52, 4, 19-27, 1982.
26. http://www.lme.com/zinc_graphs.asp, 10.08.2010
27. W. A. Chaparro, D. L. Cataño, E. V. López, Rev. Latin Am. Met. Mat., Vol.26,1-2, 2006.
28. www.yukonzinc.com, 10.08.2010
29. <http://agmetalminer.com>, 07.05.2008

EK1. Zamak alaşımlarının alternatif döküm malzemeleri ile özelliklerinin kıyaslanması [29]

| | Zamak3 | Zamak5 | Zamak2 | Ks | Alüminyum (AlSi12) | Pirinç (CuZn37) | Çelik (DIN 1.0402) | Plastik (ABS) |
|----------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------|---------|--------------------|-----------------|--------------------|------------------|
| Mekanik Özellikleri | Akma Dayanımı (MPa) | 268 | 295 | 361 | <200 | 120 | 345 | 25-65 |
| | Maksimum Çekme Dayanımı (Mpa) | 308 | 331 | 397 | <200 | 280 | 440 | 25-65 |
| | Maksimum yük altında uzama (%) | 3 | 2 | 3 | <2 | - | - | 1.7-6 |
| | Çarpma Dayanımı (Joules) | 46 | 52 | 38 | - | 4 | 16,9 | 0.4-6.4 |
| | Brinell Sertlik (Brinell) | 97 | 114 | 130 | 150 | 85 | 131 | yumuşak |
| | Kırılma tokluğu (10^7 N/m ^{3/2}) | 2,25 | 2,1 | - | - | 3,6 | - | - |
| | Yoğunluk (g/cm ³) | 6,7 | 6,7 | 6,8 | 6,8 | 2,65 | 7,87 | 1,02-1,21 |
| | Isıl Genleşme Katsayısı (10^{-6} C ⁻¹) | 27,4 | 27,4 | 27,8 | 27,8 | 21,1 | 16 | 50-150 |
| | Termal iletkenlik | 113 | 109 | 105 | 105 | 96 | 52 | 0,12-0,19 |
| | Elektriksel İletkenlik (Sm/mm ²) | 15-16 | 15-16 | 15-16 | 15-16 | 12-28 | 14-15 | n/a |
| Fiziksel Özellikleri | Elektriksel Direnç (μohm cm) | 6,37 | 6,54 | 6,85 | 6,85 | 7,5 | 15,9 | 10 ¹⁵ |
| | Ergime Sıcaklığı Aralığı (°C) | 381-387 | 380-386 | 379-390 | 379-390 | 516-582 | 885-925 | - |
| | Spesifik Isı Kapasitesi (J/kg.°C) | 419 | 419 | 419 | 419 | 960 | 380 | 1900-2130 |
| | Sürtünme katsayısı | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | - | - | 0,45 |
| | Kararlılık (%) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,25-0,3 | 1 | ** |
| | Min duvar kalınlığı (mm) | 0,4 | 0,4 | 05 | 1,2 | 1,3 | - | - |
| | Tipik üretim hızı (baskı/saat) | Büyük: 200-500, küçük: 400-1000; ince: 2000-3000 | | | 20 | 50-250 | 125 | Değişkendir |
| | Üretim hızı genişliği (baskı/saat) | 200-3600 | | | 10-30 | 30-350 | 30-200 | 100-400 |
| | Tipik ekipman ömrü (baskı x 10 ³) | 750-2000 | | | 0,2 | 100-225 | - | Bileşime bağlı |

** Yüksek nem gibi değişken ortam şartlarında tolerans değeri etkilenmektedir.

EK2. Zamak metalinin kullanım alanları ve sağladığı avantajlar [18]:

| | Korozyon direnci | Boyutsal Toleransı | Yüksek Mukavemet | Yüzeysel işlem uygulanabilirliği | Kompleks Şekil alabilirliği | Aşınma/sürtünme dayanımı | Hafifliği | Elektromanyetik zırh etkisi | Değişen Sıcaklıklarda gösterdiği kararlılık | Yüksek hassasiyette güç iletimi |
|-----------------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| Emniyet Kemer Mekanizması | x | x | | | x | x | | | | |
| Açılır Tavan Kayma Mekanizması | x | x | x | | | x | x | | x | |
| Bağaj Kiliti | x | | x | x | x | x | | | x | |
| Dış Ayna İskeleti | x | | x | x | x | | x | | x | |
| Silecek Kolu | x | x | x | | x | | x | | x | |
| Balans Ağırlığı | x | x | x | | x | | | | | x |
| Airbag sensor yuvası | x | x | | | x | | x | x | | x |
| Far yuvası | x | x | x | x | x | | x | | | |
| Karbüratör gövdesi | x | | | | | | x | | | |
| Kol Dayanağı | x | | x | x | | x | x | | | |
| Ön konsol kontrol düğmeleri | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Radyatörlerde | x | | | | | | | | | |
| İzgaralarda | x | | | | | | | | | |
| Yakıt pompasında | x | | | | | | | | | |
| Motor Muhafazası | x | | | | | | | | | |
| Krank | x | | | | | | | | | |
| Dış-İç kapı açma kolu | x | | | | | | | | | |
| Dikiz Aynası | x | | | | | | | | | |
| Yakıt deposu ölçüm haznesi | | | | | | | | | | |
| DVD/CV sürücükleri | X | x | | x | x | x | x | x | | |
| Elektronik EMI kapatma yuvası | x | x | | | x | | x | x | | |
| Düşük voltaj elektronik bağlantılarında | x | x | x | | x | | | | | x |
| Beyaz eşyalarda bulunan motor ve ekipmanlarda | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |

