



29 September -1 October / 29 Eylül - 1 Ekim 2016

TÜYAP Fair, Convention & Congress Center, İstanbul

8. Uluslararası Döküm Kongresi / 8th International Foundry Congress by TUDOKSAD Academy

In conjunction with Ankiros / Annofer / Turkcast fairs

«Magnezyum Alaşımları Basınçlı Dökümü ve Karakterizasyonu»

«High Pressure Die Casting Of Mg Alloys and Characterization Practices»

Deniz Taşkesen, Prof. Dr. Ali Kalkanlı (Rutaş, ODTÜ)

7.Oturum: Döküm Teknolojileri Demir Dışı

7th Session: Casting Technologies Non Ferrous

Oturum Başkanı/Session Chairman: Prof. Dr. Kazım Tur (Atılım Üniversitesi)



Oturumlarda yer alan sunumlar 3 Ekim 2016 Pazartesi tarihinde akademi web sayfasına (akademi.tudoksad.org.tr) yüklenecektir.

Magnezyum Alaşımları Basınçlı Dökümü ve Karakterizasyonu

*Prof.Dr.Ali Kalkanlı Deniz Taşkesen**

*ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Üniversiteliler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No:1 06800 Ankara*

**RUTAŞ Ltd. Şti. 1. Organize Sanayi Bölgesi Ahi-Evran Mahallesi 209 sokak.
No:25 Sincan - Ankara*



29 September -1 October / 29 Eylül - 1 Ekim 2016
TÜYAP Fair, Convention & Congress Center, **İstanbul**

8. Uluslararası Döküm Kongresi / 8th International Foundry Congress by TUDOKSAD Academy
In conjunction with Ankiros / Annofer / Turkcast fairs

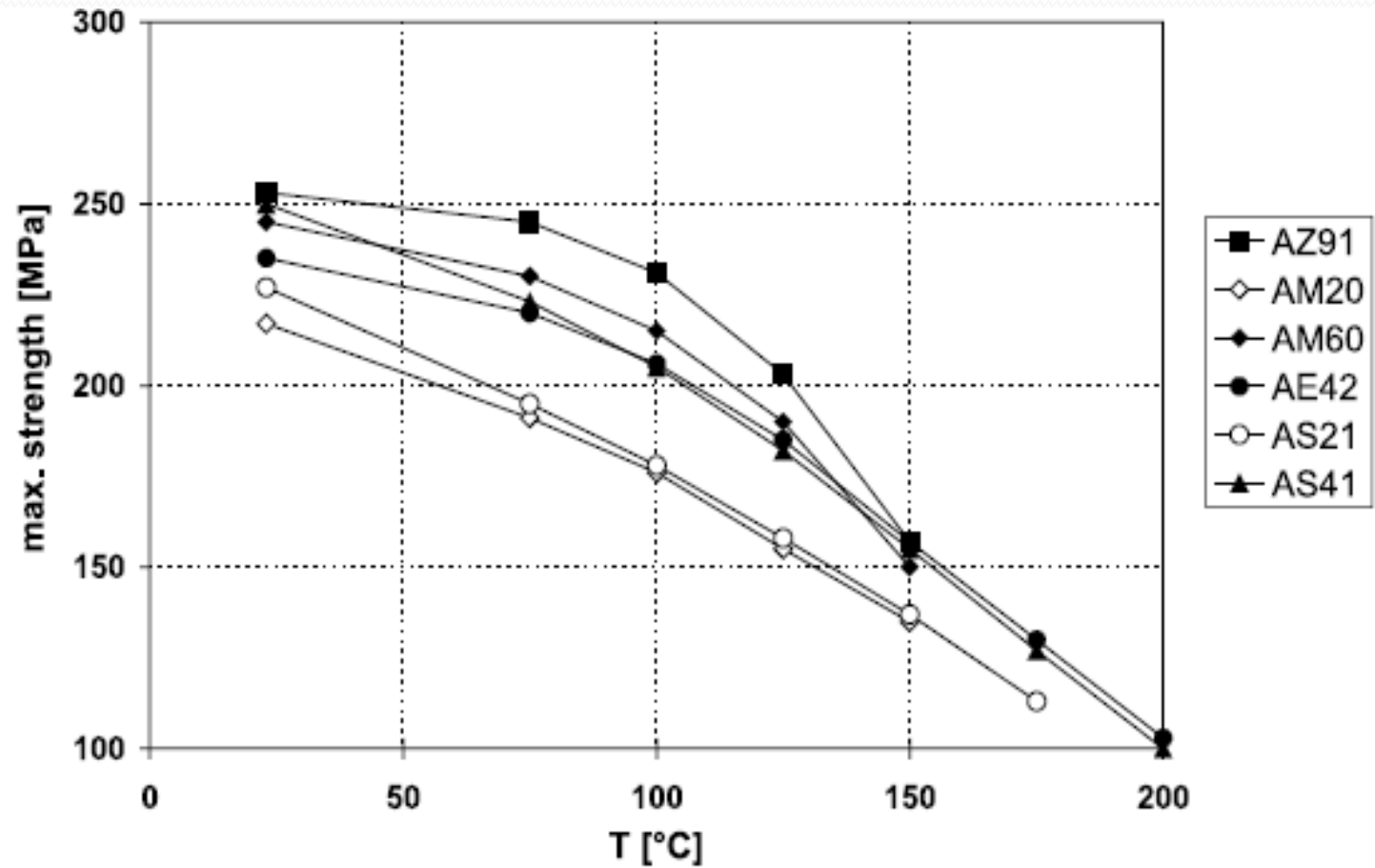
Özet

- Yüksek basınçlı döküm magnezyum alaşım geliştirmek ve yenilerini yaratmak otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere, döküm sırasında katılaşma aralığı ve akışkanlık özellikleri uygun, dökülebilirliği iyileştirilmiş, sonrasında sürünme direnci yüksek, mekanik özellikleri artırılmış, mikro gözenekleri azaltılmış, korozyon direnci yükseltilmiş alaşım elde etmek ve bütün bu özellikleri aynı anda sağlamak oldukça zordur.

Literatür

- Döküm magnezyum alaşımlarında kullanım koşullarında karşılaşılan önemli kriterlerden birisi çekme dayancından sonra sürünme direncidir. Sürünme için, üç temel mekanizma:
- **1) Difüzyon sürünmesi 2) Dislokasyon sürünmesi 3) Tane sınırı kayması olarak bilinmektedir.**
- Difüzyon sürünmesi genel olarak magnezyum alaşımlarının endüstriyel uygulamalarda bileşenlerdeki gerilmeler çok yüksek olduğu için fazla öneme sahip değildir. Buna karşın, esas öneme sahip olan dislokasyon sürünmesi ve tane sınırı kaymasıdır [1,2,3] .
- Tane sınırı kayması yüksek sıcaklıklarda tane sınırlarının yumuşamasına bağlıdır. Bu durum tane sınırlarındaki fazlarının düşük ısıl direncinden ve sınır alanlara yakın dağılmış bölgesel çökelti oluşumlarından ve kristal yapı içerisindeki çizgisel hatalardan yani dislokasyonlardan dolayı meydana gelir

- Tane sınırı kayması esnasında, taneler bir biri üzerinde herhangi bir deformasyon oluşturmada kayarlar. Tane sınırı kayması alüminyum içeren magnezyum döküm alaşımlarının düşük sürünme direnci için ana sorun olarak görülür.
- Uzun zamandan beri beri ağırlıkça % 4-9 alüminyum ilavesinin çekme dayancındaki artış etkisi bilinmektedir. Alüminyum katı eriyik oluşumuna ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazına bağlı olarak etkili dayanç artışı ve sertliği en yüksek değerlere çıkarır. Ayrıca gelişmiş mekanik özelliklerin dışında **alüminyum önemli derecede magnezyumun dökülebilirliğini arttırmaktadır**(ötektik sistem $T_E = 437^\circ C$). Diğer taraftan, yüksek alüminyum içeriği, dentritler arası $Mg_{17}Al_{12}$ tane sınırı fazı oluşturur ki $120^\circ C$ üstündeki uygulama sıcaklıklarında mukavemeti düşürür(Şekil1).



Bazı magnezyum alaşımlarının sıcaklık ile çekme mukavemeti değişimi.

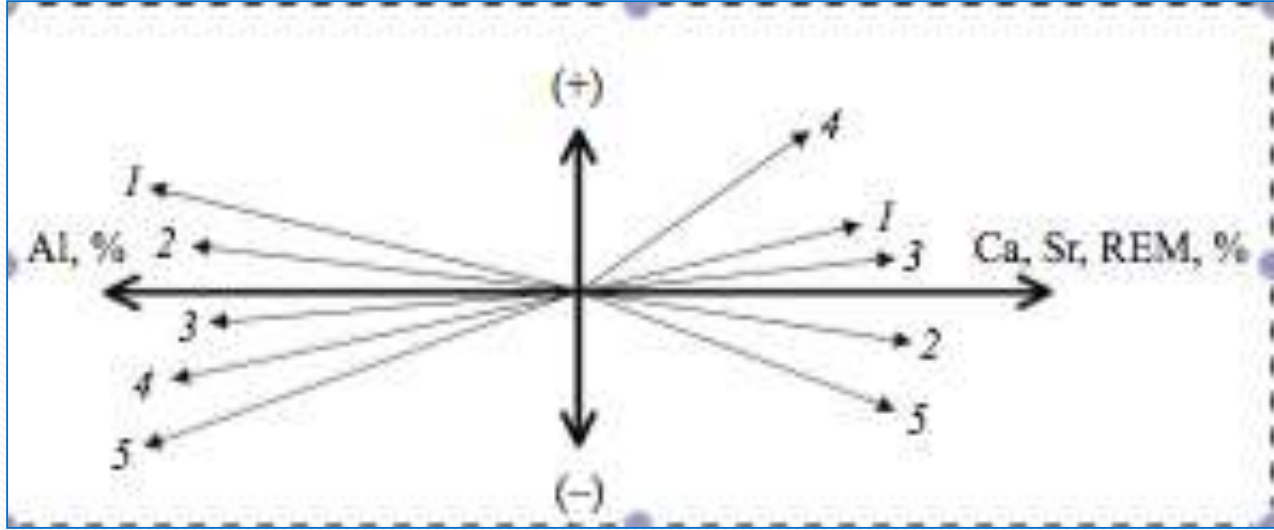
- Mg-Al-Zn alaşım sistemi, Mg döküm alaşımları içinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu alaşım sistemi ilk olarak 1913 yılında deneysel olarak bulunmuş ve daha sonra birçok araştırmacı tarafından araştırılıp geliştirilmiştir ^[1].
- AZ91'in katılaşması, birincil Mg olan α (Mg) katı eriyik içerisinde çekirdeklenme ile yaklaşık 600°C'de başlar ve katılaşma 470°C'de son bulur ^[1].
- Tek faz α (Mg) ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazından oluşmuş ayrık bir ötektik oluşumu mikroyapıda görülür. Böylece denge dışı AZ91'in mikroyapısı α (Mg) ve bir intermetalik faz olan $Mg_{17}Al_{12}$ 'den oluşur.

Yüksek basınçlı döküme uygun magnezyum alaşımlar

- Alaşım seçiminde kabul edilebilir maliyete sahip, uygun döküm koşullarına ve döküm sonrası istenilen mekanik özelliklere sahip olması, **Al** ve **Zn** içeren yeni alaşımlarda düşük miktarlarda **Mn**, **Si**, **Ca** ve **Sr** ile **Ce** mişmetal gibi alaşım elementlerinin seçimini gerektirmekte ve bu elementlerin yüksek konsantrasyonda kullanılmasını da sınırlamaktadır.
- Basınçlı döküm için magnezyum alaşımları geliştirilirken alaşıma alüminyum ilavesi döküm koşullarını iyileştirmek için ilave edilmektedir

- **Aluminyum ilavesi ile magnezyum aluminyum ötektik intermetalığı olan β -beta fazı ($\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$) oluşur. Bu faz sürünme direncini de özellikle 150 °C üzerinde önemli ölçüde düşürmektedir.**
- Böylece beta fazının oluşumunu önlemek için beta fazı oluşmadan daha yüksek sıcaklıklarda aluminyum ile intermetalik yapacak elementler ilavesi yapılabilir. Mg-Me ve Mg-Al faz diagramları analiz edildiğinde periyodik sistemdeki nadir toprak elementi, alkali toprak elementi ve üçüncü grup geçiş elementleri bu afiniteye sahip olmaktadır. ^[1]

- Beta fazının önlenmesinde başka bir yöntem ise alüminyum miktarını azaltmak ve aynı zamanda magnezyuma afinitesi yüksek kararlı bir faz oluşturacak ve tane sınırı kaymasını engelleyecek başka bir elementi ilave etmektir. Böyle bir gerekçe ile içerisinde Mg_2Si silisid oluşumu olan **AS21**, **AS21X** ve **AS41** ^[5] alaşımları geliştirilmiştir.
- Basınçlı döküm için geliştirilen bütün bu yeni alaşımlarda Ca, Sr ve REM ya tek olarak ya da birlikte ilave edilmektedir



Al, Ca, Sr ve REM alaşım elementlerinin malzeme özellikleri ve yüksek basınçlı döküm maliyeti üzerindeki etkileri. 1) Oda sıcaklığındaki dayanç 2) Döküm özellikleri 3) Maliyet 4) Sürünme direnci 5) Gevreklik darbe tokluğu [22]

Ticari ve yeni sürünme direncine sahip magnezyum esaslı basınçlı döküm alaşımları [20]

Alaşım	Numarası	Buluş sahibi	Son durumu
Mg-Al-Si	AS41(Mg-4Al-1Si)	VW	Ticarileşti
Mg-Al-Si	AS21(Mg-2Al-1Si)	VW	Ticarileşti
Mg-Al-(RE)	AS21X	Hydro Mag	Patentli
Mg-Al-(RE)	AE42(Mg-4Al-2RE)	Dow	Ticarileşti
Mg-Al-Ca	AX51(Mg-5Al-(0.2-0.8)Ca)	ITM	WO96/25529(1995)P D
Mg-Al-RE-Ca	AEX	Nissan-UBE	EP0799901 A1(1997)NK**
Mg-Al-RE-Ca	ACM522-(Mg-5Al-2RE-2Ca)	Honda	EP0791662A1(NK**)
Mg-RE-Ca(Mn)	EX(Mg-(2-5)RE-(0-1)Ca)	MEL	WO96/24701(NK**)
Mg-Zn-Al-Ca	ZAX850	IMRA	US5855697(1999)
Mg-Al-RE-Ca(Sr)	MRI153, MRI230D	DSM-VW	US6139651(2000)
Mg-Al-Sr	AJ(Mg-(2-9)Al-(0.5-7)Sr)	Noranda	US6322644(2001)
Mg-Al-Ca-Sr	AXJ(Mg-5Al-(2-3)Ca-0.07Sr)	GM	US6264763(2001)
Mg-Al-Sr-Ca	AXJ(Mg-(2-9)Al-(0.2-0.6)Sr-(0.15-0.3)Ca)	Noranda	US6342180(2002)

Basınçlı döküm ile üretilmiş çeşitli magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri [3, 6, 11, 14, 16].

Özellik	Birim	AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Çekme dayancı	MPa	250	240	237	214	240	220	234
Akma dayancı	MPa	160	130	125	90	140	120	145
Yüzde uzama	%	7	13	15	20	15	13	11
Darbe dayancı (charpy)	J	4.4	13	18	13	12	9	9

T. Haavard ve arkadaşları farklı kalınlıklarda **AZ91D** ve **AM50** alaşımlarının yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretimini çalışmışlardır ^[11].

Magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin tane boyutuna oldukça bağlı olduğunu tespit etmişler ve küçük taneli yapının döküm parçasının sünekliliğini ve mukavemetini arttırdığını bildirmişlerdir.

Döküm parçanın kalınlığı da arttıkça mukavemet ve sünekliliğin azaldığı gözlenmiştir.

Yüksek Basıncılı döküm: Yüksek basınç altında sıvı metalin, kalıcı metal kalıbayüksek hızla enjekte edilmesine dayanan bir süreçtir.

Kum ve kokil döküm ile karşılaştırıldığında kalıbı doldurma, yerçekimi kuvveti altında meydana gelmez. Bunun yerine eriyik üzerindeki basınç hızlı hareket eden bir piston vasıtası ile kinetik enerjiye çevrilir ve hazneye dökülen sıvı metal yükek hızla kalıba dolar.

Sıvı metal kalıp içerisine enjekte edilirken son hacmine dolana kadar eriyik içinde çok fazla türbülans olur.

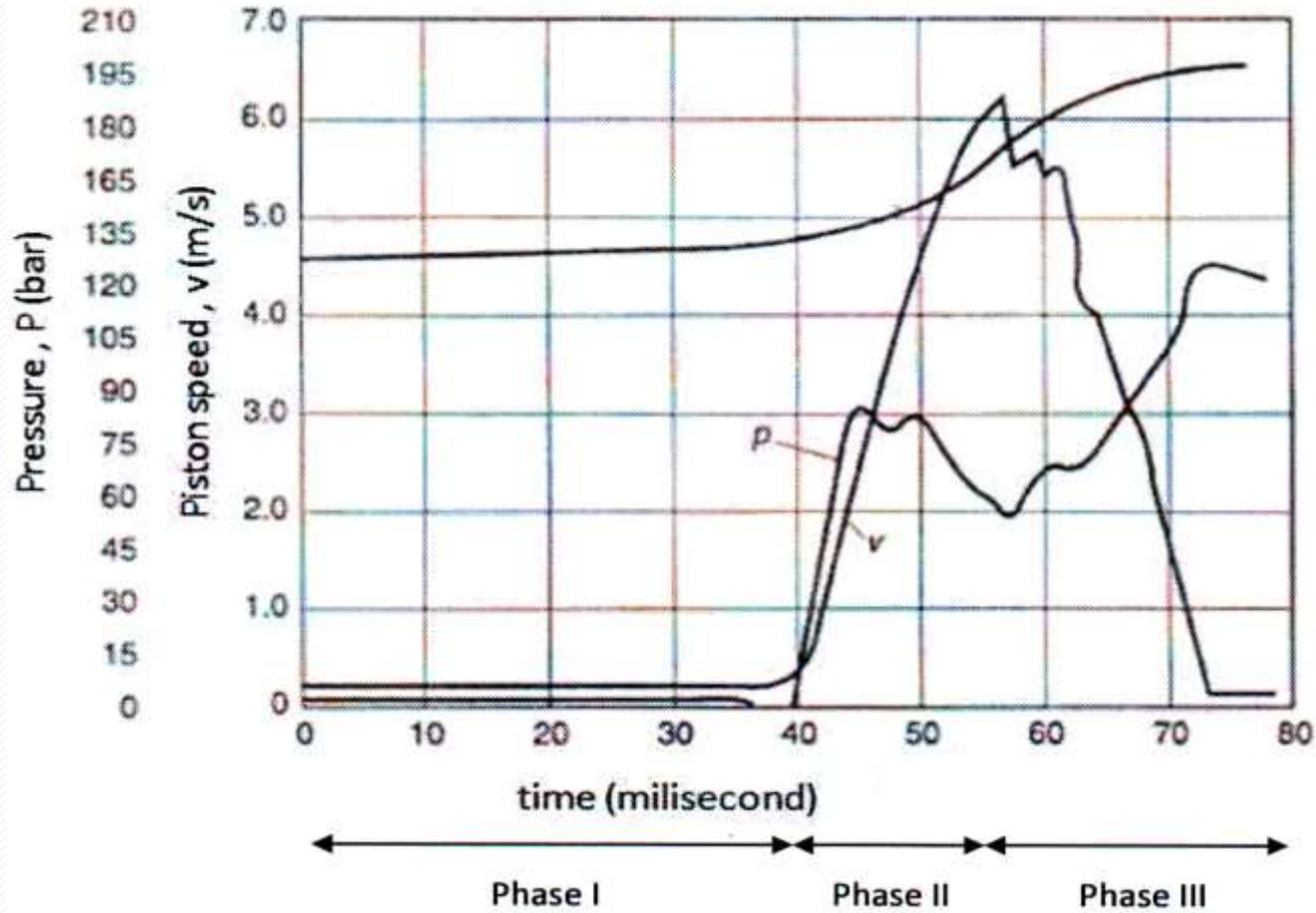
Yüksek basınçlı dökümün avantajları dört madde halinde özetlenebilir;

- 1-ince cidarlı karmaşık parçaların üretiminin mümkün olması,
- 2-yüksek hızda üretilebilirlik,
- 3-nihai ürüne yakın ürün elde edilmesi,
- 4-hızlı soğuma ile iyi mekanik özellikli çok ince taneli mikro yapının oluşması şeklinde sıralanabilir.

Döküm öncesi ve alaşım sıvı hale gelirken

Magnezyum eriyiğinin oksijene çok yüksek duyarlılığı, fırın, borular ve pompalar içinde inört atmosfer oluşturulmasını gerekli kılmaktadır.

Bu nedenle magnezyum dökümü esnasında 350 °C üzeri sıcaklıklarda N_2 veya $CO_2 + SF_6$ koruma gaz karışımı kullanılmak zorunluluğu vardır^[1,3,14].

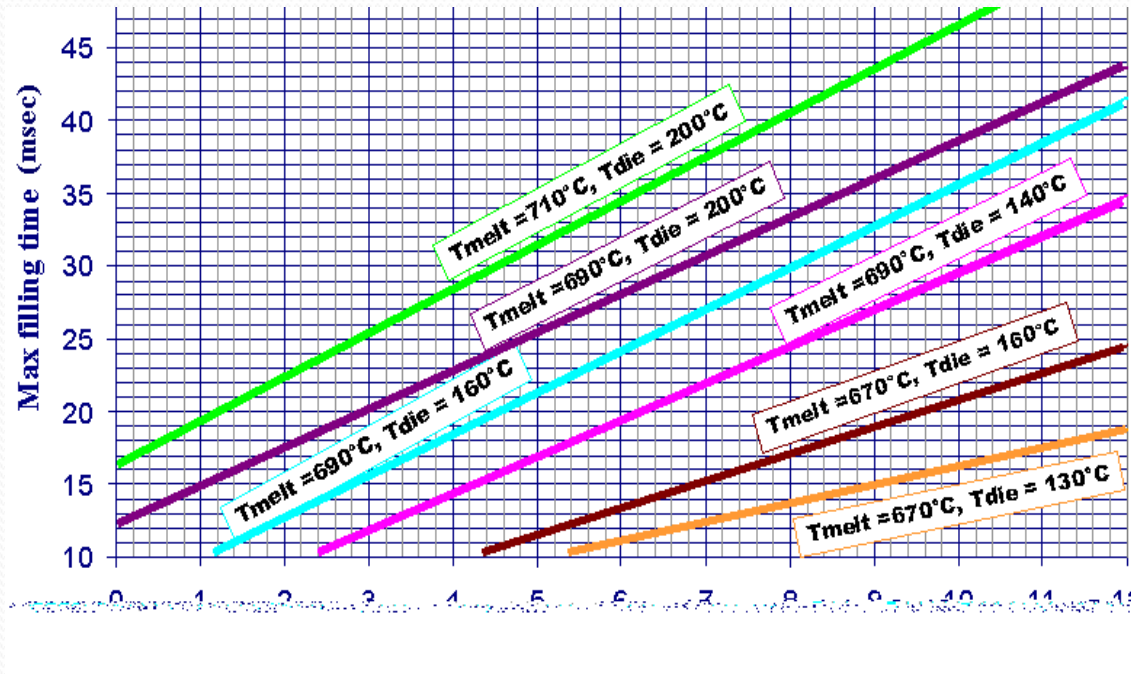


- Faz 1 Sıvı magnezyum kamaraya dolar
Faz 2 5-10 m/s hızla plunger hareket eder,
Faz 3 Parça 25-100 MPa basınca ulaşır sonra maçalar geri çekilir

Mg alaşımı	Sıcaklıklar		Spray ve yağlama		Kalıpta kalma süresi %
	Eriğik(°C)	Kalıp(°C)	Spray süresi(%)	Karışım oranı	
AZ91D	650-670	150-200	100	1/40-1/80	100
AM50A	680-695	150-200	100	1/40-1/80	100
MRI153M	660-670	200-250	120-150	1/25-1/40	70-80
MRI230D	680-690	200-250	120-150	1/15-1/40	50-75

Yüksek basınçlı dökümlerde kullanılan ticari ve yeni alaşımlar ve basınçlı döküm koşulları

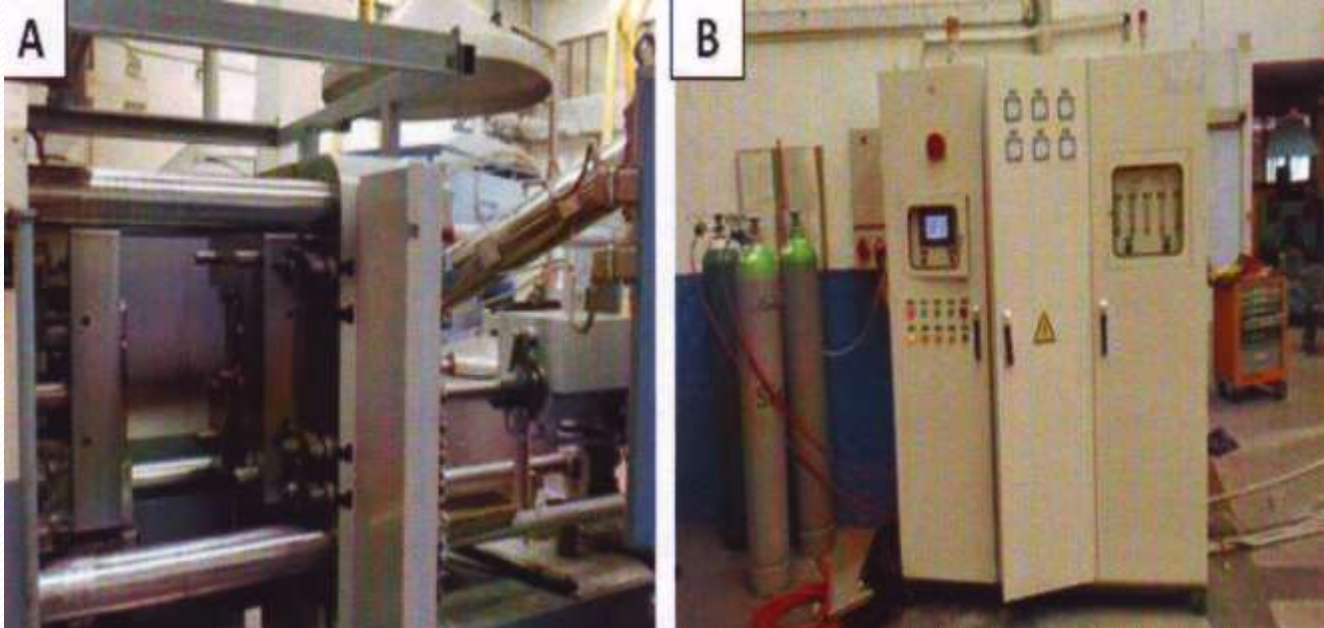
Örneğin beş dikdörtgen örnek numune kalınlıkları 1.5, 3, 6, 9 ve 12 mm için optimum dolum sürelerini her kalınlık için 1-7 m/s arası farklı ikinci faz hızları uygulanarak birçok deneme yapılmıştır. Bu denemelerin amacı hatasız basınçlı dökümler elde etmek için minimum ikinci faz hızlarını veya maksimum kabul edilebilir dolum süresini belirlemektir (Şekil 6) [22]



MRI230D alaşımı için kesit kalınlıklarına karşı gelen maksimum dolum sürelerini gösteren grafik

Rutaş Pres Döküm’de Magnezyum Basınçlı Döküm:

Rutaş Pres Döküm’de mevcut 300,400 ve 800 Ton soğuk kamara yüksek basınçlı döküm makinaları ile Azot-SF₆ koruyucu gaz atmosferi altında AM60 ve AZ91 alaşımları kullanılarak kesit kalınlıkları 1.5-4.5 mm arasında olan 380mmx380mm ebatlarında ve h=90 mm olan değişik magnezyum alaşım parçalar üretilmektedir.



RUTAŞ Pres Döküm’de üretilen Magnezyum alaşım ürünler



- Mevcut ticari alaşımlardan AM60, AZ91, MRI153M ve MRI230D alaşımları basınçlı döküme uygun olan alaşımlardır. Bu alaşımlardan AM60 ve AZ91 yerli bir döküm firmasında(Rutaş) savunma sanayine yönelik üretilmektedir. Rutaş Pres Döküm’de 300, 400 ve 800 Tonluk soğuk kamara basınçlı döküm ile üretilen **AZ91** dökümlerin kesit kalınlıkları **4 mm** den **2 mm** ye indikçe çekme değerleri **125 MPa** dan **197 MPa** değerlerine yükselmektedir. Bu kesitlerin yüzde uzama değerleri % **6-6.5** arasındadır.
- AM60 ve AZ91 alaşımları döküm **685-650⁰C** aralığında ve kalıp sıcaklıkları **150-200⁰C** aralığında optimize edilerek magnezyum basınçlı dökümler istenilen düşük gözenek miktarları %**1.38-2.54** aralığına indirilerek üretim yapılmaktadır.

AM60 alaşımlarından üretilen parçaların

çekme dayanç değerleri **200** MPa

sertlik değerleri **78-82** HBN

AZ91 alaşımından üretilen basınçlı döküm parçalarda

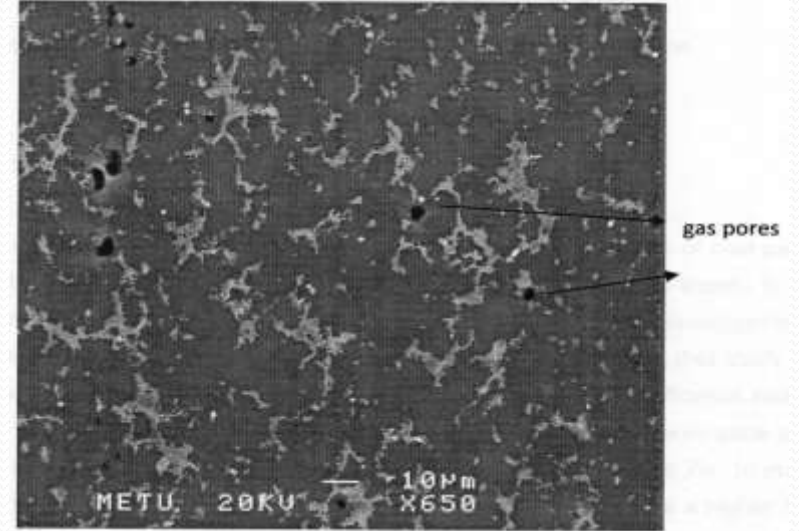
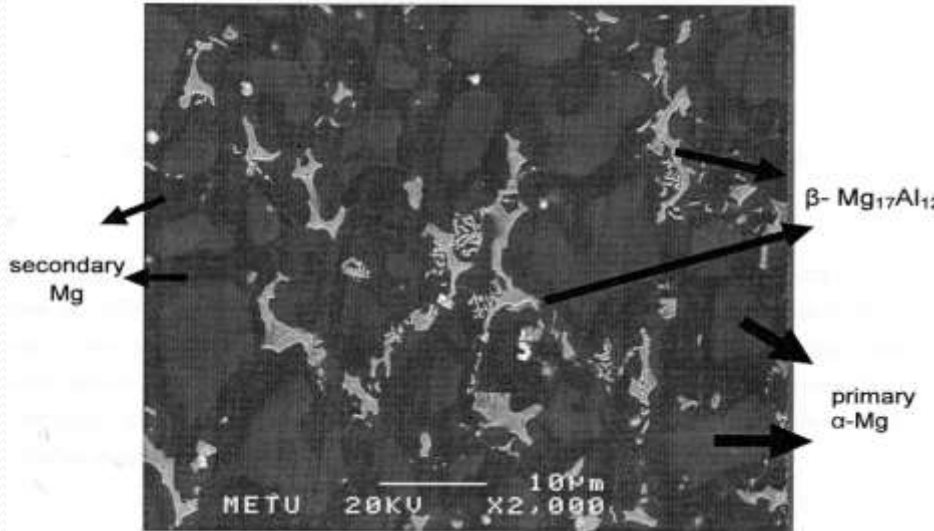
çekme dayanç değerleri **125-190** MPa

sertlik değerleri **80-90** HBN

Basınçlı döküm ile üretilen magnezyum alaşımların iç yapı incelemeleri

AZ91 alaşımlarından dökülen parçaların kesitleri incelendiğinde Şekil de verildiği gibi solda β -fazı adacıkları, primer- α ve seconder Mg oluşumları

Sağ tarafta ise basınçlı döküm parçalarda oluşması beklenen küçük ve homojen dağılmış siyah küresel gaz boşlukları



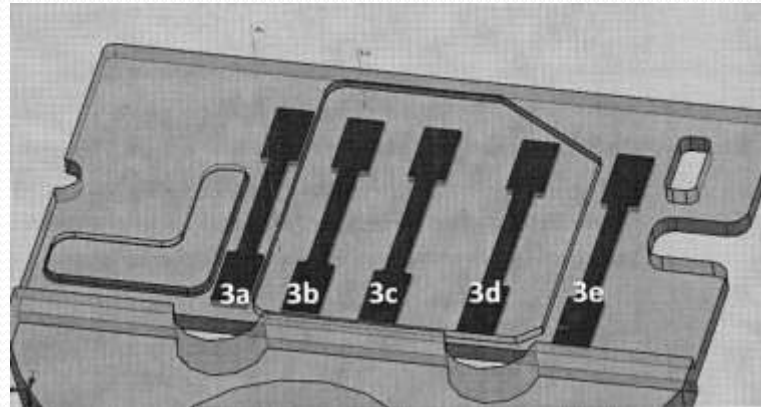
Rutaş Pres Döküm firmasında basınçlı döküm ile üretilen ince kesitli bir AZ91 alaşım dökümde ince kesitten kesilip işlenen çekme numuneleri.

Üretilen ince kesitli magnezyum alaşım dökümlerden test numuneleri elde edilip çekme testleri yapılmaktadır.

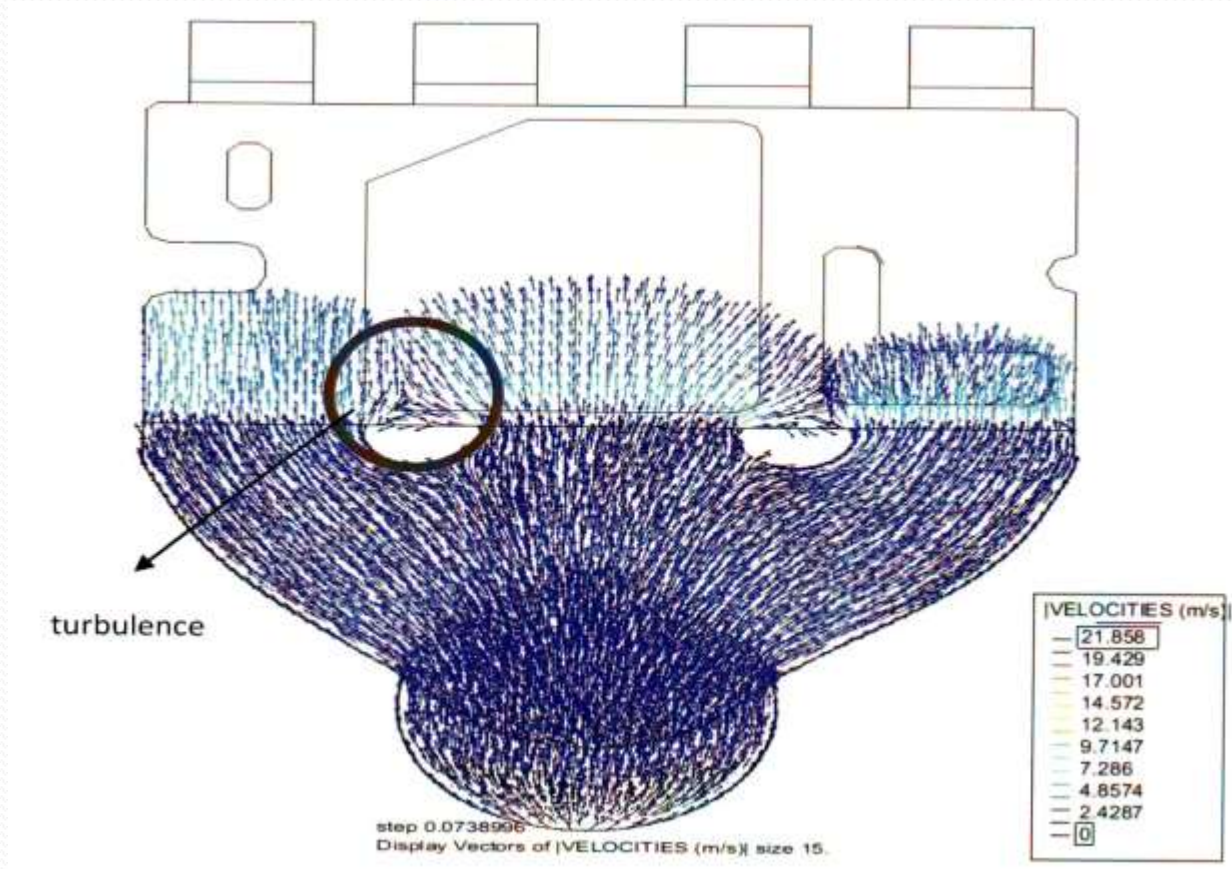
Kesit kalınlığı 4 mm olan numunenin akma (0.02 % Proof Stress) 125 MPa
Çekme dayanımı 174 MPa.
Yüzde uzama 6.5

Kesit kalınlığı 2 mm olan numunenin akma (0.02 % Proof Stress) 156 MPa
Çekme dayanımı 197 MPa
Yüzde uzama 6.02

yüzde uzama kesit incelmesi ile biraz düşmektedir



Test numuneleri kalınlıkları 2 mm den 4mm ye kadar değişmektedir. 3a dan 3e ye kadar değişik değerler elde edilmiştir.



Rutaş Pres Döküm firmasında basınçlı döküm ile üretilen ince kesitli geometride döküm simülasyonu ile hız vektörleri ve turbulans bölgeleri.

Sonuçlar:

- 1) Yüksek Basıncılı Döküm ile AM60, AM50, AZ91, AS21, AS41, AE42, MRI230D, MRI153M alaşımları üretilebilmektedir
- 2) Beta fazı Al içeren Mg alaşımlarda basınçlı dökümde hızlı katılaşma ile incelmekte fakat basınçlı döküm yapılarında bulunmaktadır.
- 3) Geometride 1-2 mm gibi ince kesitler varsa döküm ve kalıp sıcaklıkları artırılmalıdır.
- 4) Doğru kanal tasarımı ile turbulans en aza indirilip gözenek miktarları azaltılabilmektedir
- 5) AM60 ve AZ91 alaşımları döküm 685-650°C aralığında ve kalıp sıcaklıkları 150-200°C aralığında optimize edilerek magnezyum basınçlı dökümler istenilen düşük gözenek miktarları %1.38-2.54 aralığına indirilerek üretim yapılmaktadır.
- 6) AZ91 dökümlerin kesit kalınlıkları 4 mm den 2 mm ye indikçe çekme değerleri 125 MPa dan 197 MPa değerlerine yükselmektedir. Bu kesitlerin yüzde uzama değerleri % 6-6.5 arasındadır.
- 7) Dozajlama fırını SF₆ gaz koruması gerektirmekte içeriye hava girmesini önlemek için positif gaz basıncı oluşturmmalıdır.

Kaynaklar

- 1-Zhong. Y.Lu, A.Sofu, J.Liu. Laves phases in Mg-Al-Ca Alloys, Magnesium Technology, (2004) Sayfa: 317-323
- 2-Ozturk. K, Liu. Z. Phase identification and microanalysis in the Mg-Al-Ca Alloy System, Magnesium Technology, (2003) Sayfa: 195-200
- 3-Kainer. K.U. Magnesium Alloys and Technology, Die-Casting Magnesium. R. Fink, Oskar Frech GmbH, Schorndorf (2003). Sayfa: 234-257
- 4-Friedrich. H. Mordike. B, 'Magnesium Technology'. (2006) Sayfa :234-245
- 5-Zhang. Z. R. Tremblay, D. Dubé Microstructure and mechanical properties of ZA104 (0.3–0.6Ca) die-casting magnesium alloys 2000. Materials Science and Engineering: A Volume 385, Issues 1–2, 15 November 2004, Sayfa: 286–291
- 6-Pekguleryuz. M., O., A. A. Kaya, Creep resistant magnesium alloys for powertrain applications, Advanced Engineering Materials, 5, No 12(2003), Sayfa: 866-878,.
- 7-Li. S. Tang. B. D. Zeng Effects and mechanism of Ca on refinement of AZ91D alloy, Journal of Alloys and Compounds, 437, (2007) Sayfa: 317-321,.
- 8-Friedrich. H. Schumann, S., Research for a new age of magnesium in the automotive industry, Journal of Materials Processing Technology, 117, (2001) Sayfa: 276-281
- 9-Saddock, N. D. Ph.D., The University of Michigan, Michigan, (2008).
- 10-Zhan Zhang and Alain Couture, An investigation of the properties of Mg-Zn-Al alloys(1998),.
- 11-Masoumi. M. M.Sc. Thesis, University of Windsor, Ontario, (2003).
- 12-Shuang-Shou Li, Bin Tang, Da-Ben Zeng, Effects and mechanism of Ca on refinement of ofAZ91D alloy", Journal of Alloys and Compounds 437 (2007) Sayfa:317-321
- 13-Balasubramai N. A. Srinivasan, U.T.S. Pillai, B.C. Pai Effect Of Pb And Sb Additions On The Precipitation Kinetics Of AZ91 Magnesium Alloy, Materials science and engineeringA Structural materials properties, microstructures and processing. (2006.) Sayfa: 275-281
- 14-Wei Y., Houa, L. Yanga, L. Xua, B.,Kozukab, M, Ichinoseb, H, Journal of Materials Processing Technology, 209, (2009) Sayfa 3278–3284
- 15-Aghion, E. Moscovitch, N, Arnon, A, Materials Science and Engineering A, (2007). Sayfa 341-346
- 16-Chadha, G. Allison, J, Jones, W, Magnesium Technology, (2004).Sayfa: 181- 186
- 17-Adebisi, A. A., Maleque, M., A., Rahman, M., M., International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 4, (2011) Sayfa 471-480
- 18-Mihriban O.Pekguleryuz (Magnesium alloy development science with constraints)
- 19-T. Abbott, G.L.Dunlop, M.T. Murray (AM-lite & AM-HP2 - New Magnesium Alloys Offer New OpportunitiesT. A. SwederAdvanced Magnesium Technologies, North America Advanced Magnesium Technologies Pty LtdC. J. Bettles, M. A. GibsonCAST Cooperative Research Centre, CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology<https://www.researchgate.net/publication/228764079>)
- 20-Bronfin and N.Moscovitch (2006), Metal Science and Heat Treatment Vol. 48, Sayfa:. 11 – 12, UDC 669.721.5:621.86.05 New Magnesium Alloys For Transmission Parts B. Translated from Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka Metallov, No. 11, pp. 10 – 18, November 2006)
- 21-Bronfin B, N. Moscovitch, V. Trostenetsky, G. Gerzberg, N, Nagar., R.Yehuda (2008)
(High Performance HPDC Alloys as Replacements for A380 Aluminum Alloy Dead Sea Magnesium Ltd, Beer Sheva, Israel Magnesium Technology Edited by Mihriban O.Pekguleryuz, Neele R.Neelameggham, Tandy S.Beels and Eric A. Nyberg TMS(The Minerals, Metals &Materials Society, 2008)
- 22-G. Gertsberg, N. Nagar, M. Lautzker, B. Bronfin, N. MoscovitchS. Schumann (2005) (Effect of HPDC Parameters on the Performance of Creep Resistant Alloys MRI153M and MRI230D Volkswagen AG) Society of Automotive Engineers, Inc
- 23-Işık Yılmaz Okçu Yüksek lisans tezi Effect of Process Parameters on Mechanical Properties of High Pressure Die Cast Magnesium AZ91 Components October 2011. METU



Dinlediğiniz için

Teşekkürler