

KOMPOZİT METALİK CAMLARA GENEL BİR BAKIŞ

Tanya Aycan Başer

Toksan Otomotiv AR-GE Merkezi
Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi, Bursa
tbaser@toksanotomotiv.com

ÖZET

Metalik cam, çekirdek oluşumunun ve kristal büyümesinin engellenmesi amacıyla sıvı metalin ergime sıcaklığından cam geçiş sıcaklığına ani soğutulması sonucunda elde edilmektedir. Böylelikle kristal yapı oluşumu engellenir ve amorf yapı oluşturulur. Yüksek korozyon dayanımları, yüksek aşınma, yüksek elastiklik değerleri ve yüksek sertlik değerinden dolayı amorf yapıdaki bu malzemeler, son yıllarda tüm dikkatleri üzerine çekmiştir ve dünyada birçok önemli araştırma kuruluşlarında çalışılmaktadır. Çok bileşenli alaşımların keşfedilmesi ile döküm yoluyla amorf yapıda iri hacimli metalik camların (İHMC) üretimine başlanmıştır. Amorf metalik camların bahsedilen önemli avantajları yanında dezavantajı ise, kristal malzemeler ile kıyaslandığında, plastik şekil değişiminin zayıf olmasıdır. Bu dezavantaj İHMC elde edilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada, bugüne kadar metalik camlar üzerine yapılan çalışmalardan bir derleme yapılmış ve özellikle yüksek dayanımlı İHMC'lerin plastiklik özelliğini geliştirmeye yönelik yeni amorf İHMC malzeme tasarımı ve üretimi araştırmaları üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Amorf malzemeler, hızlı katılaştırma, iri hacimli kompozit metalik camlar

An Overview of Composite Metallic Glasses

ABSTRACT

Metallic glasses are obtained by rapid solidification from melting temperature to glass transition temperature in order to avoid nucleation and crystal growth in the metal. Therefore crystal structure can be suppressed and amorphous structure is formed. These amorphous materials with unique properties such as, high corrosion and wear resistance, high elastic values and high hardness, have been investigated in many research centers all over the world. Production of amorphous bulk metallic glasses (BMGs) has been started after multicomponent alloys were invented. Poor plastic properties of these materials are a main disadvantage respect to the crystalline materials. Lack of plasticity put obstacles in order to produce amorphous BMGs.

In this review, studies of different research groups on BMGs are summarised. This review also focuses on production and design processes of BMGs in order to improve plasticity of these amorphous materials.

Keywords: Amorphous materials, rapid solidification, composite bulk metallic glasses

Geliş tarihi : 21.01.2013

Kabul tarihi : 02.04.2013

Başer, T.A. 2013. "Kompozit Metalik Camlara Genel Bir Bakış" Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 640, s. 36-44.

1. GİRİŞ

Son yüzyıllarda insanlığın inşa ettiği dünyada malzeme cephesinde iki büyük devrim gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi çelik malzemelerdir. İkinci dünya savaşının sonlarında plastik ve cam malzeme özelliklerinin geliştirilmesi ve kullanım alanlarındaki artış ikinci büyük devrim olarak değerlendirilmektedir. Tüm bunlara ek olarak malzemedeki üçüncü devrim ise şimdiye kadar bilinen malzeme özelliklerinden daha üstün özelliklere sahip olan "metalik camlar" ile gerçekleşmiştir. Çeliğin dayanımıyla ve plastiklerin esneklik özellikleriyle günümüzde ileri teknoloji birçok ürün geliştirilmiştir. Üçüncü nesil olan metalik cam malzemeler ise her iki özelliği daha iyi sonuçlarla bizlere sunmaktadırlar. Metalik camlar geleneksel malzemelere göre 2-3 kat yüksek dayanıma sahiptirler. Diğer malzemeler için %0.2 olarak belirlenen elastik gerinim sınırı metalik camlarda %2 civarındadır.

Metalik cam, kristalin fazların çekirdeklenme ve büyümesinin engellenmesi amacıyla sıvı metalin yüksek hızlarda (10^6 - 10^8 K/s) soğutulması sonucunda elde edilmektedir [1]. Hızlı soğutma sonucunda uzun ölçekte atomik düzenden yoksun amorf yapı oluşur. Metalik camdaki amorf yapının sorumlu olduğu üstün mekanik, manyetik ve korozyon davranışları, araştırmacıların bu malzemeyi yoğun olarak çalışmalarına sebep olmuştur.

Şerit halinde üretilen metalik camlar üstün iletkenlik değerlerine ve magnetik özelliklere sahip oldukları için çok yaygın kullanım alanına sahiptirler. Bu alaşımların yüksek doyum indüksiyonu ve düşük histerisis kayıpları vardır [2]. 100-200 µm kalınlığındaki şerit metalik cam alaşımlar manyetik uygulamalarında, özellikle alternatif akım güç trafolarında ferrit (saf demir) yerine çekirdek olarak; alçak frekans trafolarında, motorlarda, elektrik ve elektronik alet ve şebekelerindeki aç-kapa düğmelerinde, manyetik yükselteçlerde ve doğrultucularda, doğrusal ivmelendiricilerde ve alarm sistemlerinde kullanılmaktadır [3].

İHMC çoğunlukla elektronik cihazların kasalarında kullanılmaktadır. Ezilmeye karşı direnç (Ti, Al alaşımlarından daha dayanıklı), sağlamlık, çizilmeye karşı direnç ve hafiflik gibi özellikleri nedeniyle USB hafıza sürücülerinde, MP3 oynatıcılarda, cep telefonlarında ve barkot tarayıcılarda kullanılmaktadır. Bu yeni malzemenin savunma sanayindeki uygulamaları da gelecek vaat etmektedir. Amerikan Ordu Araştırma Bölümü'nün desteklediği çalışma ile biyolojik olarak zehirli olduğundan kuşku duyulan uranyum nüfuz edicinin yerini alacak metalik cam zırha nüfuz ediciler geliştirilmeye çalışılmaktadır [4]. Ticari olarak ilgi çeken diğer bir alan ise İHMC malzemelerin yüksek derecede biyo uyumlu, alerjik olmayan şeklinin protezler ve cerrahi cihazlar gibi tıbbi bileşenlerde kullanımınıdır [5]. 2001 yılında uzaya fırlatılan NASA'nın

Genesis uzay aracının güneş parçacığı toplayıcılarından biri yeni bir İHMC'dan üretilmiştir. İHMC'nin ilgi çektiği en son endüstrilerden biri de kuyumculuktur. Bu malzeme hem yeterince sert ve çizilmeye karşı dirençlidir hem de uzun süre parlaklığını korur. Ayrıca İHMC'nin nihai şekline doğrulukla dökümünün mümkün olması tasarımcıların geleneksel metallerle elde edemedikleri benzersiz şekilleri elde etmelerini sağlamaktadır [5]. Metalik camların bahsedilen önemli avantajlarının yanında dezavantajları ise; büyük hacimlerde elde edilmelerindeki zorluklardır. Diğer malzemelerle kıyaslandıklarında, plastik şekil değişimleri zayıftır. Metalik camların gelecek vadeden özellikleri, malzeme bilimcilerin düşük soğutma hızlarında cam oluşturacak ve böylece iri hacimde üretimelerini mümkün kılacak yeni alaşımları araştırmasına yol açmıştır.

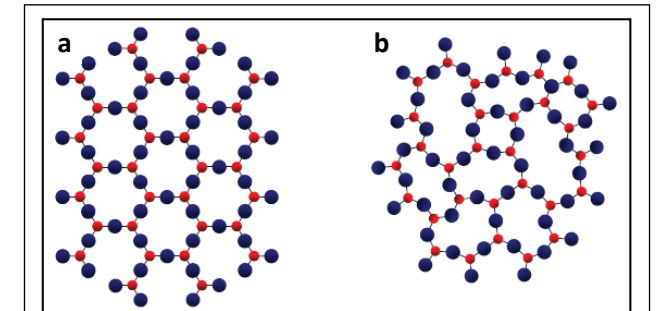
Bu yazıda, metalik camların önemini anlamak amacıyla öncelikle metalik cam alaşımlarla ilgili bilgi verilecek, ardından amorf yapı elde ediminde karşılaşılan güçlükler ve çözüm metotları açıklanacaktır. Metalik camların plastiklik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik iri hacimli kompozit metalik cam (İHKMC) üretimi üzerine çalışmalar özetlenecektir.

2. GENEL BİLGİLER

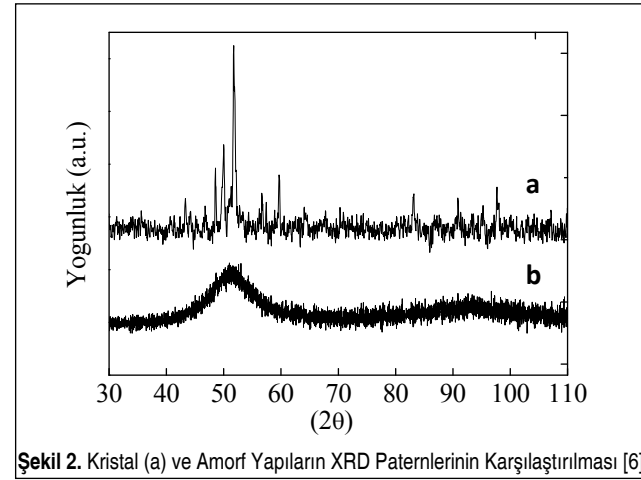
2.1 Metalik Camın Tanımı

Katı maddeler 2 grupta sınıflandırılırlar. Bunlardan birincisi Şekil 1'de gösterilen kısa ve uzun mesafeli, tekrarlanan ve düzenli yapı olan kristal yapı (a), ikincisi ise kısa mesafeli atomik düzene sahip ve tekrarlanamayan amorf yapıdır (b). Amorf yapıya sahip malzemelerin kristal yapıya sahip malzemelere göre dayanım, sertlik, tokluk ve elastiklik değerleri ile korozyon ve aşınma dirençleri daha yüksektir [4].

Amorf yapıların X-ışını difraksiyonunda (XRD) belirgin keskin pikler gözlenemez. Bu yapılarda küçük açı saçılmalarında, komşu atomlar arası saçılmaların geniş pik izleri görülmektedir. Kristal yapı katılarda ise Bragg pikleri gözlenmektedir. X ışını paternindeki her bir pik periyodikliği nedeniyle kristalin uzun mesafeli düzenli yapısı olduğuna işaret etmektedir. Şekil 2'de kristalin (a) ve amorf (b) malzemelerin XRD pa-



Şekil 1. (a) Kristal ve (b) Amorf Yapılar [4]



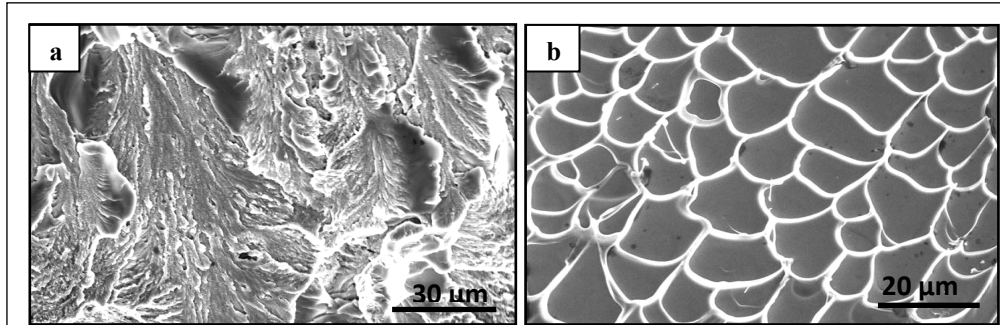
Şekil 2. Kristal (a) ve Amorf Yapıların XRD Paternlerinin Karşılaştırılması [6]

ternleri karşılaştırılmıştır. Metalik camlarda XRD analizinin amacı, alaşımlardaki amorf fazın varlığını ve derecesini belirlemektir. Amorf alaşım elde edilip edilmediği XRD deseninin şekline anlaşılmaktadır. Kristalin alaşımlarda görülen XRD desenindeki bağımsız ve belirgin pikler yerine tek geniş bir pik amorf fazın varlığına işaret etmektedir (Şekil 2).

Kristalin ve amorf malzemelerin mekanik testler sonucu kırılma yüzeyleri de farklılıklar göstermektedir. Çekme testi sonrası kristalin alaşımın kırılma yüzeyi (a) ile basma testi sonrası amorf metalik cam alaşımın damar patern olarak adlandırılan kırılma yüzeyi (b) taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir ve Şekil 3'te gösterilmektedir.

2.2 Metalik Camın Tarihçesi

İlk metalik cam Duwez ve arkadaşlarının hızlı soğutma yöntemlerini geliştirmeleri sonucunda rapor edilmiştir [7]. Metal üretim süreçlerinin ilk zamanlarından itibaren istenilen özelliklere ulaşmak için metallere hızlı soğutma uygulanmıştır. Ancak ulaşılan soğutma hızlarının sınırlı olması ince ergimiş bir tabakanın üretilmesini ve bunun aniden soğuk, yüksek derecede iletken bir yüzeye temas ettirilmesini zorunlu kılmıştır [8]. Duwez ve arkadaşları, ilk metalik camı bu prensibi içeren bir yöntemle elde etmişlerdir. Sıvı damla inert atmosfer altında reaktif olmayan krozede ergitilmektedir. Eriyik, aniden



Şekil 3. a) Kristalin ve b) Amorf Metalik Cam Alaşımlarının Kırılma Yüzeyi SEM Görüntüleri [6]

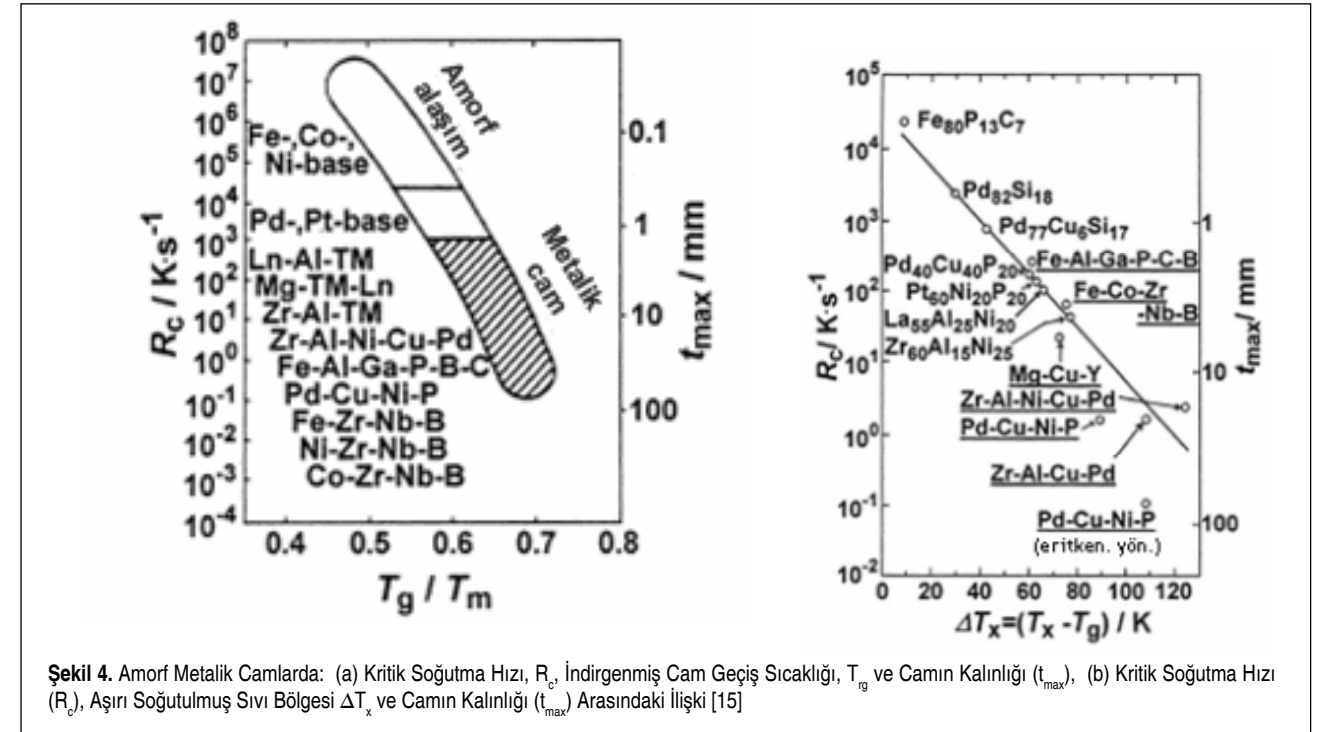
hem damlayı parçalara bölen hem de bu damlaları soğuk bakır yüzeye doğru hızlandıran ultra ses şoku dalgasına maruz bırakılmaktadır. Mikron boyutundaki damlalar althğa çarpıp yayılırlar ve bakır şeride ısının iletilmesi ile katlaşmaktadır. Bu yöntem tabanca soğutma olarak isimlendirilmektedir [7]. Bu yöntem ile düzensiz şekle sahip numuneler üretilmektedir fakat 10^6 - 10^8 K/s soğutma hızlarına ulaşmak açısından başarılıdır. Yüksek soğutma hızları ve boyutsal kısıtlamalar nedeniyle 1990'lara kadar metalik camlar sadece şerit ve levha halinde üretilmişlerdir. Çok bileşenli alaşımların keşfedilmesi, bu alanda bir dönüm noktası olmuş ve metalik camların iri hacimde, geleneksel ergitme ve döküm yöntemleriyle elde edilmelerini mümkün kılmıştır [5]. Literatürde milimetrik boyutlarda üretilen metalik cam parça iri hacimli olarak nitelendirilmiştir. İlk İHMC Chen tarafından 1974'te elde edilen Pd-Cu-Si alaşımıdır [9].

Metalik camların gelecek vadede özellikleri, malzeme bilimcilerin düşük soğutma hızlarında cam oluşturacak ve böylece iri hacimde üretilmelerini mümkün kılacak yeni alaşımları araştırmasına yol açmıştır. 1980'lerin sonlarına doğru, Tohoku Üniversitesi'nden Inoue ve arkadaşları nadir toprak elementleri ile alüminyum ve demirli metalleri araştırmışlardır. Daha düşük hızlarda soğutma yapılmasına çalışılırken, Ln-Al-Ni ve Ln-Al-Cu alaşımlarında olağanüstü cam oluşturma kabiliyeti saptanmıştır [10-12]. Alaşım eriyiğini, su soğutmalı Cu kalıplara dökerek birkaç milimetre kalınlığında tamamen camsı çubuklar elde etmişlerdir. 1991'de aynı grup, camsı Mg-Cu-Y ve Mg-Ni-Y alaşımlarını geliştirmişlerdir. Aynı zamanlarda, yüksek cam oluşturma kabiliyetine ve ısıl kararlılığa sahip Zr-esaslı Zr-Al-Ni-Cu alaşımlarını geliştirmişlerdir [10-14].

1993'te, Caltech'ten Peker ve Johnson birkaç santimetre kritik döküm kalınlığına sahip Vitreloy 1 beşli alaşımını ($Zr_{41.2}Ti_{13.8}Cu_{12.5}Ni_{10}Be_{22.5}$) geliştirmişlerdir [5]. 1997'de Inoue'nin grubu, Pd₄₀Ni₄₀P₂₀ alaşımını tekrar ele almış ve kritik döküm kalınlığı 72 mm olan Pd-Cu-Ni-P alaşımını geliştirmişlerdir. Pd-Cu-Ni-P ailesi şimdiye kadar bilinen en yüksek cam oluşturma kabiliyetine sahip metalik sistemdir [5]. Son zamanlarda araştırmalar, metalik camların yaygın olan plastiklik özelliğini geliştirmek için metalik cam kompozit üretimi üzerinde yoğunlaşmıştır.

2.3 Camlaşma Kabiliyeti

İlk zamanlarda, İHMC geliştirilmesine yönelik çalışmalar daha çok deneme-yanılma yöntemiyle ilerlerken araştırmacılar zamanla elementel bileşimin doğru seçimiyle daha

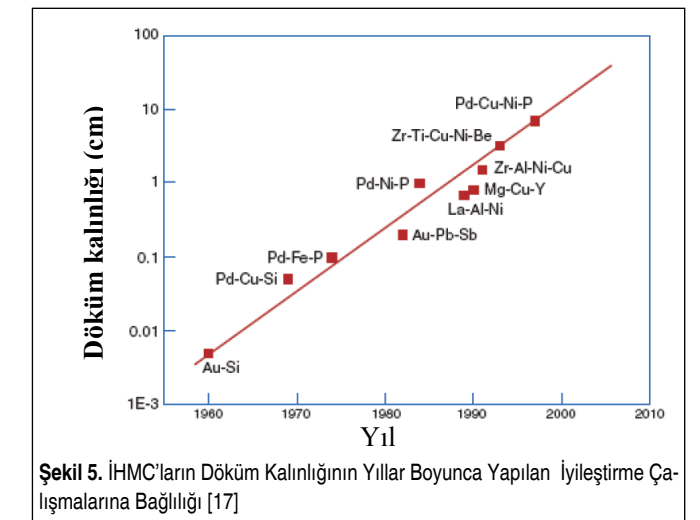


Şekil 4. Amorf Metalik Camlarda: (a) Kritik Soğutma Hızı, R_c , İndirgenmiş Cam Geçiş Sıcaklığı, T_g ve Camın Kalınlığı (t_{max}), (b) Kritik Soğutma Hızı (R_c), Aşırı Soğutulmuş Sıvı Bölgesi ΔT_x ve Camın Kalınlığı (t_{max}) Arasındaki İlişki [15]

düşük soğutma hızlarında amorf alaşım elde edilebileceklerinin farkına varmışlardır. Yüksek cam oluşturma kabiliyetine sahip alaşım sistemlerini tahmin edebilmek için camlaşma kabiliyetini anlamak kritik bir önem taşımaktadır.

Hızlı soğutma ile amorf yapı oluşturmak için, T_m ve T_g arasında kristalin fazın çekirdeklenme ve büyüme reaksiyonlarını baskılamak gerekir. Geleneksel metalik camların kritik soğutma hızı (R_c) oksit camlara göre çok yüksektir. Fe-, Co-, Ni-esaslı amorf alaşımlar için kritik soğutma hızının 10^4 K/s, Pd- ve Pt-bazlı amorf alaşımlar için 10^2 K/s'nin üzerinde olduğu rapor edilmiştir [10]. Alaşımların cam oluşturma kabiliyetini belirlemek için dönüşüm sıcaklıkları olan, ergime sıcaklığı (T_m), cam geçiş sıcaklığı (T_g) ve kristalizasyon sıcaklığı (T_c) kullanılarak çeşitli kriterler geliştirilmeye çalışılmıştır. Turnbull, cam geçiş sıcaklığının cam oluşturma kabiliyetini tahmin etmedeki önemine dikkat çekmiştir [15]. İndirgenmiş cam geçiş sıcaklığı 0.55'ten 0.66'ya yükselince cam oluşumu için gerekli soğutma hızı düşmekte ve böylece daha düşük soğutma hızlarında, daha kalın camlar sentezlenebilmektedir. Diğer parametre ΔT_x (soğutma hızı) Inoue tarafından sunulmuştur [11]. Bu parametre aşırı soğutulmuş sıvı bölgesini gösterir ve ne kadar geniş olursa cam oluşturma kabiliyeti o kadar yüksek olur. Cam oluşturma kabiliyeti alaşımın cam geçiş sıcaklığının ergime sıcaklığına oranına ($T_g = T_g/T_m$), ΔT_x ve kalınlık değerleri ile ilişkilidir (Şekil 4). Cam geçiş sıcaklığının yüksek olması daha büyük çaplarda amorf yapı elde edimini ve alaşımın daha yüksek sıcaklarda kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Turnbull çalışmalarıyla metalik cam ile ilgili bilgi birikimine önemli katkı sağlamıştır. Metalik camlar ile metalik olmayan camlar (silikatlar, seramik camlar ve polimerler) arasındaki benzerlikleri ortaya koymuştur. Geleneksel cam oluşturan eriyiklerde görülen cam geçişin, hızlı soğutulmuş metalik camlarda da gözlemlendiğini tespit etmiştir. Turnbull, T_g 'nin alaşımların cam oluşturma kabiliyetini belirlemek için bir kriter olarak kullanılabileceğini öne sürmüştür. Bu oran indirgenmiş cam geçiş sıcaklığı olarak bilinir. Turnbull'un kriterine göre, $T_g/T_m = 2/3$ olan bir sıvı zor kristallenir ve sadece çok dar bir sıcaklık aralığında kristalize olabilir. Bu tür bir sıvı, camsı duruma düşük soğutma hızı ile kolayca soğutulabilir. Bu kriter, İHMC'ların geliştirilmesinde anahtar rol oynamıştır



Şekil 5. İHMC'ların Döküm Kalınlığının Yıllar Boyunca Yapılan İyileştirme Çalışmalarına Bağlılığı [17]

[16]. Şekil 4'te görüldüğü gibi düşük soğutma hızlarıyla bile İHMC elde edilebilmesi, metalik camların büyük hacimlerde elde edilebilmelerine olanak tanır.

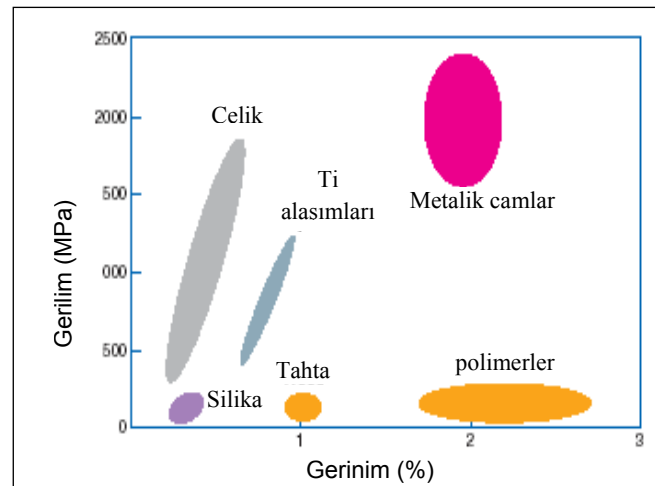
Şekil 5'te İHMC'ların döküm kalınlığının yıllar boyunca yapılan çalışmalara bağlı olarak iyileştirilmesi gösterilmiştir. 1960 yıllarda İHMC sadece 0.01 cm kalınlığında üretilebilirken 2000'li yıllarda döküm kalınlıkları 10 cm civarındadır [17].

İri hacimli cam oluşturan alaşım ailelerini ve bileşim aralıklarını belirleyen tahmini bir modelin olmaması bilimsel bir çıkmazdır. Hâlâ alaşımların geliştirilmesi çoğunlukla deneyim ve gözleme dayalıdır. Ancak Inoue tarafından sunulan basit empirik kurallar çoğunluk tarafından kabul görmüştür ve camlaşma kabiliyetinde kritik rol oynamaktadır [10]. Bunlar: (1) alaşım sistemi üçten fazla element içermelidir (karışım prensibi), (2) ana bileşen elementler arasında yüksek atomik boyut farkı %12'nin üstünde olmalıdır ve (3) elementler bir-biriyle negatif karışma entalpisi göstermelidir [10].

Atomik boyut farkına sahip elementler, daha zor kristallenen karmaşık bir yapıya sebep olurlar. Zirkonyum atomundan çok küçük olan berilyumun, Zr-bazlı alaşıma eklenmesi alaşımın cam oluşturma kabiliyetini belirgin bir şekilde artırır [15]. Bunların dışında düşük sıcaklıklarda kararlı sıvı oluşturan derin ötektige sahip alaşımların yüksek cam oluşturma kabiliyetine sahip olduğu bilinmektedir [5]. Fe, Co, Ni ve Cu bazlı alaşımların camlaşma kabiliyetleri oldukça yüksektir.

2.4 Metalik Camların Mekanik Özellikleri

Metalik cam yüksek kuvvet altında önce yüksek mekanik dayanım gösterir daha sonra ise esneyerek kırılıp kırılmaz, kuvvet etkisi kalktığı anda ise hiçbir deformasyona uğramadan eski halini alır. Polimer malzemeler de bu özelliklere sahiptirler, an-

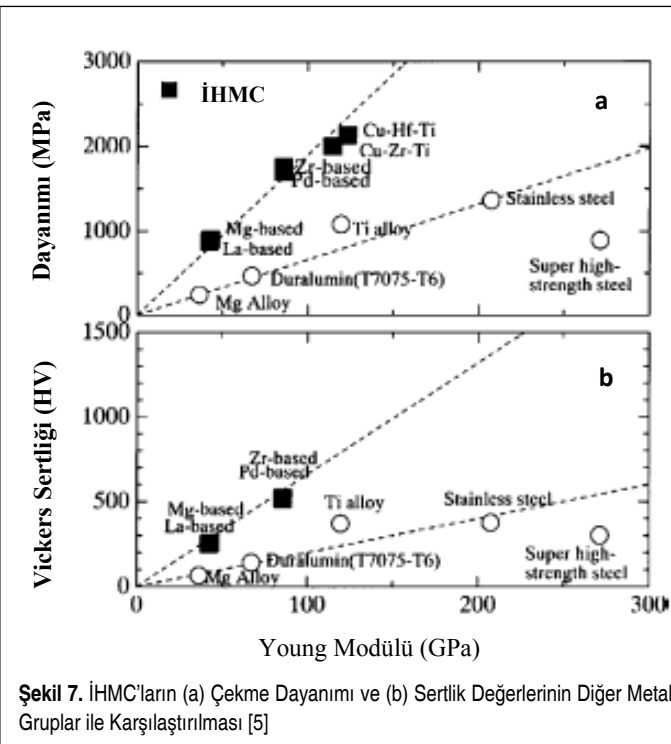


Şekil 6. Metalik Camların Mekanik Özelliklerinin Metal ve Metal Dışı Malzemelerle Karşılaştırılması

cak metalik camlar atomik ölçekte metalden farklı davranırlar ve iletkenlik özellikleri son derece iyidir. Kristalin metal malzemeler için elastik gerinin sınırı %0.2 olarak belirlenmiş olup, metalik camlarda bu değer %2 civarındadır (Şekil 6).

Şekil 7'de ise İHMC'ların dayanım ve sertlik değerleri diğer metal gruplarıyla karşılaştırılmıştır. İHMC'ların dayanım değeri çelik, alüminyum ve titanyum alaşımların mukavemet değerlerinin 3 katı civarındadır (a). Bazı İHMC alaşım gruplarının sertlik değerlerinin de diğer metal alaşım gruplarından yüksek olduğu görülmektedir (b).

Metalik camların avantajları; yüksek akma dayanımı, yüksek



Şekil 7. İHMC'ların (a) Çekme Dayanımı ve (b) Sertlik Değerlerinin Diğer Metal Grupları ile Karşılaştırılması [5]

sertlik, yüksek dayanım/ağırlık oranı (spesifik dayanım), yüksek elastik limit, yüksek korozyon dayanımı, yüksek aşınma dayanımı, özgün akustik özellikler, biyo-uyumlu olmalarıdır. Dezavantajları ise; büyük hacimlerde elde edilmeleri zordur, camsı geçiş sıcaklığının üzerinde kullanılamazlar. Kristalin malzemelerle kıyaslandığında, plastik şekil değişimi zayıftır.

2.5 Metalik Camların Üretimi

Metalik camlar, eriyik döndürme tekniği ile şerit olarak vakumlu veya düzlem akışlı döküm teknikleri ile katı metal formunda iri hacimli olarak üretilmektedirler.

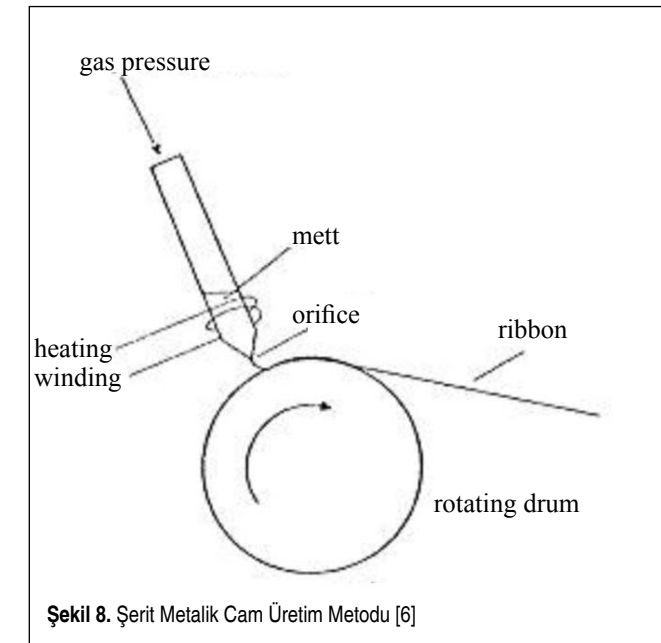
Metalik cam üretiminde esas olan hızlı katılaştırma yöntemidir. Yaygın olmamakla birlikte mekanik alaşımlama [18], öğütme [19], lazer ve elektron ile bombardıman metodu [20] gibi teknikler kullanılarak da metalik cam elde edilebilmektedir. Bu tür üretimler atomik yapıyı ve atomların örgüde-

ki sayısını ve sıralanışını bozduğu için amorf metalik cam üretim teknikleri olarak literatürde yerini almıştır. Ancak bu üretimler hem ekonomik değildir hem de seri üretim kısıtlıdır. Bu sebeple hızlı katılaştırma tekniği ile üretim esas alınmıştır.

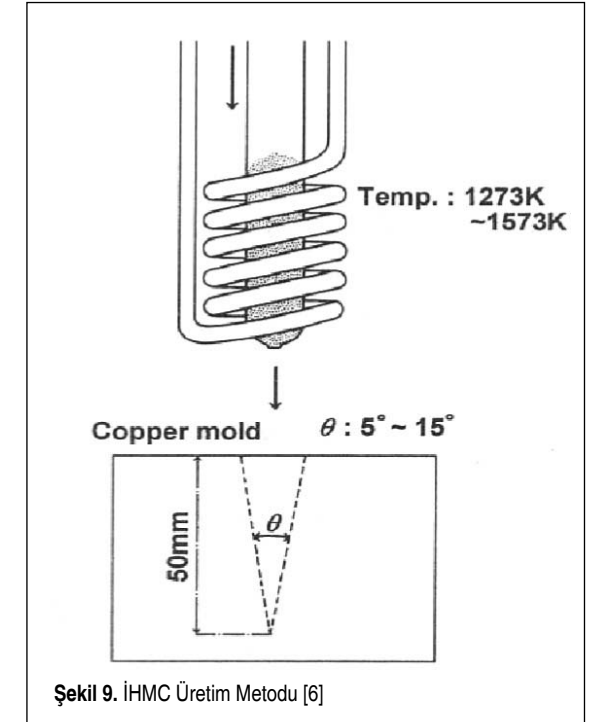
Şerit ya da iri hacimli metalik cam dökümünden önce, dökümde kullanılacak ana alaşım hazırlanmalıdır. Ana alaşım %99 ile %99.9 saflıkta elementleri içermektedir. Elementlerin eritilmesi genellikle 2 çeşit fırında yapılmaktadır. Bunlardan birincisi vakum ark fırınıdır. Ergitme, tungsten uçların oluşturduğu arkın sıcaklığı ile soğutmalı bakır haznenin içindeki tabletlerin ısıtılması sonucunda gerçekleştirilmektedir. Bakır haznelerin içinde su sirkülasyonu mevcuttur ve hızlı soğuma gerçekleşmektedir. Diğer yöntemde ise fırında alaşım aynı şekilde bakır hazne hızlı soğuma ile hazırlanmaktadır. Ancak burada bakır hazne indüksiyon bobini içine yerleştirilmiş olup, tüm sistem kapalı kuartz bir tüpün içinde yer almaktadır [6].

Hazırlanan ana alaşımdan şerit elde edilmek isteniyorsa soğuk dönen disk metotları uygulanmaktadır. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılanı sıvı metal savurma metodudur ve Şekil 8'de gösterilmektedir. Bu metotta sıvı metal içinde eritildiği kuartz krozede bulunmaktadır. Eritilen alaşım yüksek basınç ile krozenin altındaki delikten belirli açılarla ve uygun hızlarla soğuk disk üzerine püskürtülmektedir [6].

İHMC üretiminde ise bakır kalıp döküm metodu kullanılmaktadır. Burada ana alaşım yine kuartz kroze içerisine yerleştirilmektedir (Şekil 9). Eritilen alaşım yüksek basınç ile krozenin altındaki delikten belirli açılarla ve uygun hızlarla soğuk bakır kalıp içine fırlatılır [6].



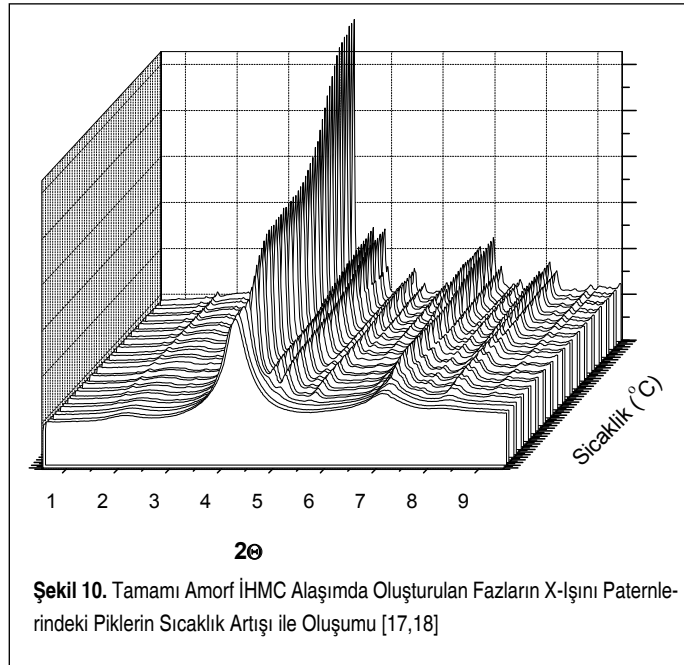
Şekil 8. Şerit Metalik Cam Üretim Metodu [6]



Şekil 9. İHMC Üretim Metodu [6]

2.6 İri Hacimli Kompozit Metalik Camların (İHKMC) Üretimi

Günümüzde araştırmalar, metalik camları daha büyük boyutlarda üretmeye ve yapılarını anlamaya odaklanmıştır. Literatürde karşılaşılan ve altı çizilen en büyük problem bu malzemelerin büyük hacimde elde edilememeleridir. Malzeme miktarındaki artış ile ani soğuma hızları düşmekte ve bunun sonucu olarak tamamı amorf yapı elde edilmesi zorlaşmaktadır. İHMC'ların plastiklik özelliğini artırmak için son yıllarda yapılan çalışmaların çoğu metalik cam kompozitler üzerinde yoğunlaşmıştır. Amorf matrise güçlendirici sünek kristalin fazın ilave edilmesiyle çeşitli İHMC elde edilmiştir [5]. Amorf yapı içinde bu nano kristal fazları oluşturabilmek için çeşitli yöntemlerden denenmektedir [6, 21]. Döküm sırasında döküm parametreleri (döküm hızı, soğuma hızı vb.) üzerinde değişiklikler yapılarak kristal faz oluşumu sağlanabilmektedir. Ancak bu yöntem tamamıyla deneme-yanılmadan oluşmaktadır. Hem çok vakit almakta hem de maliyeti yüksek olmaktadır. Diğer bir yöntem ise dökümde elde edilen tamamen amorf yapıdaki alaşıma kontrollü ısı işlem uygulamaktır [22-24]. Kontrollü ısı işlem sırasında amorf yapı içerisinde nano boyutlu kristaller elde edilmektedir. Kristal boyutu 20 nm'nin altına indiğinde, atomların çoğu kristal veya ara yüzey sınırlarında bulunmaktadır. Bu durumda büyük kristalli alaşımlarda görülen kristal kusurları oluşmamaktadır. Nano kristalin alaşımlar, mikro boyutlu kristal alaşımlara oranla akma ve süper esneklik özelliklerini daha düşük sıcaklıklarda göstermektedirler. Denetimli ısı işlem yönteminde tamamı

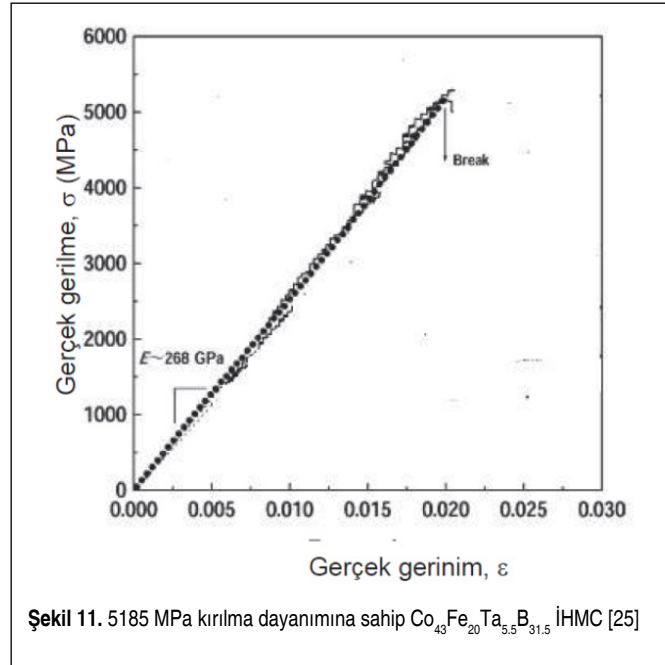


amorf alaşım termokupl ile sıcaklığı kontrol edilen bir üniteye yerleştirilip alaşım kristalizasyon değişim sıcaklığı civarlarına kadar ısıtılmaktadır. Bu sıcaklık artışı sırasında alaşımın XRD paternleri belirli aralıklarla alınmaktadır (Şekil 10). Kristalizasyonun başladığı sıcaklık değerlerinde amorf paternin ilk değişim gösterdiği XRD paternlere karşılık gelen sıcaklıklarda alaşım soğutulmaya başlanmaktadır. Denetimli ısıtma işlemiyle amorf yapı içerisinde nano boyutlu kristal fazlar oluşturulabilmektedir [22]. Oluşturulan iri hacimli kompozit metalik camların (İHKMC) plastiklik özellikleri büyük ölçüde iyileşmektedir.

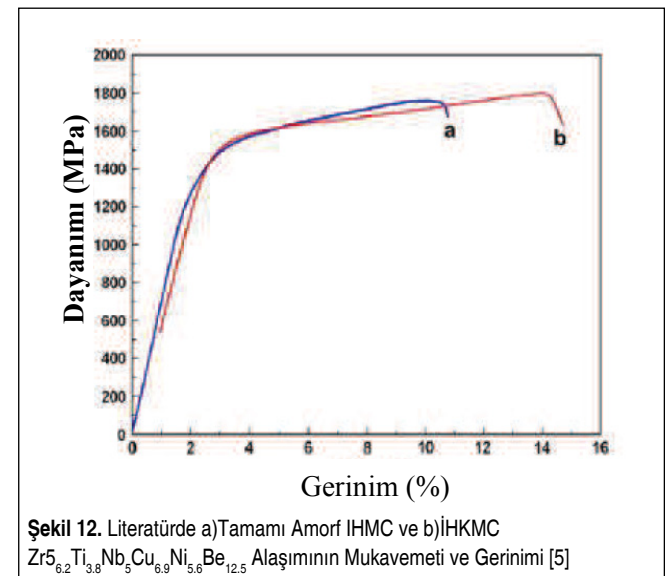
2.7 İri Hacimli Kompozit Metalik Camların (İHKMC) Mekanik Özellikleri

İHMC'ların kristalin alaşımlar ile karşılaştırılması sonucunda metalik camların dayanım değerlerinin geleneksel kristalin metallerden birkaç kat fazla olduğu tespit edilmiştir. 2004 yılında Inoue ve arkadaşlarının sentezlediği $\text{Co}_{43}\text{Fe}_{20}\text{Ta}_{5.5}\text{B}_{31.5}$ metalik cam alaşımı 5185 MPa kırılma dayanımı ile en yüksek mukavemete sahip alaşımdır [25]. Ancak Şekil 11'de görüldüğü gibi alaşımın plastik şekil değişimi çok zayıftır. $\text{Co}_{43}\text{Fe}_{20}\text{Ta}_{5.5}\text{B}_{31.5}$ İHMC, bakır kalıba döküm yöntemi ile 2 mm döküm çapında tamamen amorf olarak elde edilmiştir.

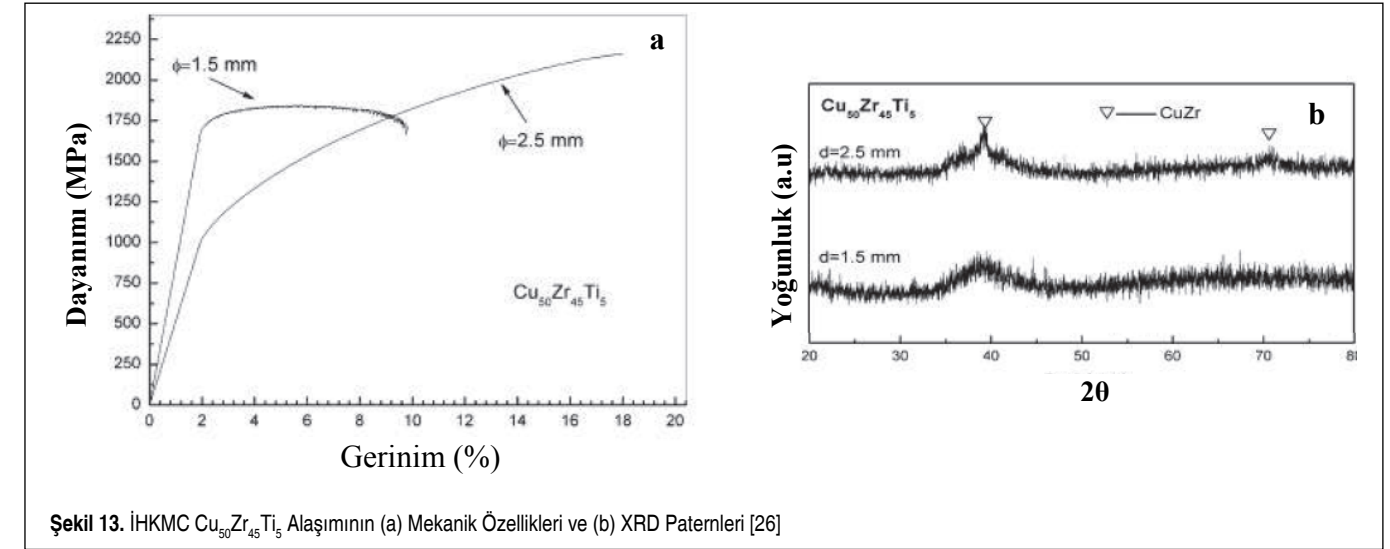
İHMC'ların plastik özelliğini iyileştirmede Zr ve Cu esaslı iki metalik cam sistemlerinde birçok çalışmalar yapılmıştır. Şekil 12'de literatürde tamamen amorf İHMC ve İHKMC $\text{Zr}_{56.2}\text{Ti}_{3.8}\text{Nb}_{5.5}\text{Cu}_{6.9}\text{Ni}_{5.6}\text{Be}_{12.5}$ alaşımlarının dayanım ve gerinimi sırasıyla a ve b olarak gösterilmektedir. Kompozit alaşımın plastiklik özelliğindeki iyileşme rapor edilmiştir [5]. Tamamı amorf yapı %10 gerinime sahipken, kompozit alaşımın geri-



nimi %15'lere ulaşmıştır. Her iki alaşımın dayanım değerleri değişim göstermemektedir. Ancak plastik özellik kompozit alaşımda %50 artış göstermektedir.



Plastiklik özelliği iyileştirilen diğer bir alaşım ise İHKMC $\text{Cu}_{50}\text{Zr}_{45}\text{Ti}_5$ alaşımıdır [26]. Şekil 13'te tamamı amorf ve nano kristallerden oluşturulmuş kısmen amorf alaşımların plastiklik değerleri (a) karşılaştırılmıştır. XRD paternleri (b) alaşımların amorfizasyonunu göstermektedir. Döküm kalınlığının artmasıyla değişen soğuma hızına bağlı olarak tamamı amorf olmayan kompozit alaşım elde edilmiştir. Elde edilen bu alaşımın plastiklik özelliği, tamamen amorf yapıya göre %80 iyileştirilmiştir.



Şekil 13. İHKMC $\text{Cu}_{50}\text{Zr}_{45}\text{Ti}_5$ Alaşımının (a) Mekanik Özellikleri ve (b) XRD Paternleri [26]

3. SONUÇ

Geleceğin malzemesi olarak tanımlanan metalik cam alaşımları geliştirmek ve dezavantajlarını gidermek için çok kapsamlı farklı araştırmalar yapılmaktadır. Tüm bu araştırmalar arasındaki en önemli çalışmalar, yüksek dayanımlı İHMC'ların plastiklik özelliği geliştirilerek, yeni İHMC malzeme tasarımı ve üretimine dayanmaktadır. Bahsedilen tasarımın temeli; tamamen amorf malzeme içerisinde nano boyutlu fazların oluşumunu sağlayarak amorf yapı özelliklerinde kompozit alaşımlar geliştirmektir. Geliştirilecek İHKMC hem polimer malzemelerin elastik özelliklerine sahip olacak hem de çelikten daha yüksek dayanımlı olacaklardır. Bahsedilen her iki özelliği de içinde barındıran İHKMC malzemelerin cep telefonu, bilgisayar vb. gibi elektronik cihazların koruma amaçlı kılıf ve kasalarında yer alabilmektedir. Bu kılıf ve kasalar alternatif malzemelerle karşılaştırıldığında (Ti, Al) hem daha dayanıklı hem de daha hafiftirler. Tüm bunlara ek olarak kompozit metalik camların geliştirilmesi otomotiv sektörü için de oldukça önemlidir. İHKMC'ların uygun katkı elementleri yardımıyla plastiklik özelliklerinin geliştirilmesi, taşıtlarda darbe anında kaportanın kırılması yerine, bükülmesini sağlayabilir. Araçların önden çarpması durumunda çarpışma enerjisini emerek deformasyonun sürücü ve yolcu bölgesine ilerlemesini azaltan tampon arkasında bulunan darbe emici ya da çarpma kutusu olarak adlandırılan enerji sönmülcülerinin üretimi için alternatif malzeme araştırmaları pasif güvenlik önlemleri için önemli rol oynamaktadır. Her ne kadar günümüzde metalik camlarda geline son nokta bu malzemelerin araçlarda kullanımını mümkün kılmasa da, bu malzemelerin özelliklerinin hızla geliştiriliyor olması yakın gelecekte otomotiv sektöründe de önemli alternatif malzemeler arasında yer alacağını göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Liebermann, H., Graham, C. 1976. "Production of Amorphous Alloy Ribbons and Effects of Apparatus Parameters on Ribbon Dimensions," IEEE Transactions on Magnetics, vol 12, p. 921-923.
2. Washco, S. D. 1981. "Origin of Losses in 2.54 cm Wide Metglas Alloy 2605 SC," J. Appl. Phys., p.1989-1995.
3. Luborsky, F. E. 1983. Amorphous Metallic Alloys, Butterworth-Heinemann, USA.
4. Hufnagel, T. C. 1998. <http://www.sciencedaily.com/releases/1998/03/980331074950.htm>, son erişim tarihi 12 Ekim 2012.
5. Wang, W.H., Dong, C., Shek, C.H. 2004. "Bulk Metallic Glasses," Mat. Sci. Eng R., 44, p.45-51.
6. Başer, T. A. 2007. "Role of Composites Length-scale on Plasticity in Bulk Metallic Glasses," Doktora Tezi, Torino Üniversitesi Malzeme Bilimi Bölümü, İtalya.
7. Duwez, P. 1967. "On the Plasticity of Crystals," Prog. Solid State Ch, p.405-417.
8. Johnson, W.L. 1990. ASM Handbook Properties and Selection 2, p.804.
9. Chen, H. S. J. 1976. "Entropy Model for Flow Behavior in Metallic Glasses," Non-Crystall Solids, p.135-143.
10. Inoue, A. 1999. "Recent Development and Application Products of Bulk Glassy Alloys," Int. J. Non-Equilib. Pro. Mat., p.375-387.
11. Inoue, A. 2000. "Bulk Amorphous FC20 (Fe-C-Si) Alloys with Small Amounts of B and Their Crystallized Structure and Mechanical Properties," Acta. Mater., vol.48, p.1383-1395.

12. **Inoue, A., Shen B., Takeuchi A.** 2004. "Solid Solution Alloys of AlCoCrFeNiTi with Excellent Room-Temperature Mechanical Properties," *Mat. Sci. Eng. A* 375, p.16-19.
13. **Inoue, A.** 2005. "Soft Magnetic Co-based Metallic Glass Alloy," US 20050178476 A1.
14. **Inoue, A., Shen, B., Nishiyama, N.** 2007. Chapter 1 of *Bulk Metallic Glasses*, Springer, 10.
15. **Basu, J.** 2003. "Bulk Metallic Glasses: A New C of Engineering Materials," *Ranganathan, Sadhana*, 3, p.783-798.
16. **Turnbull, D.** 1985. "Formation of Crystal Nuclei in Liquid Metals," *J. Non-Crystal Solids*, 75, p.197-207.
17. **Stoica, M.** 2005. "Microstructure and Magnetic Properties of Binary Nd80Fe20 with Ga Additions," Doktora tezi, Dresden Technischen Universität, Germany.
18. **Shultz, L.** 1999. "Recent Development and Application Products of Bulk Glassy Alloys," *Mater. Sci., Eng.*, 97, p.151-162.
19. **Luzzi, D. E., Meshi, M.** 1986. "Criteria for the Amorphisation of Intermetallic Compounds Under Electron Irradiation," *Res. Mech.*, 21, p.943-948.
20. **Tuli, M., Strutt, P.R.** 1978. Claitor's Publishing Devision, B. Rouge Louisiana, p.113.
21. **Das, J.** 2006. "Ductile Metallic Glasses in Supercooled Martensitic Alloys," *Mater. Trans.*, 47, p. 2606-2609.
22. **Başer, T. A., Stoica, M., Baricco, M.** 2007. "Analysis of Melting and Solidification Behavior of Glass-forming Alloys by Synchrotron Radiation," *Adv. Eng. Mater.*, 9, p.492-496.
23. **Başer, T. A., Baricco, M.** 2008. "Analysis of Crystallisation Behaviour of Fe48Cr15Mo14Y2C15B6 Bulk Metallic Glasses by Synchrotron Radiation," *J. Mater. Res.*, 23, p.2166-2174.
24. **Baricco, M., Enzo, S., Başer, T. A.** 2010. "Amorphous/Nanocrystalline Composites Analysed by the Rietveld Method," *J. All. and Comp.*, 495, p.377-384.
25. **Inoue, A., Shen, B. L., Koshiba, H., Yavari, A.R.** 2004. "Ultra-high Strength Above 5000 MPa and Soft Magnetic Properties of Co-Fe-Ta-B Bulk Glassy Alloys," *Acta Mater.*, 528, p.1631-163.
26. **Xie, G., Zhang, Q., Zhang, W., Inoue, A.** 2007. "Stability of Nanocrystallites Dispersed in Cu50Zr45Ti5 Metallic Glass Under Electron Irradiation," *Nanosci Nanotechnol.*, p.3286-3293.

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi



[ANA SAYFA \(GİRİŞ SAYFASI\)](#)

YAZAR

HAKEM

EDİTÖR

» HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ

e-Posta :
 Şifre :

[Yeni Kullanıcı](#) | [Şifremi Unuttum](#)

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [Yeni Kullanıcı] bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [Şifremi Unuttum] bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı yayin@mmo.org.tr e-posta adresine gönderebilirsiniz.

makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz