

ALUMİNYUM ESASLI METAL MATRİS KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

İlyas UYGUR, Hamit SARUHAN

I.GİRİŞ

Özet - Bu makalede, günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan metal matrisli kompozit malzemelerin tanımlanması, sınıflandırılması, üretim teknikleri, mekanik özellikleri ve uygulama alanları irdelenmiştir. Özellikle parçacık takviyeli aluminyum esaslı kompozit malzemelerin kimyasal kompozisyonları, takviye elemanlarının boyutları ve yüzde dağılımlarının mekaniksel özelliklere etkisi tartışılmıştır. Ayrıca, mühendislik uygulamalarında kullanılacak kompozitlerin hangi kriterlere göre seçilebileceği üzerinde durulmuştur. Bu malzemelerin en yaygın şekilde kullanıldığı uygulamalar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler - Metal Matris Kompozitler, Takviye malzemeleri, Mekaniksel Özellikler

Abstract - Recently, Metal Matrix Composites have been used in various engineering applications. In this paper, definitions, classifications, production techniques and mechanical properties of Metal Matrix Composites are reviewed. Particularly, the effect of alloy compositions, the reinforcement size and the volume fraction of the Metal Matrix Composites are discussed. Some important factors of the material selection are listed for engineering applications. Detailed information about their application areas has been given.

Keywords - Metal Matrix Composites, reinforced materials, Mechanical properties

Günümüzdeki rekabet ortamında, daha kaliteli ürünlerin daha düşük maliyetlerle piyasaya arz edilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik endüstrideki yeni nesil malzemelerinin geliştirilerek kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Endüstrideki birçok mühendislik uygulamalarında daha düşük yoğunluklu (hafif) rijit ve yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok farklı metal alaşımının mekanik özellikleri, grafit, silikon karbür ve alümina gibi yüksek dayanımlı seramik fazlarla iyileştirilebilmektedir. Metal Matris Kompozitler (MMK) olarak adlandırılan bu malzemeler klasik alaşımlara iyi bir alternatif teşkil etmektedir[1].

1970'li yıllardan sonra MMK'ler, bu konuda çalışan birçok araştırmacının ilgi odağı haline gelmiştir. Yapılan birçok farklı mühendislik uygulamalarında bu malzemeler kullanılmıştır[2]. Özellikle iki ana faktör MMK'leri ön plana çıkarmaktadır. Bunlardan birincisi, yeni üretim tekniklerinin, malzemelerin geliştirilmiş mekaniksel özelliklerini daha düşük maliyetlerle elde edilebilmelerine olanak tanınması, diğeri ise seramik takviye oranlarındaki değişim ile metal malzemenin fiziksel özelliklerinde istenildiği kadar artırılıp azaltılmasına imkan tanınmasıdır.

Özellikle, içerisindeki takviye malzemesi süreklilik göstermeyen MMK'ler, döküm, toz metalurjisi gibi klasik metalurjik üretim teknikleriyle kolayca üretilmekte ve basit fabrikasyon teknikleriyle şekillendirilip işlenebilmektedir.

II.METAL MATRİS KOMPOZİTLER

Birçok malzeme kompozit malzemeler grubuna dahil edilebilir; selüloz ve ardışık liflerden meydana gelen ağaç, doğal kompozit malzemeye basit bir örnek olarak verilebilir. Mühendislik uygulamalarında kullanılmak amacıyla geliştirilen kompozit malzemelerin, yapıyı meydana getiren elemanların, bağımsız olarak sahip oldukları fiziki ve mekanik özelliklerinden daha üstün performans göstermeleri hedeflenmektedir.

Metal içerisindeki kompozit, süreksiz, daha sert ve daha yüksek dayanım gösteren faz, *takviye* elemanı olarak adlandırılmaktadır[3]. Genelde takviye malzemesi olarak kullanılan seramik malzemeler; oksitler (Al_2O_3 -Alümina, SiO_2 - Silikon dioksit), nitritler (Si_3N_4 -Silika Nitrit, AlN -Alüminyum Nitrit) ve Karbürler (SiC - Silisyum Karbür, TiC - Titanyum

Karbür)dir. Bunun yanı sıra karbon (C) ve Silisyum (Si) gibi elementsel malzemeler de, takviye malzemesi olarak kullanılabilir. Kompozit içerisinde yer alacak takviye elemanı, sürekli lif, kırık lif, kedi bıyığı (whiskers), plaka veya düzensiz şekilli olabilir. Takviye elemanın, yapı içerisindeki dağılımı, sistemin homojenliğini tayin eder. Bu homojenlik, malzemenin mekaniksel ve fiziksel özelliklerini belirlemede önemli bir faktördür.

Diğer faz ise temel malzeme olup, daha düşük rijitlik ve dayanım özellikleri gösterir ve *matris* olarak tanımlanır. Alüminyum, Titanyum, Magnezyum, Bakır, Nikel, süper alaşımlar (Ni ve Fe esaslı) uzun zamandır metal matris kompozitler için, matris fazı olarak kullanılmaktadır. Ağırlığın önemli bir faktör olduğu, taşıma, savunma ve uzay sanayisinde Alüminyum en çok tercih edilen matris malzeme olmaktadır. Piyasada yaygın olarak kullanılan Metal Matris Kompozit Sistemleri Tablo 1'de verilmiştir [4].

Kompozit malzemelerin üretimi esnasında, kimyasal etkileşim nedeniyle, takviye ve matris malzeme

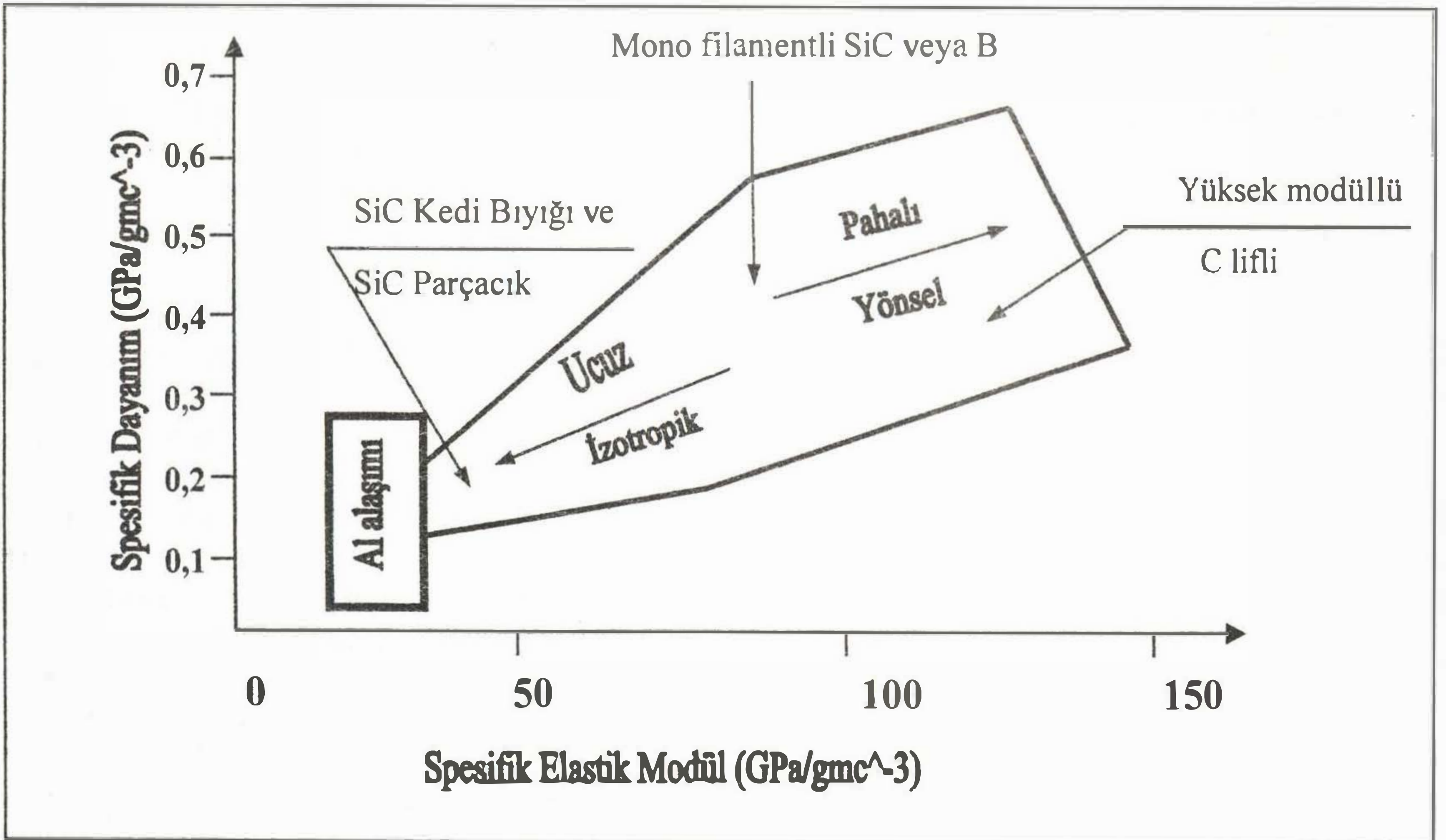
arasında, *ara faz (interface)* olarak isimlendirilen ilave bir yapı elemanı meydana gelir. Bu ara faz her ne kadar küçük boyutlarda ise de malzemenin çekme, uzama, kırılma tokluğu ve kırılma mekanizmasına etki eder. Bununla birlikte takviye malzemesinin şekli, boyutu, yüzdesi, yönü ve dağılımı da mekanik özellikleri belirlemede önemli bir rol oynar. MMK'ların başlıca avantajları:

- Yüksek elastik modül ve çekme dayanımı
- Uygun çarpma ve tokluk değerleri
- Termal şoklara ve yüksek sıcaklıklara karşı düşük duyarlılık göstermesi
- Yüzeysel çatlaklara karşı düşük duyarlılık ve aşınmaya karşı yüksek yüzey dayanımı
- Tasarım, üretim, şekillendirme, birleştirme, talaşlı imalata uygun olmasıdır.

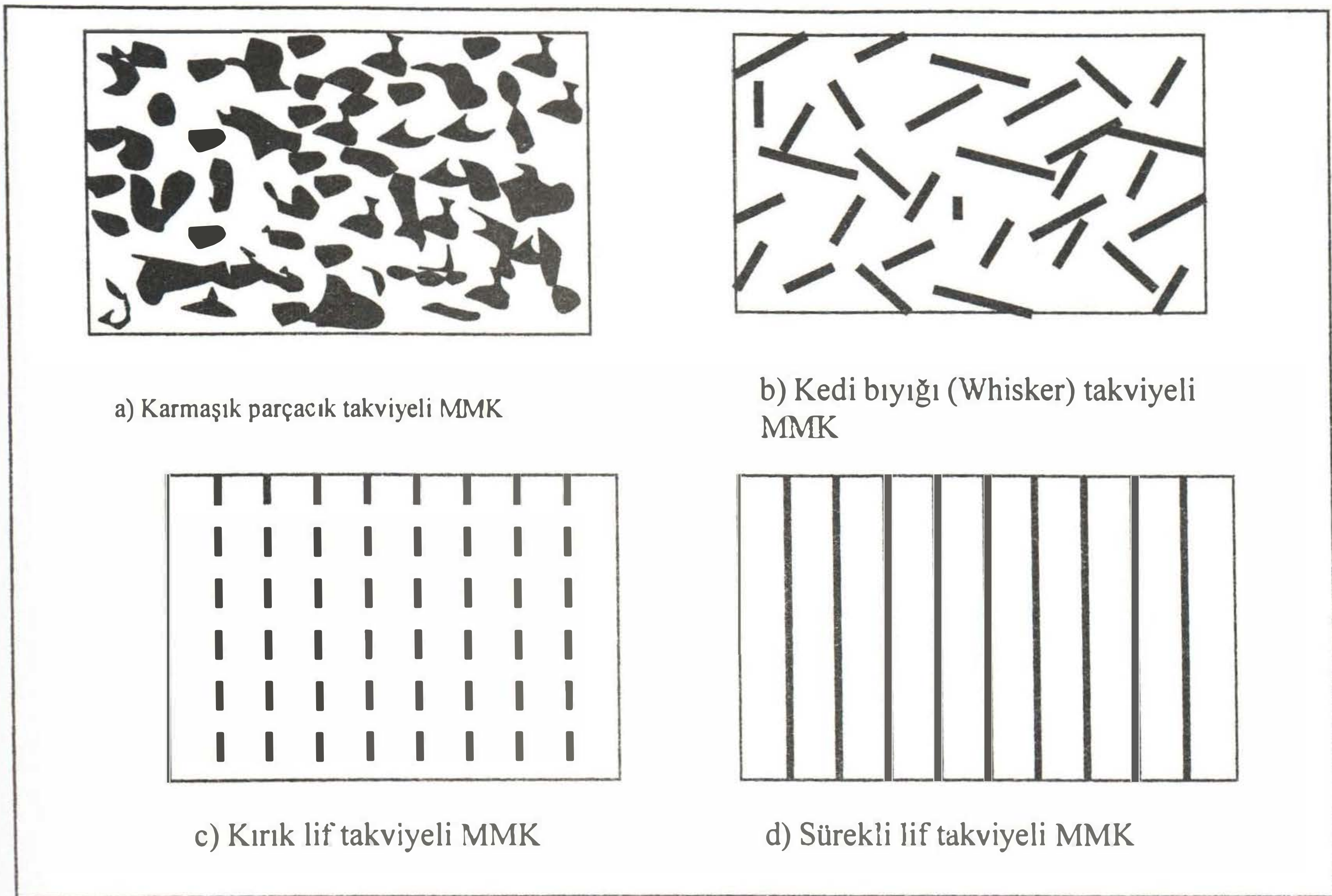
Şekil 1'de değişik takviye elemanlarıyla geliştirilmiş mekaniksel özellikler ile maliyet arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo: 1. Endüstride kullanılan Metal Matris Kompozit Sistemleri.

Takviye	Matrisler
Boron lifi	Al, Ti
Grafit lifi	Al, Mg, Cu
Alümina lifi	Al, Mg
Silisyum Karbür lifi	Al, Ti
Silisyum Karbür kedi bıyığı	Al, Mg
Silisyum Karbür ve Alümina Parçacık	Al, Mg, Ti



Şekil 1. Aluminyum esaslı MMK'lerde çekme dayanımı, elastisite modülü ve maliyet arasındaki ilişki [5-6].



Şekil 2. MMK'lerde kullanılan değişik tipteki takviye malzemelerinin şematik gösterimi

Şekil 2'de ise takviye tipine göre başlıca MMK'lerin şematik gösterimi verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi MMK'lar dört ana grupta toplanabilir.

- Parçacık takviyeli
- Kedi bıyığı (whisker) takviyeli
- Kırık lif takviyeli
- Sürekli lif takviyeli

II.1. Parçacık Takviyeli MMK'ler (Bkz. Şekil 2.a)

Tungsten karbür gibi parçacık takviyeli kompozitler birçok endüstriyel uygulamalarda yıllardır kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda yüksek saflıktaki SiC ile Al esaslı matrisler değişik oranlarda kombine edilebilmektedir [6]. Elmasa benzer yapıya sahip olan SiC, düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve elastisite modülü ile birlikte oldukça iyi termal stabilite ve iletkenlik özellikleri nedeniyle tercih edilen bir takviye malzemesidir. Bunun yanı sıra Al_2O_3 ve TiB_2 'nin de son zamanlarda kullanılan diğer parçacık takviyeli MMK ler olduğu görülmektedir. Parçacık takviyesi malzemenin izotropikliğini bozmadan mekanik özelliklerini geliştirmektedir. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen parçacıklar, maliyet, taşıma-polama ve kompozit malzemelerinin üretimi esnasında kolaylık sağlamaktadır. Takviye malzemelerinin kompozit içerisindeki dağılımı, homojenliği, yoğunluğu ve üretim esnasında meydana gelen hatalar (defects), doğrudan üretim tekniklerine bağlıdır. Bu parametreler MMK'ların mekanik özelliklerine etki etmektedir. Yapılan çalışmalarda, parçacık takviyeli kompozit malzemelerde, çekme

dayanımının, parçacık büyüklüğü, parçacıklar arası mesafe ve parçacık yüzdesinden etkilendiği görülmüştür [7]. Tablo 2'de döküm ve toz metalurjisi yöntemiyle üretilen, değişik seri numaralı¹ Alüminyum esaslı MMK'lere ait çekme özellikleri verilmiştir.

II.2. Kedi Bıyığı Takviyeli MMK ler (Bkz. Şekil 2.b.)

Yüksek sıcaklıklarda, gerilme dayanımı, ısıl yorulma ve sürünmenin önemli olduğu endüstriyel uygulamalarda, basınçlı döküm veya toz metalurjisi yöntemi ile üretilen SiC ve Al_2O_3 esaslı kedi bıyığı (whisker) takviyeli MMK'ler tercih edilmektedir. Kedi bıyığı takviyeler 0,1-2 μm çap ve 10-20 μm uzunluğundadır. Kedi bıyığı takviyeli kompozitler, parçacık takviyeli MMK'lardan daha iyi yük taşıma kapasitesine sahiptirler. Bununla birlikte şekillendirme ve işleme esnasında, MMK içerisinde bulunan kedi

¹ Uluslararası alaşımları tanımlama sistemi IADS(International Alloy Designation System)

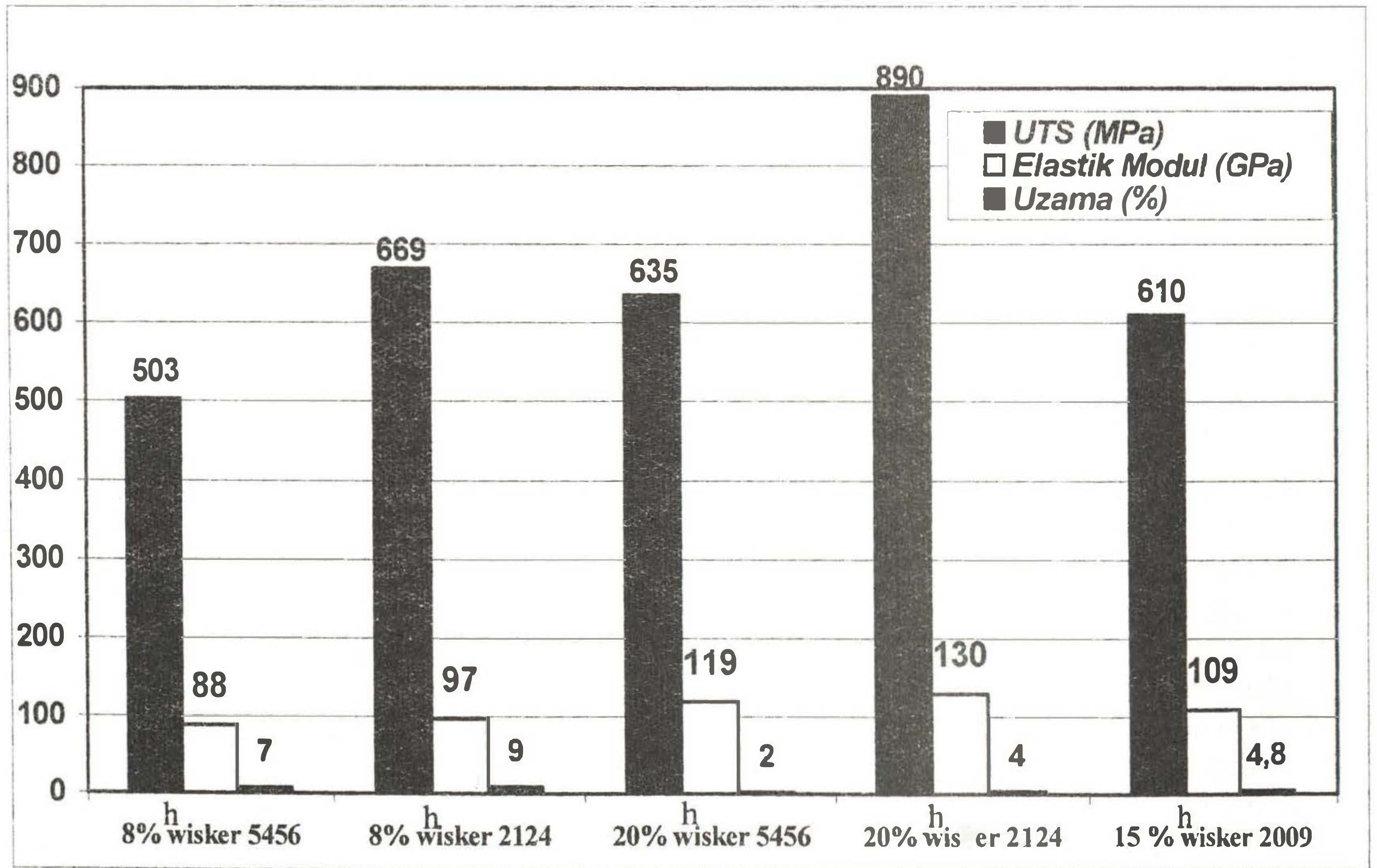
bıyığı takviyelerinin kırılması, mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Kedi bıyığı takviyelerindeki kırılmaların yorulma çatlaklarının ilerleme hızını arttırdığı, dolayısıyla yorulma ömrünü önemli ölçüde azalttığı deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir [8-9]. Parçacık takviyeli alaşımlarla karşılaştırıldıklarında, kedi bıyığı takviyeli alaşımların birtakım dezavantajları da vardır. Takviye malzemesinin bir bölgede birikme eğilimi göstermesi topaklanmaya neden olmakta ve homojen bir dağılımın elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Parçacık takviye malzemeleriyle kıyaslandığında, kedi bıyığı takviye

malzemeleri pahalı ve sağlığa zararlıdır. Ancak mekanik ve yüksek sıcaklık özelliklerinin iyi olması nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 3'de değişik oranlardaki kedi bıyığı takviyeli ve döküm yöntemiyle elde edilmiş çeşitli alüminyum alaşımlarına ait çekme deneyi sonuçları verilmiştir[9-10]. Grafikte de görüldüğü gibi, takviye elemanın oranını artırarak çok önemli bir miktarda malzemenin Çekme dayanımı (UTS) ve Elastik modülünü de artırmak mümkün olmakta, fakat bu da gerinim miktarını azaltmaktadır.

Tablo 2. Toz metalurjisi ve döküm yöntemleriyle üretilen MMK'lerin çekme özelliklerinin karşılaştırılması [1].

Kompozit	Elastik modül (GPa)	Akma Day. (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
%25SiC _p -6061(1)	122,7	434	498	3,91
%25 SiC _p -7091(1)	117	686	805	2
%25 SiC _p -2124(1)	116	420	574	5,4
%20 SiC _p -2024(2)	108	419	497	2,5
%15 SiC _p -7075(2)	99	581	610	2,5

1. Toz metalurjisi yöntemiyle üretilerek ekstrüzyona tabi tutulmuş ve ısıtılmış
2. Döküm yöntemiyle üretilerek ekstrüzyona tabi tutulmuş ve ısıtılmış.



Şekil 3. Döküm yöntemiyle üretilmiş kedi bıyığı takviyeli MMK'ların çekme deneyi sonuçları[9,10]

II.3. Sürekli Lif Takviyeli MMK (Bkz. Şekil 2.d)

Alüminyum alaşımlarında kullanılan sürekli lif takviye malzemeler; Boron, SiC, Karbon ve Alümina'dır. Bu malzemeler oldukça iyi aşınma dayanımı, yüksek rijitlik ve düşük termal genleşme ve ısı iletkenliğine sahiptir.

Sürekli lif takviyeli kompozitler, lif yönünde oldukça yüksek elastiklik modülü ve çekme dayanımı değerleri vermektedir. Fakat

enine kesitlerindeki çekme dayanımları ise oldukça düşüktür. Bu tür MMK'ların mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik matematik modeller geliştirilmiştir. MMK'ların mekanik özelliklerini (termal genişleme katsayısı, yoğunluk, çekme dayanımı, elastisite modülü vb. gibi) hesaplamada basit karışım modeli kullanılmaktadır.

$$\alpha_c = \alpha_m \cdot V_m + \alpha_r \cdot V_r \quad (1)$$

Burada α ; hesaplanmak istenilen parametre, V; takviye elemanının yüzde oranı ve c, m, r sırasıyla kompozit, matris ve takviye malzemesini ifade etmektedir [11].

Sürekli lif takviyeli MMK'lar lif boyuna paralel yönde çok yüksek çekme dayanımı ve rijitlik özelliklerine sahip iken lif boyuna dik yönde, daha düşük çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri vermektedir [12]. Kedi bıyığı takviyeli kompozitler, sürekli lifli kompozitler ile parçacık takviyeli kompozitlerin sahip oldukları mekanik özelliklerin ara değerlerine sahiptirler. Parçacık takviyeli kompozitler, sürekli lif takviyeli kompozitlerden 100 kat, kedi bıyığı takviyeli kompozitlerden 5 kat daha ucuza mal edilebilmektedirler. Sürekli lifli kompozitlerin en önemli dezavantajları, bu kompozitlerin klasik üretim yöntemleriyle üretimlerinin oldukça zor ve pahalı olmasıdır. Bu nedenle bu kompozitlerin kullanılma alanları oldukça sınırlıdır. Ancak bu malzemeler, yüksek dayanım ve hafiflik gerektiren, uzay ve savunma sanayilerinde uygulama alanı bulmuştur.

III. MMK'LARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

MMK'ların fiziksel ve mekanik özelliklerinin optimizasyonu için değişik birçok üretim tekniği geliştirilmiştir [13,14,15]. MMK'ların üretim teknikleri uygulama sıcaklıklarına göre sınıflandırılabilir. Tekniklerin çoğunda SiC gibi seramik takviyeler matris içerisine;

- Döküm
- Toz metalurjisi
- İki faz (sıvı-katı), teknikleriyle dahil edilebilmektedir.

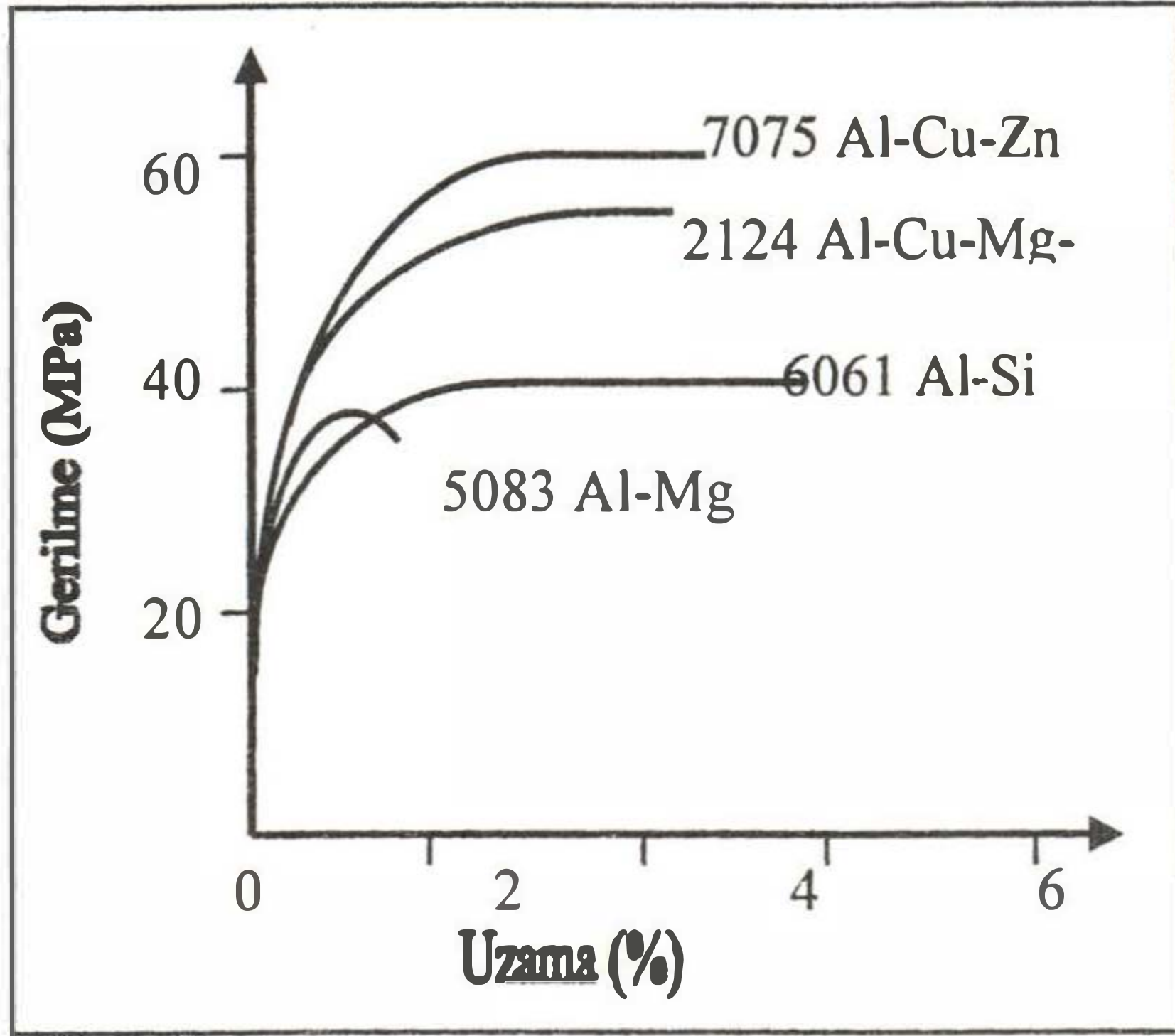
IV. METAL MATRİS KOMPOZİTLERİN GERİLİM-GERİNİM ÖZELLİKLERİNİN İRDELENMESİ

Malzemelerin mekanik özelliklerine ait önemli bazı veriler çekme deneyi ile elde edilmektedir. Deney numuneleri giderek artan aksiyal yükleri, kırılincaya kadar taşıyacak şekilde imal edilir. MMK'lerde akma dayanımını, maksimum çekme dayanımını, elastisite modülünü, süneklik veya uzamayı etkileyen birçok faktör vardır. Metal Matrislerde alaşım kompozisyonu, uygulanan ısı işlem, uzama hızı ve sıcaklık, gerilme-uzama diyagramını belirlemede etkili olan faktörlerden bazılarıdır. Yukarıda bahsedildiği gibi matris alaşımı çekme deneyini etkileyen en önemli etkidir. McDaniels [16] ticari amaçla üretilen ve %20 oranına kadar SiC içeren kedi bıyığı takviyeli Alüminyum alaşım

kompozitlerle çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

McDaniels'in değişik kimyasal kompozisyona sahip Alüminyum esaslı kompozit malzemeler, tüm diğer parametreler sabit tutarak yaptığı çekme deneylerine ait bulgular Şekil 4'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 2000 ve 7000 serisi Al alaşımları oldukça yüksek dayanıma sahip olmakla birlikte daha düşük süneklik özelliği göstermektedir. 6000 serisi Alüminyum esaslı kompozit malzeme ise orta dayanımda ve oldukça yüksek süneklik özelliği göstermektedir. Bunların aksine 5000 serisi Alüminyum alaşımı, içerdiği Magnezyum ve Manganez miktarına bağlı olarak düşük süneklik ve düşük çekme dayanımı göstermektedir.

Ayrıca, McDaniels [16] 6000 serisi Alüminyum esaslı kompozitlerle yaptığı çekme deneylerinde, takviye elemanının yüzde oranının arttırılmasına bağlı olarak elastisite modülünün de arttığını belirlemiş, ancak deneylerden elde edilen elastisite modülü değerlerinin, 1 nolu formülle hesaplanan değerlerden daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Sonuçta takviye elemanının yüzdesi elastisite modülünü belirlemede en önemli faktör olarak ortaya çıkmak fakat yukarıdaki formül ile sadece kabaca değerler belirlenebilmekte kesin değer eldesi için bazı değişik parametrelerinde (ısı işlem, matris malzemenin kimyasal bileşeni gibi) göz önüne alınıp, formüle dahil edilmesi gerekmektedir. Şekil 5'teki veriler gözönüne alındığında 6000 serisi için, takviye malzemesinin tipi, elastisite modülünün değerine önemli bir etkisi olmamıştır. Fakat, kompozit malzemeleri cazip kılan en önemli değerlerden bir olan Spesifik modül (ağırlık/Elastik modül) bir çok malzeme ile karşılaştırıldığında hala en iyi değerdedir. Örneğin bu oran, çelik, alüminyum, magnezyum ve titanyum için 27 iken alüminyum esaslı MMK'larda, seramik katkı elemanın oranına bağlı olarak iki katına kadar çıkabilmektedir[17].



Şekil 4. % 20 oranında kedi bıyığı SiC takviyeli Alüminyum alaşımlı kompozitlerde Matris alaşımının gerilme uzama davranışına etkisi [16].

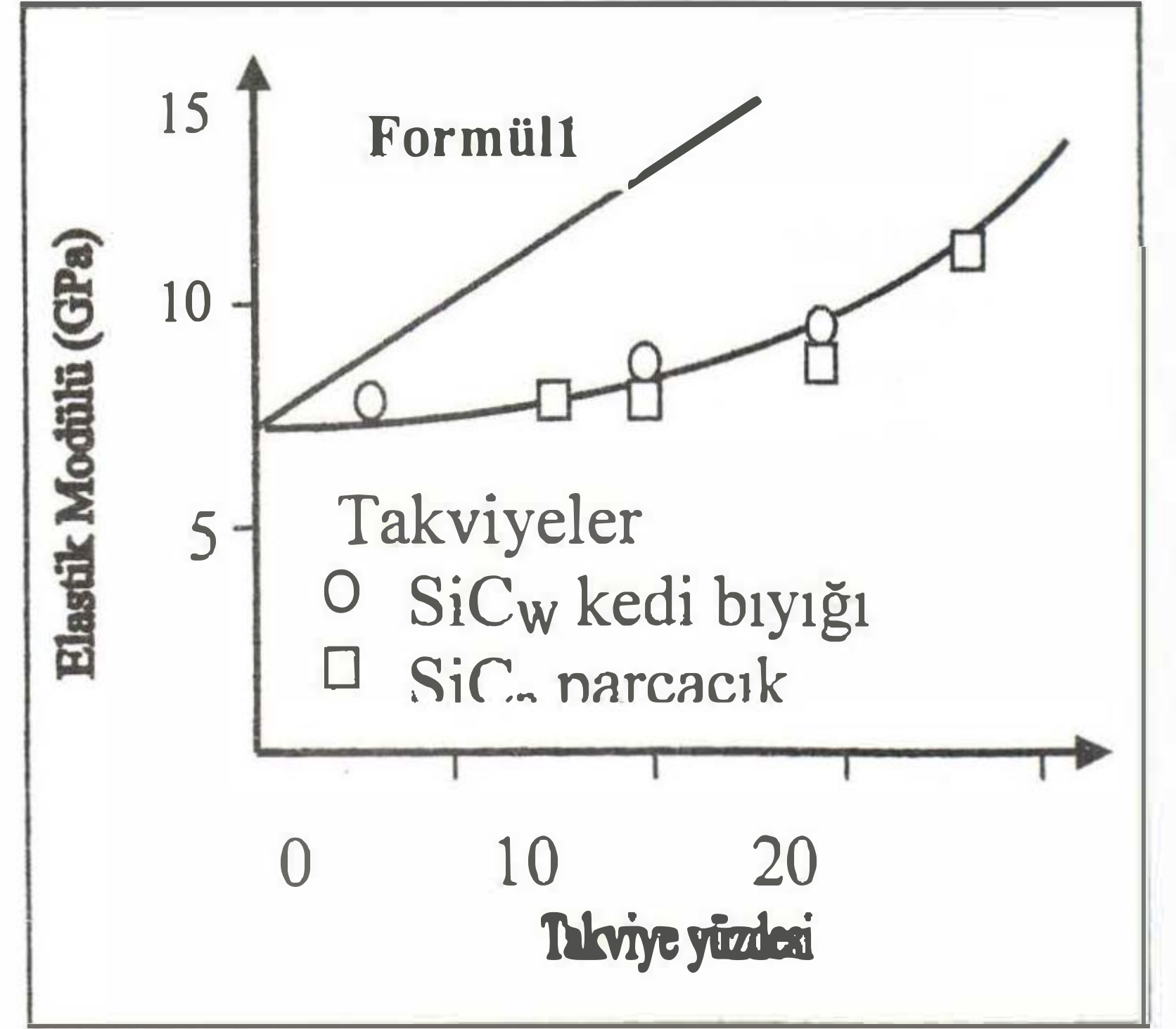
Malzemenin görmüş olduğu ısıl işlem elastoplastik özellikleri etkilemektedir. Değişik ısıl işlemlere tabi tutulmuş Al-Si-Mg alaşımlı, SiC parçacık takviyeli kompozit numuneleri ile yapılan çekme deneylerinde uygulanan ısıl işlemin maksimum çekme ve akma dayanımına önemli etkisi olmuştur. Ancak bu değerlerin artırılması için yapılan işlemler, süneklik özelliğini olumsuz yönde etkileyerek kırılma uzamasını % 1.5'ten 0.85'e düşürmektedir [18]. Ayrıca uygulanan ısıl işlemin, çalışılan Alüminyum esaslı MMK'larda elastisite modülüne önemli etkisi olmamıştır [16]. Fakat, uygulanan ısıl işlem, önemli bir oranda malzemenin mikro ve makro plastik şekillendirme özelliklerini ve iletilen yüklenme dayanımını, çökelti fazlarının oluşumunu önemli oranda etkilemektedir [19].

MMK'lerde çekme özelliklerine etki eden diğer önemli bir faktörde, kullanılan takviye malzemesinin boyutlarıdır (Tablo 3). İçerisinde 5µm ve 13 µm boyutlarında takviye malzemesi bulunan 7075 seri numaralı MMK'lerle yapılan çekme deneylerinde maksimum çekme ve akma dayanımı değerleri arasında önemli farklılıkların olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 3. MMK'lerde takviye malzemesi boyutunun mekanik özelliklere etkisi [21,22].

Malzeme	Parçacık Boyutu (µm)	Ak.Day (MPa)	Çekme Day. (MPa)	Uzama (%)
% 15 SiC _p -7075	15	502	609	10.5
% 15 SiC _p -7075	13	499	595	6.3
% 15 SiC _p -7075	60	431	453	1.3
% 20 SiC _p -1000	3	110	187	17
% 20 SiC _p -1000	10	98	176	16.8
% 20 SiC _p -1000	30	84	154	16.5

- "p" indisi parçacıklı takviyeyi göstermektedir.



Şekil 5. 6000 serisi Al-esaslı kompozitlerde, takviye yüzdesinin elastisite modülüne etkisi[16].

Ancak 60 µm takviye malzemesi içeren numunelerde daha düşük çekme ve akma değerleri elde edilmiştir. Benzer şekilde Toz Metalurjisi yöntemiyle elde edilen saf Al esaslı, SiC parçacık takviyeli kompozitlerde parçacık boyutu büyüdükçe akma ve maksimum çekme dayanım değerlerinin azaldığı ancak süneklikte bir değişimin olmadığı saptanmıştır. Alüminyum esaslı kompozit malzemelerin birçok fiziki ve mekanik özellikleri; alaşım kompozisyonu, takviye elemanlarının dağılımı ve ısıl işlemlerden etkilenmektedir. Matris malzemesi ile destek malzemesi arasındaki termal genleşme katsayısının farklı olması, kompozit malzeme içerisinde farklı kalıntı gerilmeleri meydana getirmektedir [20]. Bu artırımlar daha fazla dislokasyon konsantrasyonuna neden olarak alaşımın dayanımını artırmaktadır. Dislokasyon oluşumunu etkileyen en önemli faktörler, termal genleşme katsayısı, takviye malzeme boyutu ve oranıdır [21].

Daha önce değinildiği gibi üretim teknikleri malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Matris malzeme ile takviye malzemesi arasında oldukça iyi bir ara faz (interface) oluşumuna olanak tanıyan üretim yöntemleri, (örneğin T/M) geleneksel döküm teknikleriyle karşılaştırıldıklarında çok daha iyi mekanik özellikler sağlamaktadır. MMK'ler toz metalurjisinde kullanılan ekstrüzyon veya sıcak izostatik presleme (HIP) teknikleriyle üretilebilmektedir. Deneysel araştırmalarda HIP tekniğinin, ekstrüzyon yönteminden daha iyi mekanik özellikler sağladığı saptanmıştır. HIP yöntemiyle üretilen %30 parçacık takviyeli 6061 seri numaralı (Al-Mg-Si) kompozitinde, ekstrüzyona göre dayanım değerlerinde %25'lik, elastisite modülünde ise %7'lik bir artış tespit edilmiştir. Doğal olarak süneklikte de dikkate değer bir düşüş meydana gelmiştir [22]. Koparılan deney numunelerinin SEM ile kırılan yüzey topoğrafyaları incelendiğinde takviye parçacıkları arasında küçük çukurcukların olduğu görülmüştür. Bu çukurcuklar mikro düzeyde sünek bir kırılma mekanizmasının göstergesidir. Özellikle küçük parçacık destekli kompozitlerde takviye malzemesi ile matris malzemesi arasında veya takviye malzemesi içerisinde yarılma (decohesion) meydana gelmediği, küçük boyutlu takviye parçacıklarının diğer yüzeye geçtiği gözlenmiştir. Özellikle büyük boyutlu takviye malzemenin kullanıldığı kompozitlerde parçacıkların kırıldığı ve yarıldığı gözlenmiştir [23]. Bunun sebebi de parçacık yüzeyinde oluşan üç boyutlu gerilimler ile aşırı plastik deformasyondur. Her ne kadar genel kırılma mekanizması, sünek özellikler gösterse de ara faz (interface) ile parçacıkların gerilim konsantrasyonlarından etkilenmektedir. Takviye parçacıklarının kırılması, yüzde dağılımı ve ara fazdaki fiziksel bozulma, kırılma tokluğunu ve maksimum çekme gerilmesini olumsuz yönde etkilemektedir [24]. Fakat, son zamanlarda geliştirilen basınçlı sıkıştırma yöntemiyle daha homojen dağılımlı ve mekanik özellikleri yüksek kompozit malzeme üretmekte mümkün olabilmektedir [25]. Ayrıca, bir çok otomobil parçasının imalatında kullanılan 6xxx serisi aluminyum esaslı kompozit malzemesi sıcak kalıplama yöntemiyle, mekanik özelliklerine ve katkı elemanlarına zarar vermeden şekillendirilebilmektedir [26].

V. METAL MATRİS KOMPOZİTLERİN KULLANMA ALANLARI

Aluminyum esaslı kompozit malzemeleri; uçak, savunma, otomotiv ve elektronik sanayiinde ve yüksek sıcaklık dayanımına ve iyi aşınma direncine gereksinim duyulan uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığını görmekteyiz. Örneğin MMK lerin ağırlık/fiat oranları çok uygundur. Dökme demirden yapılan fren kampanaları ve pistonların yerine Aluminyum esaslı kompozitler kullanılmakta, fazla sürtünme dayanımına gereksinim olan uygulamalarda ise takviye elemanın boyutu artırılarak daha uygun fiatlarda parça imal edilebilmektedir[27-28].

MMK'ların en önemli avantajı mekanik, fiziki ve termal özelliklerinin, uygulamaların gerektirdiği değerlere uyarlanabilir olmasıdır. Bunların başlıcaları hafiflik, yüksek elastisite modulu, yüksek çekme dayanımı, düşük termal iletkenlik iyi yoruma, abrasif ve aşınma direncidir. Örneğin Al-Si matrisli-alümina kedi bıyığı takviyeli kompozitler, takviyesiz malzemeye göre yüksek sıcaklıklardaki (250 °C) çekme dayanımında %300 düzeyinde iyileşme sağlamaktadır. Elastisite modülündeki aynı orandaki iyileşme sürekli lif takviyeleriyle sağlanabilmektedir. Seramik parçacıklarının yüzdesinin artırılmasıyla, termal genleşme katsayısı da % 400' oranında düşürülebilmektedir[29]. Mekanik özellikleri geliştirilmiş aluminyum MMK kullanılarak üretilen araçlar da ağırlığının %10 oranında düşürülmesiyle yakıt tüketiminde %5 tasarruf sağlanmıştır [30]. MMK'lerden üretilen makine elemanlarının bazıları, fren kampanaları, turbo kompresörler, otomotiv şasisi, piston, krank-motor gövdesi, bisiklet şasisi, askeri araçlar (tank) vb.dir.

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son zamanlarda MMK malzemeler üzerine yapılan bilimsel çalışmalar ve değişik uygulamalar bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Geleneksel üretim yöntemleriyle üretilebilmeleri ve işlenebilmeleri bu malzemelerin maliyetlerini makul düzeye çekmiş ve uygulama alanlarını arttırmıştır. Özellikle Al veya Mg esaslı kompozitler, oldukça hafif olmaları üstün mekanik özellikleri nedeniyle demir esaslı malzemelere alternatif olarak kullanılmaya başlamıştır. En belirgin örnekleri yakıt tasarrufunun önemli olduğu, savunma, uçak ve otomotiv sanayindeki uygulamalardır. Bu uygulamalarda kompozit malzemenin kompozisyonu, takviye elemanı

yüzdesi ve tipi, uygulanan ısıl işlem türü gibi parametrelerin değiştirilmesiyle, mekanik özellikler istenilen değere ayarlanabilmektedir.

Kompozit malzemelerdeki mekaniksel özelliklerin artışı, matris metalinin maruz kalacağı yükü, daha dayanıklı olan takviye elemanına ilemesine bağlıdır. Şayet ara faz zayıf ise, etkili yük takviye elemanına iletilmeden matris metalde mikro çatlaklar oluşacak ve optimum dayanım elde edilemeyecektir. Ayrıca, en uygun mekaniksel değerlerin elde edilebilmesi, şu an literatürde sıklıkla uygulanan takviye eleman boyutlarını yarı yarıya düşürülmesiyle mümkün olabilecektir. Bir başka deyişle ortalama parçacık büyüklüğü 2-3µm küçük olmalıdır. Karışım modeli ile hesaplanan mekaniksel özellik değerleri, deneylerden elde edilen sonuçlarla mukayese edildiğinde: kılcal kristal (whisker) ve parçacık takviyeli kompozitlerde daha düşük çıkmaktadır. Bunun da nedeni, aksenal yüklerin kedi bıyığı veya parçacıklar tarafından etkili bir şekilde taşınmamasıdır. Diğer bir neden ise kompozit malzeme içerisinde bulunan daha büyük boyutlu takviye parçacıklarının, gerek üretim esnasında gerekse çalışma esnasında kırılarak, yüksek gerilim konsantrasyonlarına neden olmalarıdır. Bu bölgeler potansiyel çatlak oluşma ve büyüme alanlarıdır. Ancak kaliteli şekilde üretilmiş uzun lif takviyeli kompozitlerde, söz konusu model deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara yakın değerler verebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Uygur, İ. "Environmentally Assisted Fatigue Response of Al-Cu-Mg-Mn with SiC particulate Metal Matrix Composites." Ph.D.Thesis, University of Wales, Swansea, 1999.
- [2]. Evert, R.K. and Arsenault, R.J. in "Metal Matrix Composites; Mechanism and Properties." Academic Press Inc., San Diego, USA (1991) p.262.
- [3]. Boutman, L.J. and Krack, R.H. "Composite Materials" Vol.4. Academic Press Inc. Ltd. London (1974).
- [4]. Srivatson, T.S., İbrahim, I.A., Mohammed, F.A. and Lavernia, E.J., J. Mater. Sci. 26(1991), p. 5965.
- [5]. Trumper, R.L. Metals and Materials Nov. 1987, p.662.
- [6]. Hull, D. and Clyne, T.N. "An Introduction to Composite Materials" 2.Edt.Cambridge University Press, Cambridge, 1996.
- [7]. Shang, J.K. and Ritchie, R.O., Metall.Trans. 20 A (1999), p.897.
- [8]. Masuda, C. and Tanaka, Y., J. Mater. Sci 27(1992), p.413.
- [9]. Lee, S., Kim, T.H. and Kwon, D., Metal. Trans. 25.A (1994) p. 2215
- [10]. Papazian, J.M. and Adler, P.N., Metal. Trans. 21 A (1990) p.401
- [11]. Ashby, M.F., Journal De Physique IV C73 (1993) p.1595
- [12]. Matthews, F.L. and Rawlings, R.D. "Composite Materials: Engineering and Science" Chapman and Hall print London, 1994.
- [13]. İbrahim, I.A., Mohammed, F.A., Lavernia, E.J., J. Mater Sci. 26 (1991), p.1137
- [14]. Pai, B.C., Pillai, S.G.K. and Satyonaryan, K.G. "Solidification of MMCs (edt.P.Rohatgi) The Minerals, Metals and Materials Society (1990), P.191
- [15]. Poza P. and Llorca, J. Metall. Trans. 26 A (1995) p.3131.
- [16]. McDanel, D.L. Metall. Trans. 16 A (1985) p.1105
- [17]. Hooker, J.A., Doorbar, P.J., Mater.Sci & Tech. 16, 7/8 (2000) p. 725
- [18]. Samuel, F.H. and Samuel, A.M. Metall. Trans. 25 A (1994) p. 2247
- [19]. Fan, Z., Xiaocu, L., Pengfai, S., Guoding, Z., J. Mater. Sci. Letters 20 (2001) p.285
- [20]. Fitzpatrick, M.E., Huchings, M.T., King, J.E., Knowles, D.M. and Whitters, P.J. Metall. Trans. 26 A (1995), p.3191.
- [21]. Aikin, R.M., JOM 49(8) (1997) p.35
- [22]. Mummery, P. and Derby, B. Mater. Sci. & Eng. A 135 (1991) p. 221.
- [23]. Niklas, A., Froyen, L., Dealy, I. and Buekenhout, L., Mater.Sci.&Eng. A 135 (1991) p.225.
- [24]. Suresh, S., Mortensen, A., and Needleman, A. "Fundamentals of MMCs" Butterworth-Heinemann, Stoneham, USA. 1993.
- [25]. Koverkijan, V.M., Smalar, T., J.Advanced Materials 24, 1 (2002) p.37
- [26]. Koverkijan, V.M., Advanced Materials&Process 155,5 (1998) p.25
- [27]. Herling, D.r., Grant, G.J., Hunt, W., Advanced Materials&Process 159, 7 (2002) p.37
- [28]. Feest, E.A. and Young, R.M.K., Metallurgia 63(3) (1996), p.113
- [29]. Allison, J.E. and Cole, G.S., JOM 45(1) (1993) p.19
- [30]. Zhang, M., Wu, Z., Li, S., Yao, C., J.Mater. Sci. Letters 20 (2001) p.1501