Metal Matrisli Kompozitler ve Mikroyapının Özelliklere Etkisi

METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER (MMK)

- Metaller tasarım ihtiyacını karşılayabilmek için kendi özelliklerini artırmak veya azaltmak için takviye edilir. Örneğin Silisyum karbür gibi takviyeyle elastik rijitlik ve mukavemet artırılabilir. Yüksek değerdeki termal genleşme ve elektriksel iletkenlik azaltılabilir.

- Mevcut malzemelerin kullanım sıcaklığının üzerinde sıcaklıklarda kullanılabilecek ve daha yüksek spesifik mukavemet özelliğine sahip malzemelere duyulan ihtiyaç nedeniyle 1960'lı yılların başında metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler geliştirilmiştir.

- Metal matrisli kompozit malzemeler, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle üretilen yeni malzemelerdir.

METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER (MMK)

- MMK'lar sermet, metalik köpük, partikül veya fiber takviyeli metaller gibi geniş bir malzeme grubunu oluşturmaktadır.

•Metal matrisli kompozit malzemeler tek bileşenli alaşımlarla elde edilemeyen özellikleri sağlamak amacıyla bir metal matris içinde sürekli veya kısa fiber veya partikül şeklinde takviye fazı içerir.

• Matris, takviye fazını bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı gibi davranır ve asıl işlevi katkı fazına yükü iletmektir.

METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN AVANTAJLARI

- Düşük yoğunluk,
- Tekrar üretilebilir içyapı ve özellikler,
- Yüksek mukavemet ve esneklik modülü,
- Yüksek tokluk ve darbe dayanımı,
- Yüksek yüzey sertliği ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet,
- Sıcaklık değişikliklerine veya ısıl şoka karşı düşük hassasiyet,
- Yüksek elektriksel ve ısıl iletkenlik.

Genel olarak bakıldığında metal matrisli kompozitlerin, metallere göre üstün olan temel özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

- Daha yüksek aşınma direnci,
- Daha iyi yorulma direnci,
- Düşük ısıl genleşme katsayısı,
- Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme ve düşük sürtünme oranı gibi daha iyi yüksek sıcaklık özellikleri,
- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı (spesifik mukavemet),
- Yüksek esneklik modülü/yoğunluk oranı (spesifik modül).

MMK'ların ana sınırlayıcı özellikleri ise aşağıda sıralanmaktadır:

- Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda kompozit üretimi için genellikle zor ve karmaşık üretim süreçlerinin kullanılması gerekmektedir.

- Metallere göre kompozitlerin sünekliği daha düşüktür.

- Kompozit üretiminde metallere oranla daha yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizata ihtiyaç duyulmaktadır.

- Kompozitler yeni gelişen bir malzeme ailesi olması nedeniyle firmaların ve üreticilerin bu alanda bilgi birikimi metallere oranla daha zayıftır.

Kompozit malzemelerde matristen beklenen özellikler: hafiflik , korozyon direnci, kırılma tokluğu ve takviye elemanı ile uyumluluk olarak sıralanabilir.

Matris malzemeleri takviye elemanlarına yük aktarımı yaparken aynı zamanda da takviye elemanlarını aşınma ve korozyona karşı korur. Takviye elemanlarından kırılgan çatlakların yayılmasını engeller.

Matris malzemeleri kompozit yapının kayma, basma, akma, sürünme, dielektrik ve termo mekanik özelliklerini belirleyici bir rol oynamaktadır

Kompozit yapılarda yaygın olarak tercih matris malzemeleridüşük yoğunluk, tokluk ve iyi mekanik özelliklere sahip olan hafif metal ve alaşımlardır.

Bu hafif metal alaşımları, dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması sebepleriyle özellikle ağırlığın ön planda olduğu, hafif yapılarda tercih edilmektedir.

Bu tür malzemelerde atmosfere karşı korozyon dayanımının da oldukça yüksek olması diğer bir karakteristik özelliktir.

Genellikle metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde alüminyum (Al), magnezyum (Mg), çinko (Zn), bakır (Cu), titanyum (Ti) ve nikel (Ni) gibi metaller ve bu metallerin alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır.

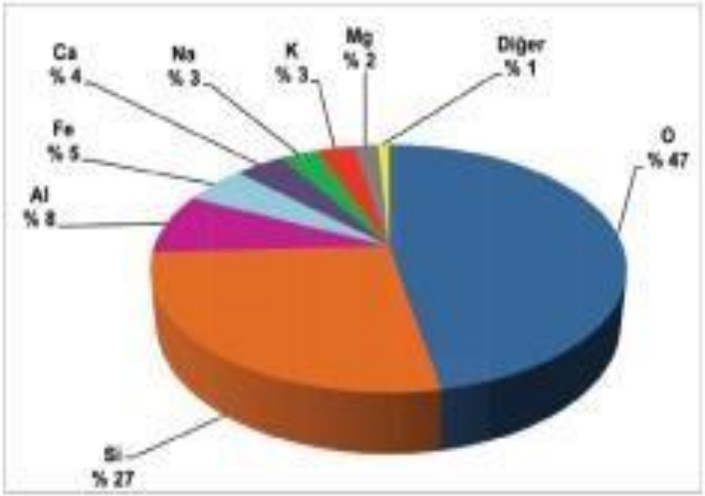
Metal Matrisli KompozitlerdeKullanılan Matris Malzemeleri

- Metal matrisli kompozit malzemeler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilir.
- Matris malzemesi olarak düşük yoğunluk ve ergime sıcaklıkları nedeniyle alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadır.
- Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme değerleri için Al-Si alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris olarak kullanılabilir.
- Alüminyum ve alaşımları dışında en çok titanyum ve magnezyum alaşımları,elektronik sistemlerde bakır alaşımları kullanılır.

Metal	Yoğunluk g/cm³	Akma Mukavemeti MPa	Spesifik Mukavemet Nm/kg
Magnezyum (Mg)	1,74	69	39,6
Berilyum (Be)	1,85	120	64,9
Titanyum (Ti)	4,51	140	31,0
Nikel (Ni)	8,90	148	16,6
Bakır (Cu)	8,93	69	7,7
Tungsten (W)	19,25	550	28,6
Molibden (Mo)	10,22	345	33,8
Niobium (Nb)	8,57	105	12,3

Çizelge 1. Al'nın genel özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk, g/cm³	2,70[10]
Esneklik Modülü, GPa	68,9[8,11]
Mukavemet, MPa	290[8,11]
Akma Mukavemeti, MPa	30[10]
Spesifik Mukavemet, Nm/kg	11,1[10]
Isıl İletkenlik, W/m°C	221[8,11]
Isıl Genleşme Katsayısı ($x10^{-6}$ °C^{-1}) (25–100°C)	23,6[8,11]



Şekil 2. Yerkabuğunda bulunan elementlerin miktarları (8)

Genel olarak Al'nin sahip olduğu özellikler aşağıda sıralanmaktadır:

- Bol bulunur ve dolayısıyla göreceli olarak ucuz bir malzemedir.
- Oldukça hafif bir malzemedir.
- Yüksek spesifik mukavemete sahiptir.
- Çözelti sertleştirmesi ve yaşlandırma gibi mukavemeti arttırmaya yönelik işlemlerin uygulanmasına elverişlidir.
- Oldukça iyi ısıl ve elektriksel özelliklere sahiptir.
- Zehirli olmadığı için yiyeceklerin paketlenmesinde de kullanılmaktadır.
- Al genellikle yorulmada dayanım sınırı sergilemez, bu nedenle de kopma, oldukça düşük gerilmede meydana gelir.
- Ergime sıcaklığının düşük olmasından dolayı yüksek sıcaklıklardaki performansı iyi değildir.
- Düşük sertliğe sahip olmasından dolayı aşınma direnci de oldukça düşüktür.

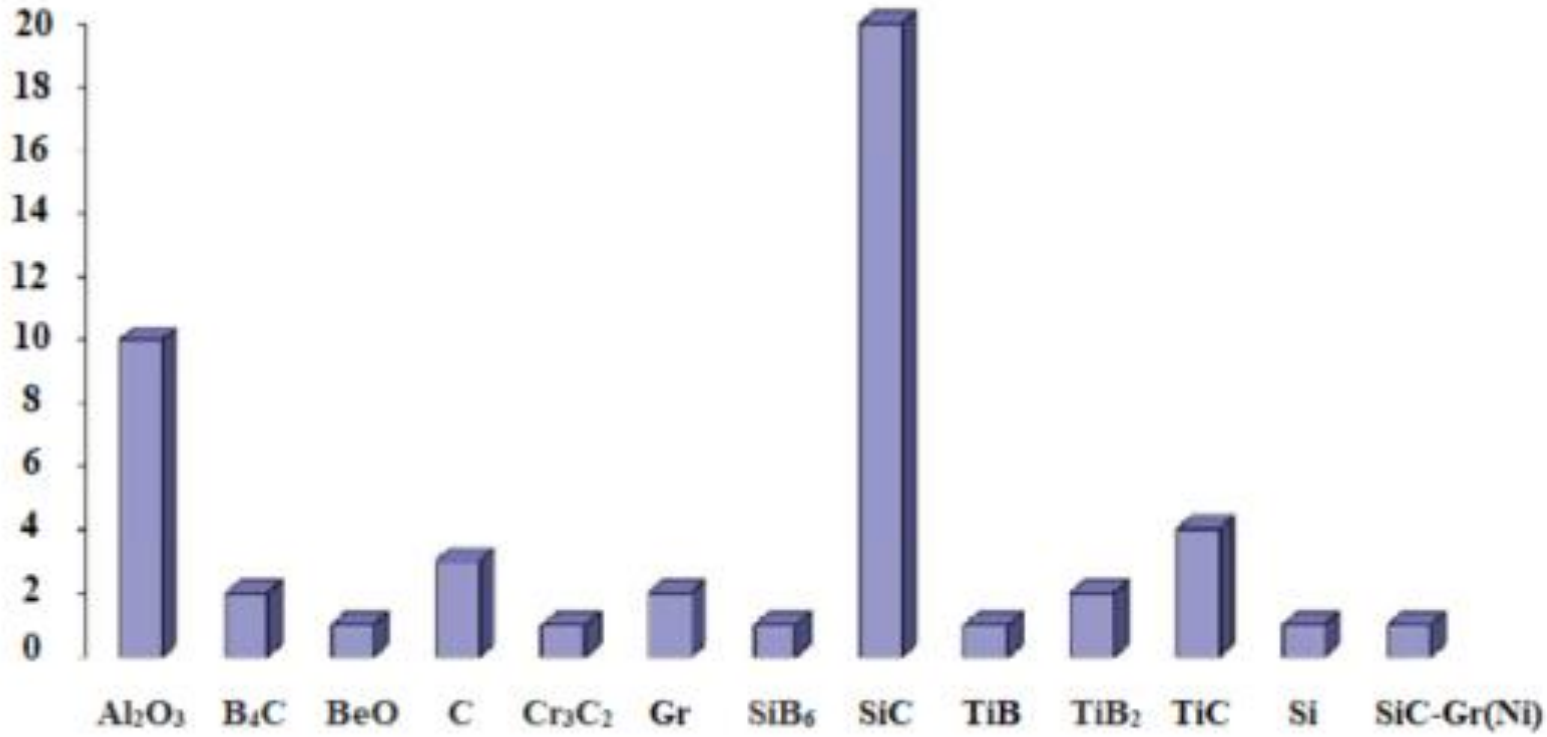
Metal Matrisli KompozitlerdeKullanılanTakviye Elemanları

- Kullanım yerine bağlı olarak metal matrisli bir kompozitte takviye elemanından beklenen temel özellikler; yüksek modül ve dayanım, düşük yoğunluk, matris ile kimyasal uyumluluk, üretim kolaylığı ve yüksek sıcaklıkta dayanımını muhafaza etmesidir.
- Metal matrisli kompozitlerde en çok kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, TiC, bor ve karbondur.
- Uygulamada mukavemetin yüksek olması gerektiği durumlarda kısa fiberlerli kompozitler kullanılır. Rijitlik ve mukavemetin en iyi kombinasyonu ise anizotropik özelliklere ve en önemlisi de yüksek maliyete sahip sürekli fiber katkılı metal matrisli kompozitler verir.

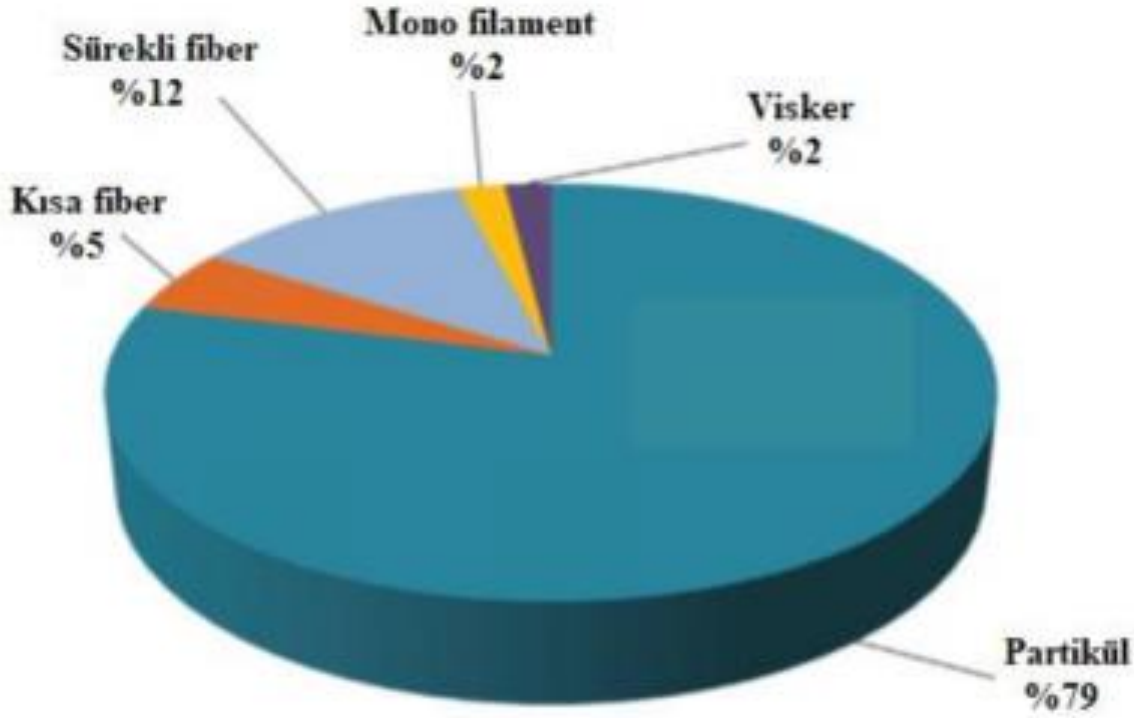
TAKVİYE ELEMANI – MATRİS ETKİLEŞİMİNİN ÖNEMİ

Takviye fazı ve matris alaşımı arasındaki arayüzey özellikleri, MMK'ların mekanik davranışlarında önemli bir etkiye sahiptir. MMK'ların yüksek esneklik modülü ve dayanıma sahip olması, uygulanan dış kuvvetlerin matris tarafından takviye fazına transferi ve dağılımı ile mümkün olacağından takviye fazı ile matris arasında güçlü bir arayüzey olması bu anlamda çokönemlidir.

Metalurjik açıdan ise takviye fazının, matris alaşımı tarafından yeterince ıslatılabilmesi, arayüzeyde çok düşük oranda ve hızlarda kimyasal tepkimelerin olması, fazlar arasında çok az veya hiç yayınım olmaması ve dolayısıyla takviye fazının bozunmaması çok önemlidir



Metal matrisli kompozit üretiminde endüstriyel firmalar tarafından kullanılan takviye malzemelerinin kullanım oranları (Kalemtaş, 2014).



Metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan takviye elemanı türlerinin oranları (Kalemtaş, 2014).

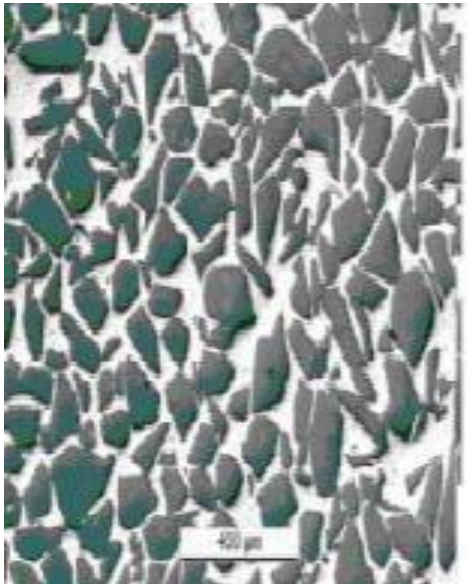
Çizelge 4. MMK'lerin üretiminde yaygın olarak kullanılan seramik takviye malzemelerinin yoğunluk, ergime sıcaklığı, sertlik ve güvenirlik modülü değerleri

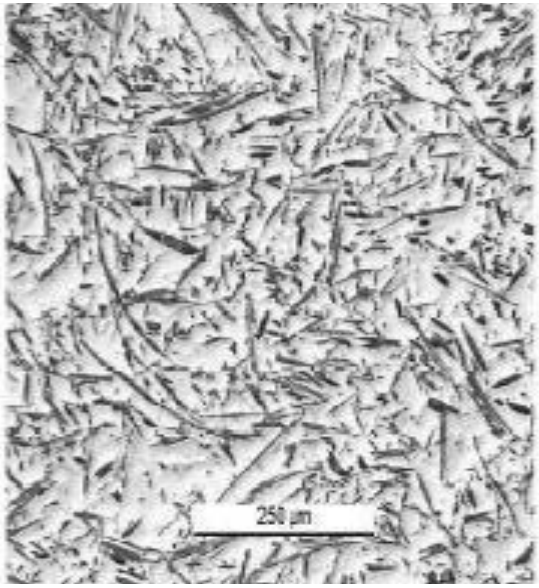
Malzeme	Esneklik Modülü GPa	Yığın Modülü GPa	Kayma Modülü GPa
AlN	330[28]	212[28]	133[28]
Si_3N_4	310[29]	152	120
SiC	460[28]	219[28]	200[28]
B_4C	450[28]	217[28]	195[28]
TiB_2	556[28]	233[28]	249[28]
Al_2O_3	435[30]	228	175[30]
WC	690[28]	386[28]	287[28]

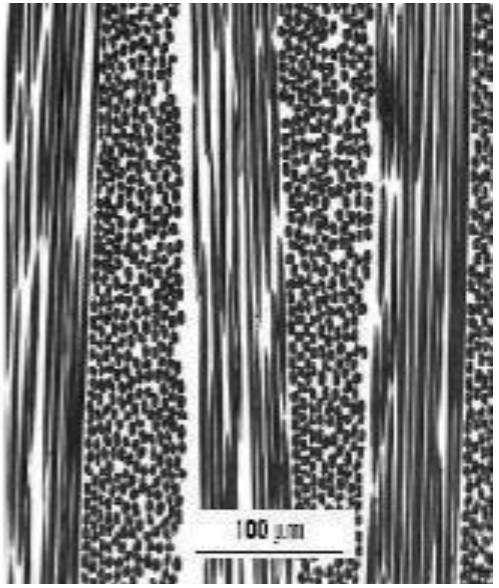
Çizelge 7. MMK'lerin üretiminde yaygın olarak kullanılan seramik takviye malzemelerinin alan yazından derlenen eğme, basma ve çekme mukavemeti ile kırılma tokluğu değerleri

Malzeme	Eğme Mukavemeti MPa	Basma Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa	Kırılma Tokluğu MPa
AlN	310[28]	1500–4000[37]	390	3,70[28]
Si_3N_4	490–980[32]	3000[35]	550	5,60[29]
SiC	580[28]	588–4116[32]	200	2,80[28]
B_4C	310[28]	2600	650	3,00[28]
TiB_2	277[28]	2400[35]		2,70[34]
Al_2O_3	294–392[32]	2000[30]	248	2,80 – 4,50[30]
WC	1000[28]	4100–5850[38]		7,00[28]

METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER (MMK)







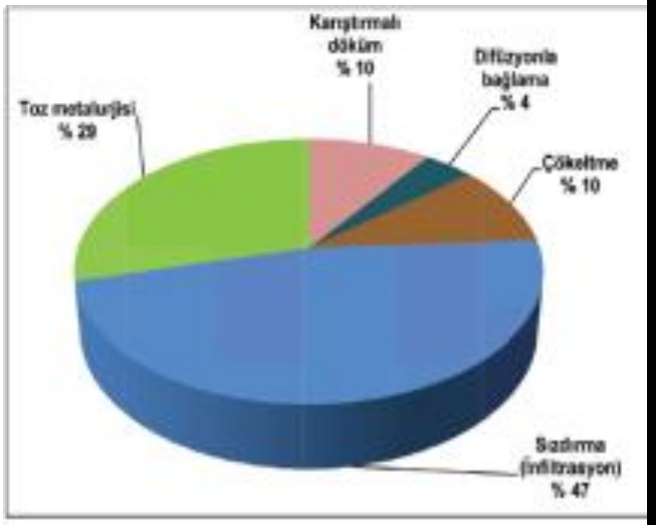
Partikül Takviyeli Kısa Fiber Takviyeli Sürekli Fiber Takviyeli

MMK'ların Üretim Yöntemleri

MMK üretim yönteminin seçiminde, üretilecek olan kompozit malzemeden beklenen özelikler dikkate alınarak üretim yöntemi belirlenir. MMK üretiminde dikkate alınan en önemli özellikler aşağıda sıralanmaktadır:

- Elde edilecek üründen istenen boyutsal özellikler,
- Kullanım sıcaklık aralığı,
- Takviye malzemesinin şekli,
- Matris malzemesi ile takviye malzemesinin uyumu,
- Matris ve takviye malzemelerinin ek işlem gereksinimi,
- Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasında olası olan tepkimeler,
- Takviyenin matris malzemesi içerisinde eş dağılımlı olması,
- Matris-takviye arayüzey bağlanmasının tam olarak sağlanabilmesi.

Yöntem	Maliyet	Uygulama	Açıklama
Difüzyonla bağlama	Yüksek	Levha, kanat, mil ve yapısal elemanlar	Matris için levha ve takviye fazı için filaman kullanımı
Toz Metalürjisi	Orta	Küçük dairesel elemanlar, cıvata, piston, valf ve yüksek mukavemetli ısıya dayanıklı malzemeler	Matris ve takviye formları toz halinde ve partikül takviyesi için uygundur. Erginse olmadığından tepkime bölgesi yoktur ve karma yapılı malzemenin mukavemeti yüksektir.
Sıvı metal sızdırma(infiltrasyon)	Düşük-Orta	Rot, tüp ve özelliklerin tek eksende maksimum olduğu bağlantı elemanları	Filaman takviyeler kullanılmaktadır.
Sıkıştırmalı (Basınçlı) döküm	Orta	Piston bağlantı rotları, külbütör kolu, silindir başı gibi otomotiv parçaları	Her tür takviye formu için uygundur ve üretim yelpazesi geniştir.
Püskürtme	Orta	Sürtünme malzemeleri, motor fırçaları, kesme ve taşlama elemanları	Partikül takviyeler kullanılmaktadır. Yüksek yoğunlukta malzemeler üretilebilmektedir.
Kompo-döküm	Düşük	Otomotiv, uzay, endüstriyel ekipman ve spor malzemeleri ile yatak malzemeleri	Özellikle partikül takviyeler ve süreksiz fiberler takviye formu olarak kullanılır.



Endüstriyel firmaların tercih ettiği MMK üretim yöntemlerinin oranları

Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

•Metal matrisli bir kompozit malzemenin üretim tekniği; üretilecek parçanın şekline, istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere, matrise, takviye elemanı şekli ve türüne göre belirlenir.

A) Katı Faz Üretim Yöntemleri

- Toz Metalurjisi Teknikleri
- Difüzyon Bağı Yöntemi

B) Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

- Sıvı Metal İnfiltrasyon
- Sıkıştırma Döküm
- Sıvı Metal Karıştırma
- Plazma Püskürtme

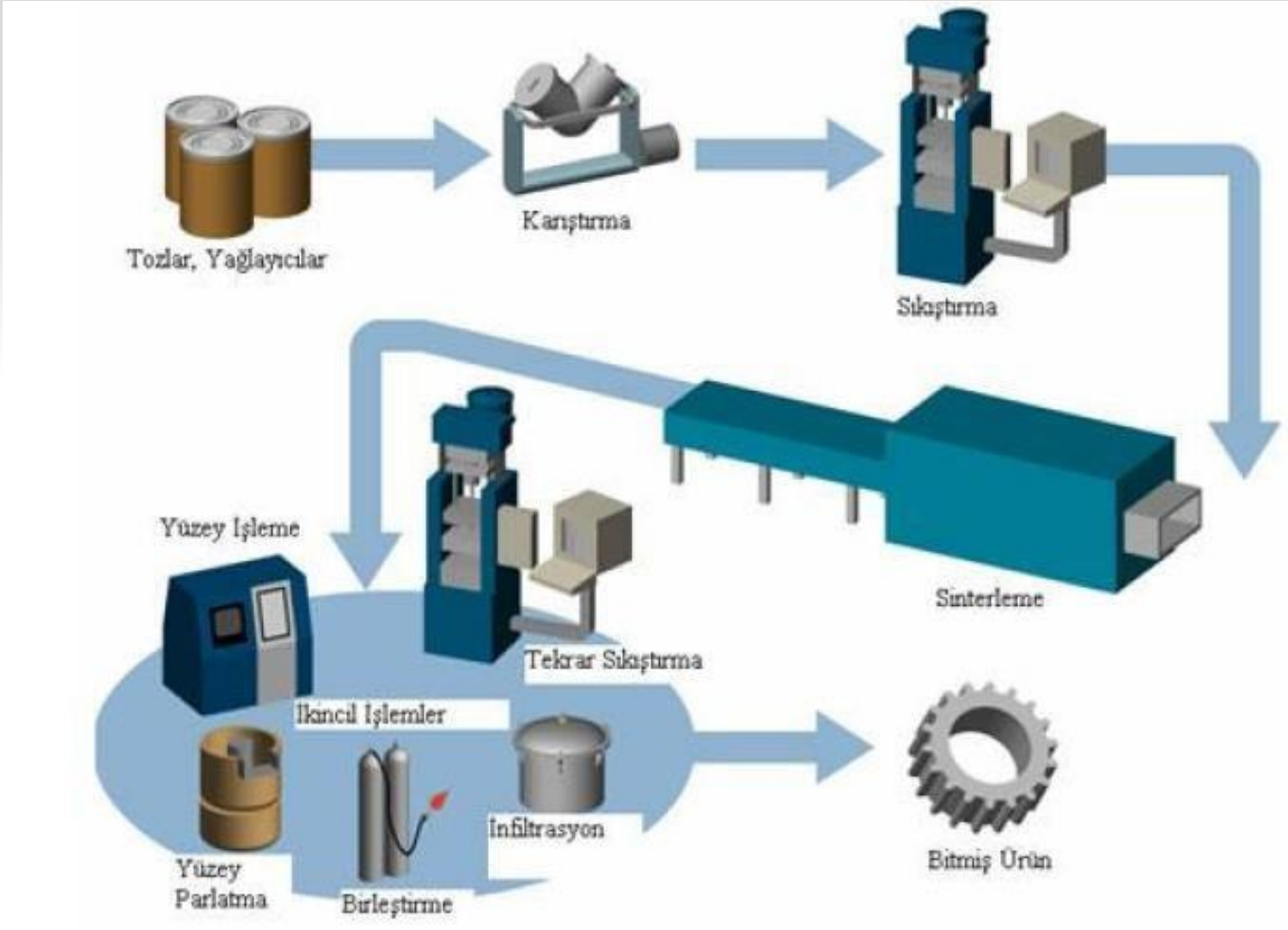
Katı Faz Üretim Yöntemleri

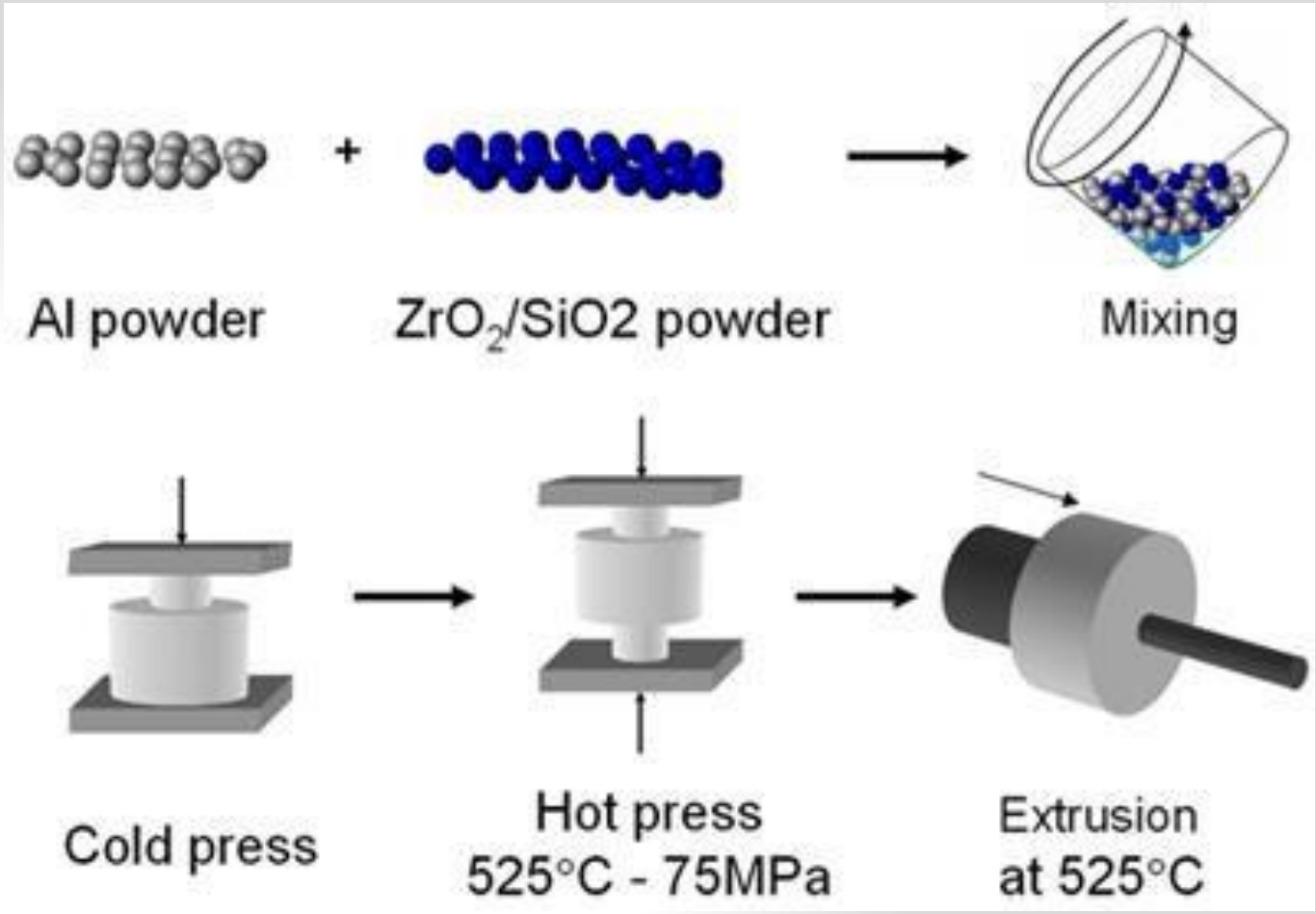
Toz Metalurjisi

Bu teknikte genel olarak partikül formunda takviye elemanları ile toz haldeki metal kullanılarak, metal matrisli kompozit malzeme oluşturulur.

Yaygın kullanılan takviye elemanları silisyum karbür, grafit, titanyum karbür, en çok kullanılan matris malzemeleri ise alüminyum, titanyum ve bakırdır

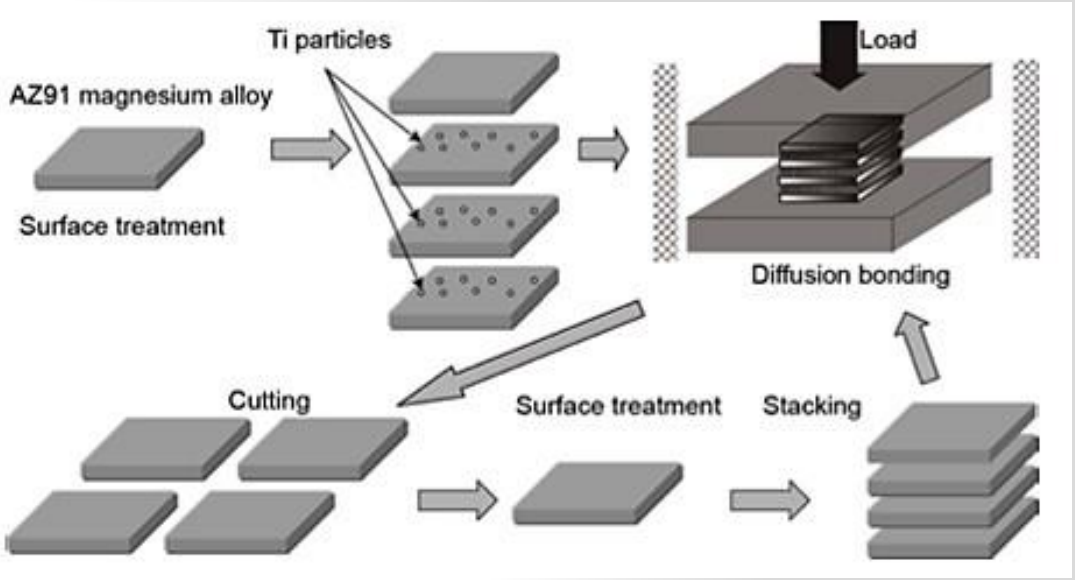
- Toz metalurjisi (T/M) ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelerin üretimi daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Bunun sonucunda matris ve takviye elemanı arasında daha az etkileşim olmaktadır.
- Takviye elemanının matris içinde homojen dağılımının sağlanabilmesi ancak T/M yöntemiyle gerçekleştirilebilmektedir.
- Yüksek takviye hacim oranının elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bundan dolayı da yüksek modüllü, düşük termal genleşme katsayısına sahip kompozitler üretilebilmektedir.


Tozlar, Yağlayıcılar
Karıştırma
Sıkıştırma
Sinterleme
Yüzey İşleme
Tekrar Sıkıştırma
İkincil İşlemler
İnfiltrasyon
Yüzey Parlatma
Birleştirme
Bitmiş Ürün


+
Al powder
ZrO2/SiO2 powder
Mixing
Cold press
Hot press
525°C - 75MPa
Extrusion
at 525°C

Difüzyon Bağı Yöntemi

Difüzyon bağı yönteminde, takviye elemanları metal folyolar üzerine istenilen açıda ve miktarda yerleştirilebilmekte ve bu işlemler tamamlandıktan sonra ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklık altında basılarak veya haddelenerek matris ile takviye arasında bir bağ oluşturulmak suretiyle kompozit malzeme üretilmektedir.
Ancak yöntem oldukça pahalı bir yöntem olup sınırlı malzeme formu ve çeşidi ile gerçekleştirilmektedir.



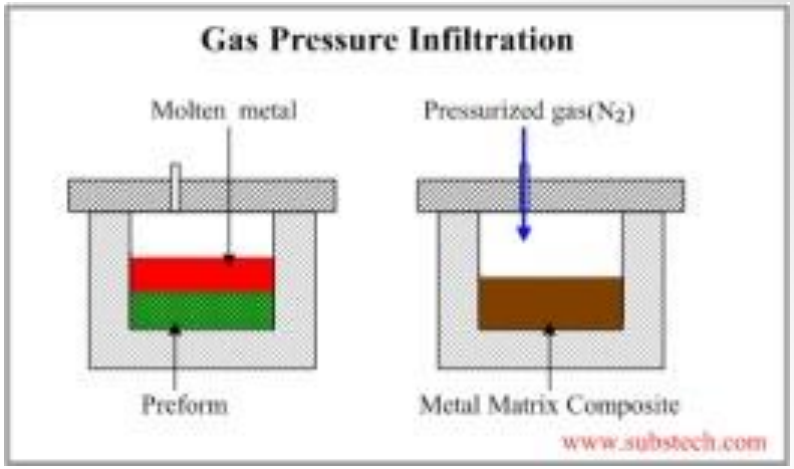
Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

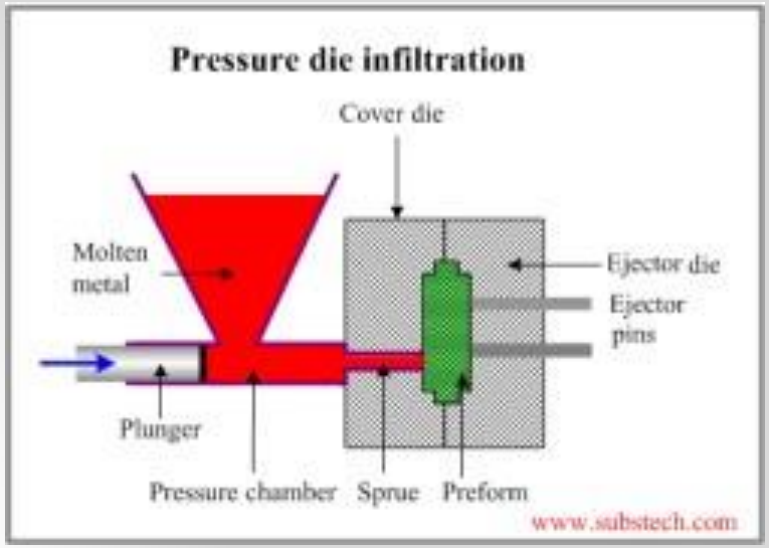
Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi

İlk işlem olarak istenilen profilde ön şekillendirme yapılmakta, fiberlerin yönlendirilmesi ve hacimsel oranı bu aşamada ayarlanmaktadır.

Ön şekiller kalıba bir bağlayıcı ile tutturulduktan sonra kalıp içerisine ergimiş metal emdirilmekte ve katılaşmaya bırakılmaktadır.

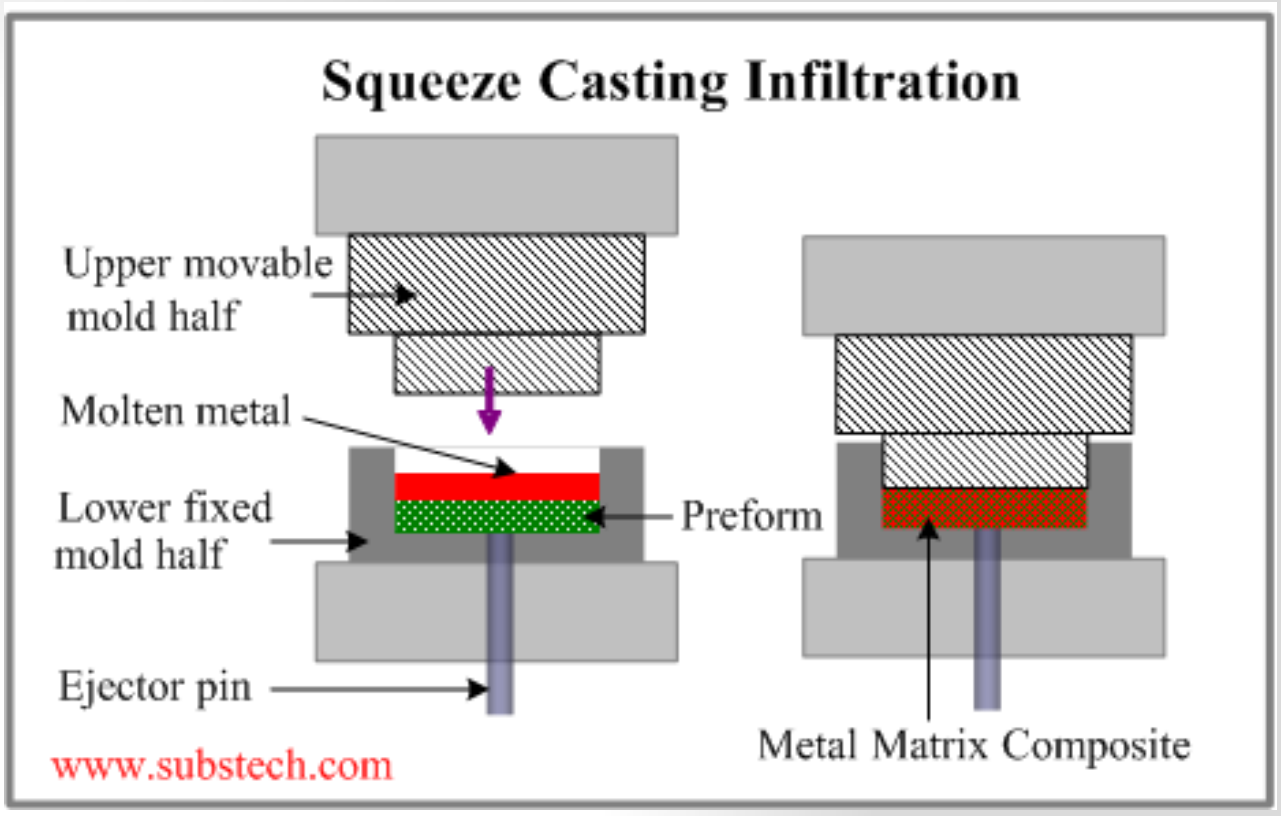
Hızlı ve yüksek üretim kapasitesine sahip olması ve son ürün şekline yakın üretim imkanı sağlaması gibi avantajları nedeniyle bu teknik, metal matrisli kompozit malzeme üretiminde önemli bir yer edinmiştir.





Sıkıştırma Döküm Yöntemi

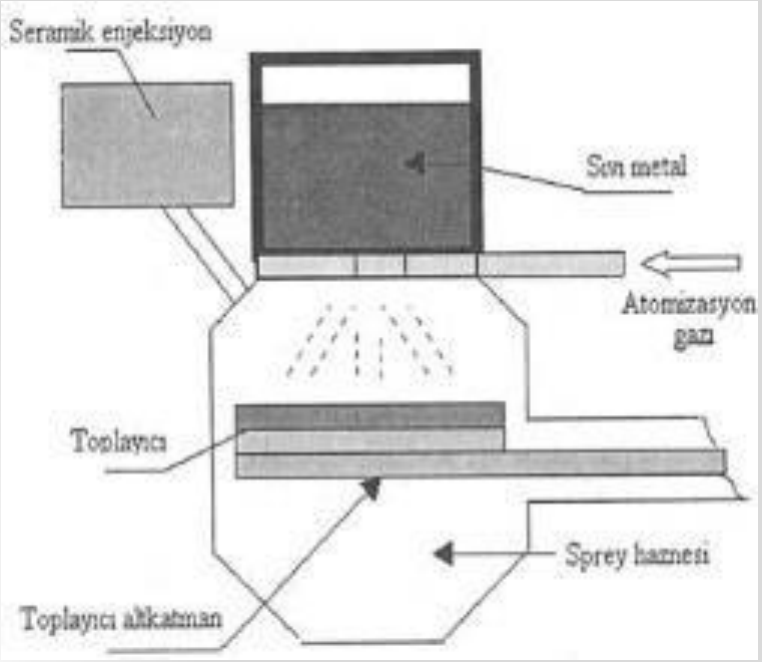
Sıkıştırma döküm yöntemi; metal bir kalıp içerisine yerleştirilen, ön ısıtma yapılmış, seramik fiber veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekle, kuvvet yardımıyla ergiyik metalin emdirilmesi ve böylece sıkıştırılan ergiyik metale yüksek basınç uygulanarak katılaştırılması işlemidir.



Plazma Püskürtme (Metal Püskürtme) Yöntemi

Özellikle parçacık takviyeli MMK malzemelerin üretiminde kabul görmüş bir yöntemdir. Plazma püskürtme, atomize edilmiş ergimiş metal parçacıklarının takviye elemanları üzerine istenilen kalınlıkta püskürtülmesi işlemidir.

Püskürtülen ergiyik metal parçacıkları, takviye elemanlarına yapışmakta ve hızla katılaşmaya başlamaktadır. Bu tip üretim yöntemi alüminyum gibi ergime sıcaklığı düşük olan metallerde uygulanır.



Sıvı Metal Karıştırma Teknikleri

Sıvı metal karıştırma tekniklerinde, ön ısıtma yapılmış veya ön işlemlerden geçerek hazırlanmış takviye malzemeleri, sürekli karıştırılan ergimiş metal içerisine değişik yöntemlerle katılmakta ve daha sonra döküm işlemi yapılmaktadır.

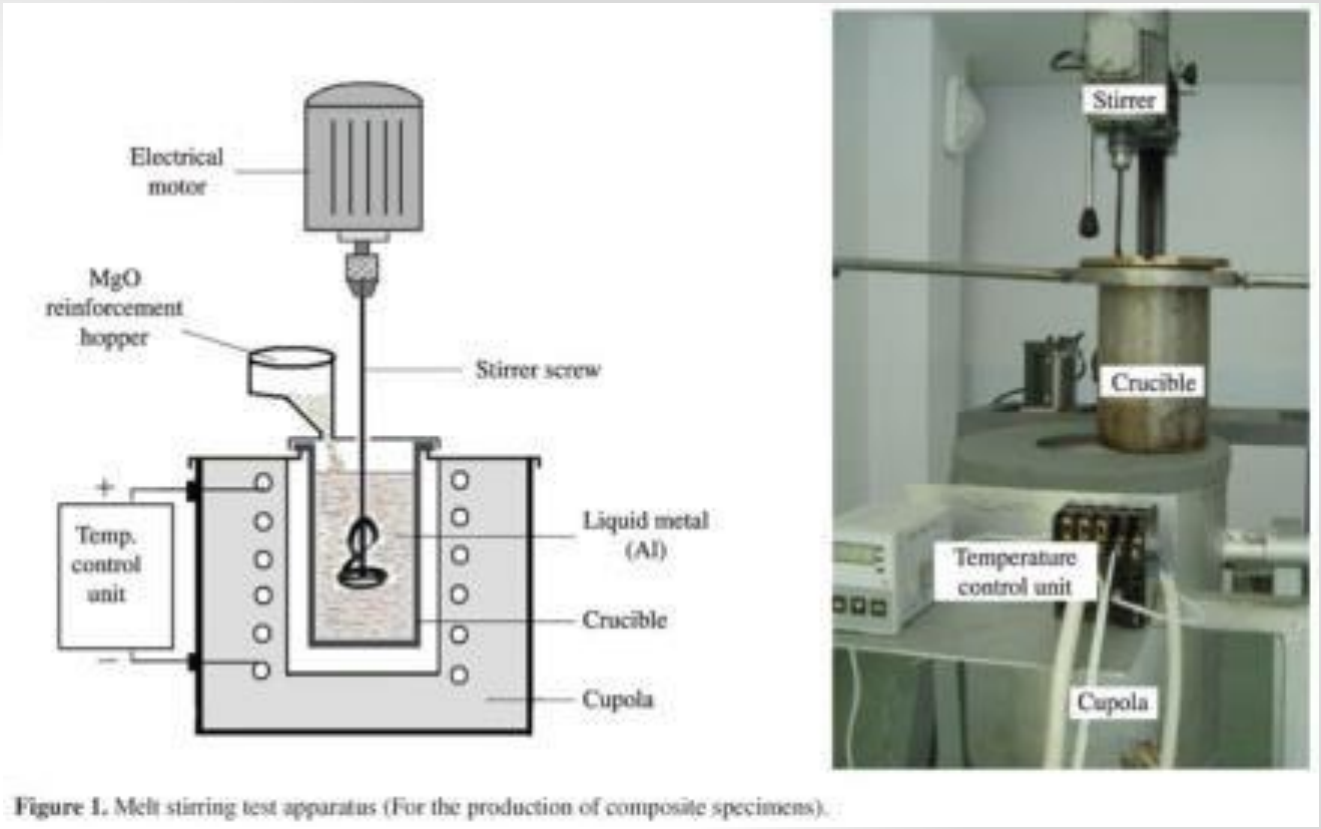
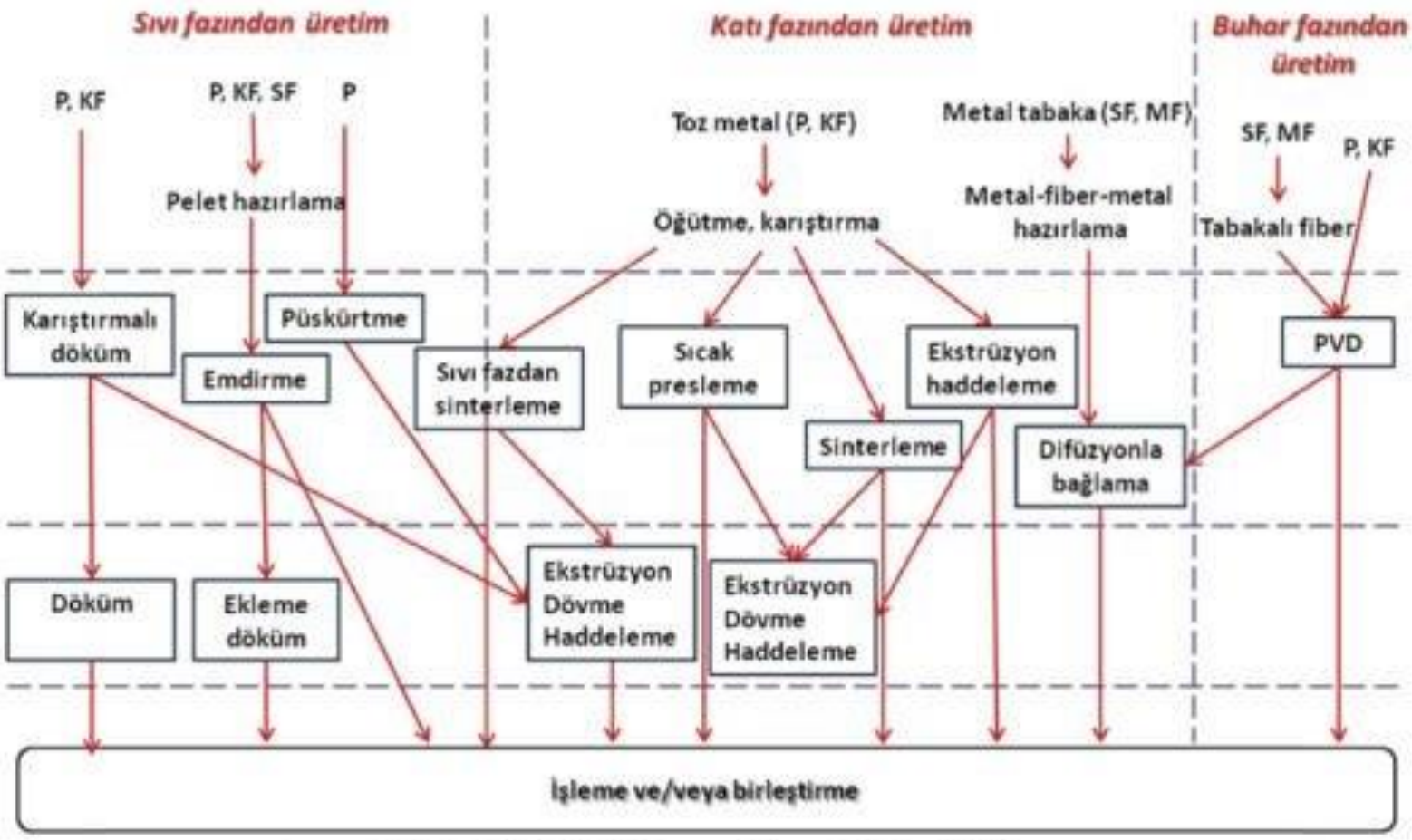
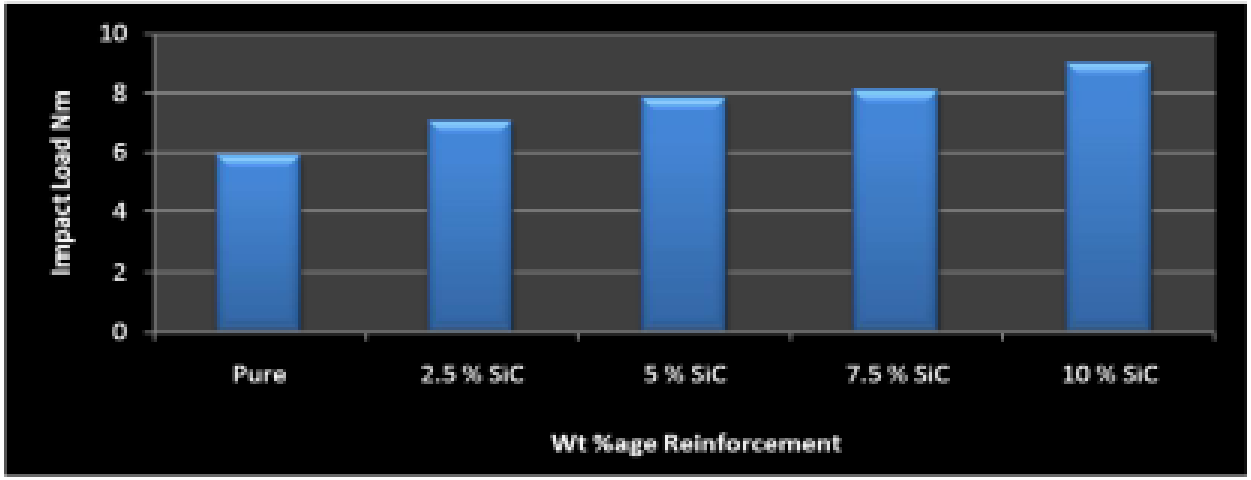


Figure 1. Melt stirring test apparatus (For the production of composite specimens).

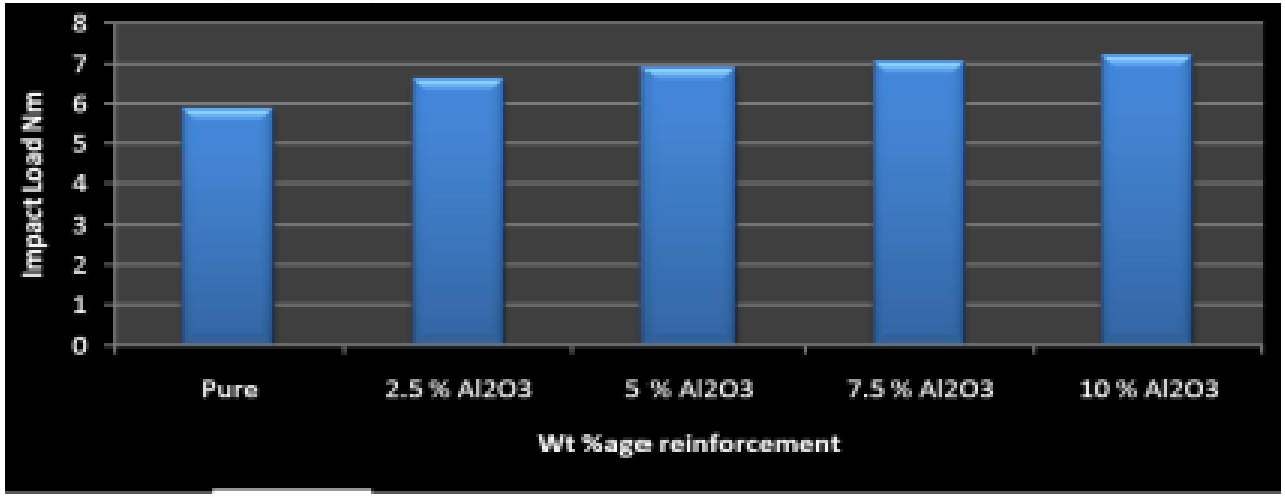


P : partikül takviyeli MMK, MF : monofilament takviyeli MMK
KS : kısa fiber takviyeli MMK, SF : sürekli fiber takviyeli MMK

Al-SiC, Al-Al2O3 Kompozitleri



Comparison of Impact Strength with %age variation of SiC



Comparison of Impact Strength with %age variation of Al_2O_3

Al-SiC, Al-Al2O3 Kompozitleri

Results of hardness Test

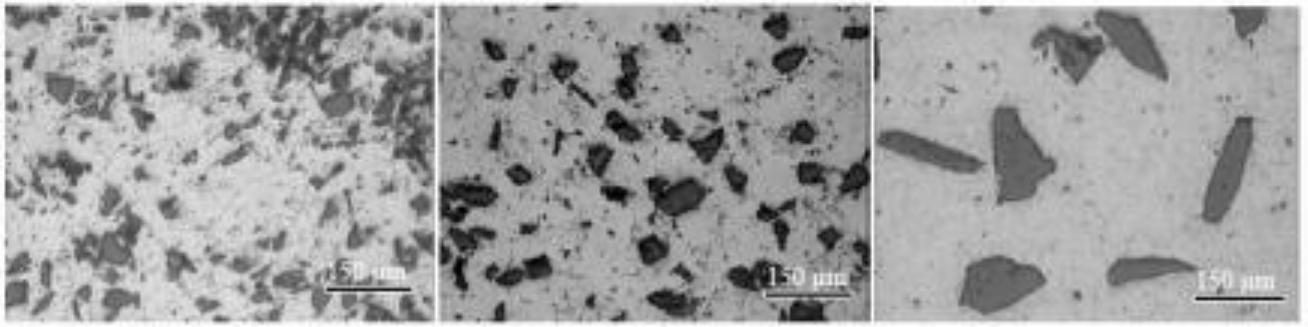
Sample No	Sample Name	Hardness Rockwell Hardness				Mean Hardness
	LM 6 +	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	
1	Pure	53.7	52.7	54.5	51.9	53.2
2	2.5 % SiC	56.7	59.5	56.1	60.1	58.1
3	5 % SiC	50	48	53	51	51.0
4	7.5 % SiC	86.3	89.3	85.8	89.8	87.8
5	10 % SiC	91.2	90.7	91.7	91.3	91.2
6	2.5 % Al_2O_3	76.5	74.3	75.2	75.6	75.4
7	5 % Al_2O_3	85.2	83.2	86.6	86.6	85.4
8	7.5 % Al_2O_3	89.9	89.4	91.6	87.6	89.6
9	10 % Al_2O_3	91.6	98.8	92.5	101.3	95.8

Al-SiC, Al-Al2O3 Kompozitleri

Tensile Strength Results

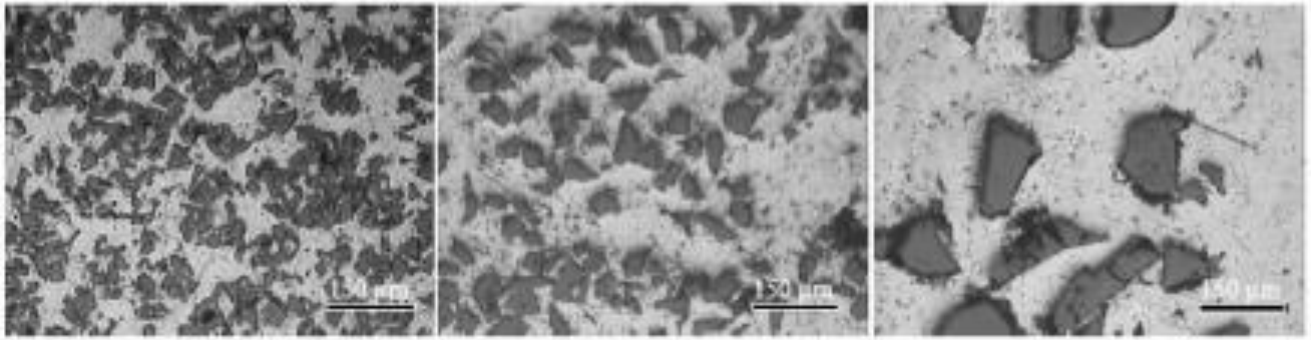
Alloy (LM6)	Yield Strength N/mm^2	UTS N/mm^2	Elongation (%)
Pure	65	180	9
2.5% SiC	78	220	7.5
5% SiC	85	245	5.5
7.5% SiC	112	250	3.2
10% SiC	150	310	2.1
2.5 % Al_2O_3	75	190	8.1
5 % Al_2O_3	88	201	6.5
7.5 % Al_2O_3	105	250	3.9
10 % Al_2O_3	140	290	2.8

Al-SiC Kompozitleri



%10 (29 µm) %10 (45 µm) %10 (110 µm)

a)



%20 (29 µm) %20 (45 µm) %20 (110 µm)

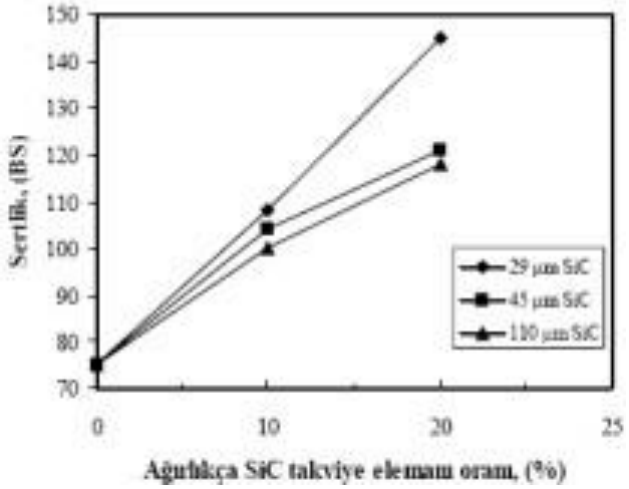
b)

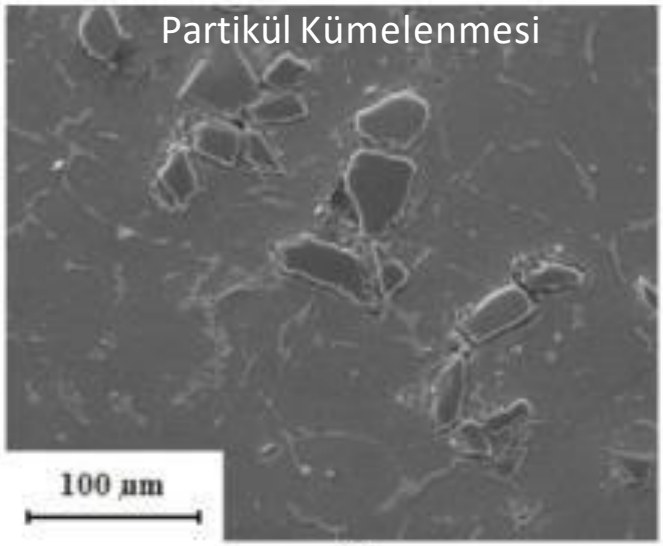
Üretimleri gerçekleştirilen MMK'ların 100X büyütmede çekilmiş optik mikroskop mikroyapı fotoğrafları, a) ağırlıkça %10 SiC içerikli MMK'lar, b) ağırlıkça %20 SiC içerikli MMK'lar

Partikül Kümelenmesi

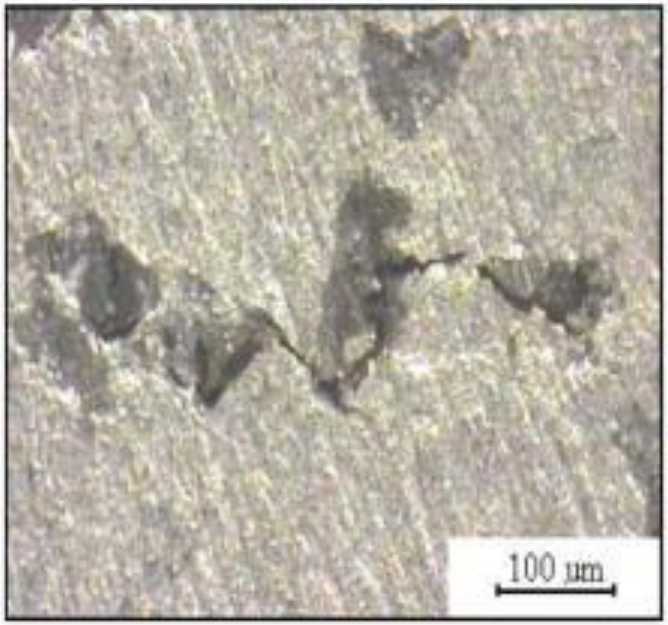
Çizelge 2. 2014 alüminyum alaşımı ile MMK malzemelerin takviye ağırlık oranları ve sertlik değerleri

Malzeme	% SiC (Ağırlıkça)	Sertlik Değeri (BS)
2014 matriks	0	75
2014 + 29 µm SiC	%10	108
2014 + 29 µm SiC	%20	145
2014 + 45 µm SiC	%10	104
2014 + 45 µm SiC	%20	121
2014 + 110 µm SiC	%10	100
2014 + 110 µm SiC	%20	118

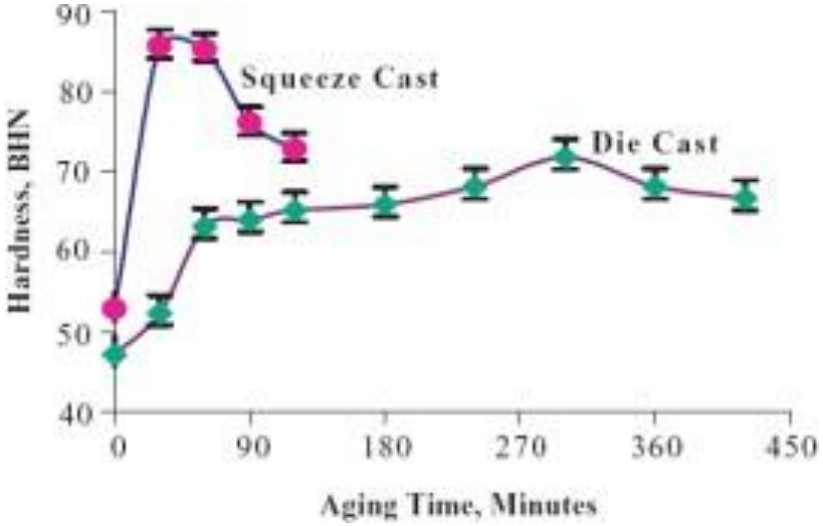


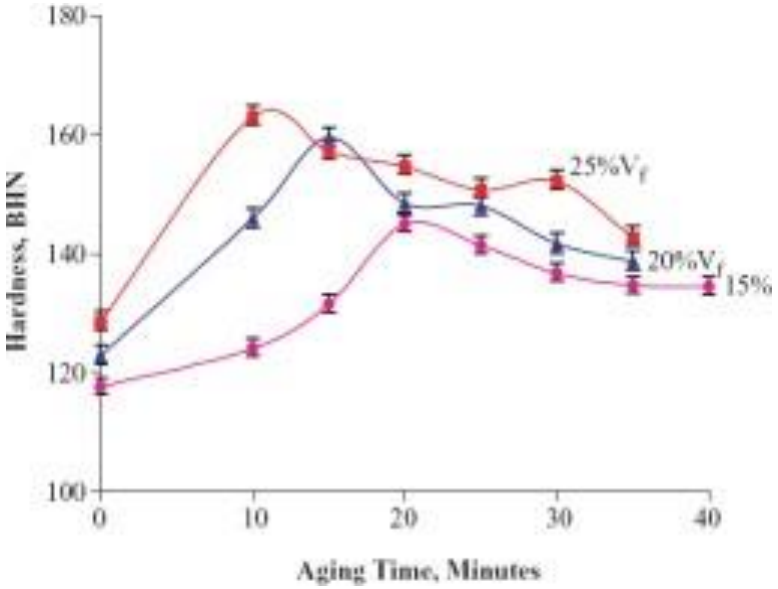


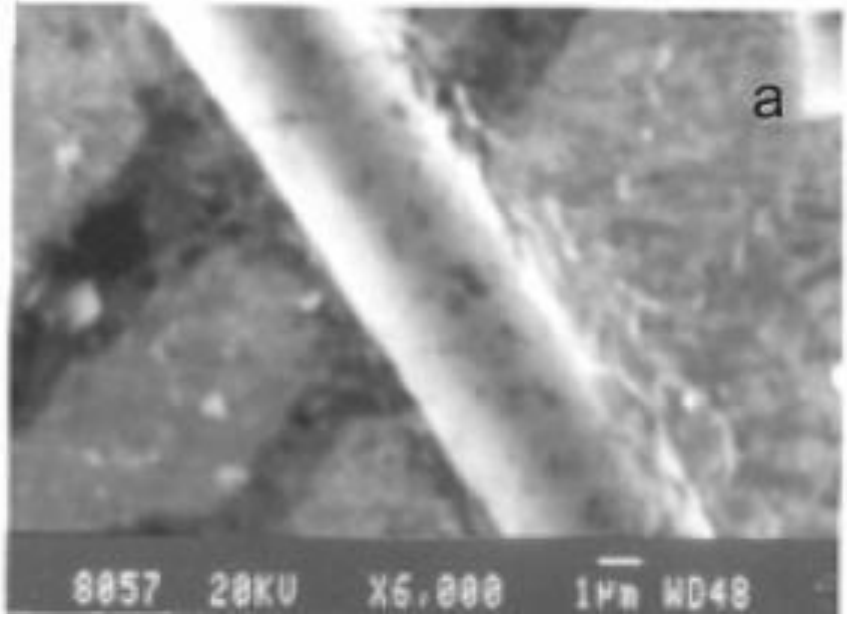
b)

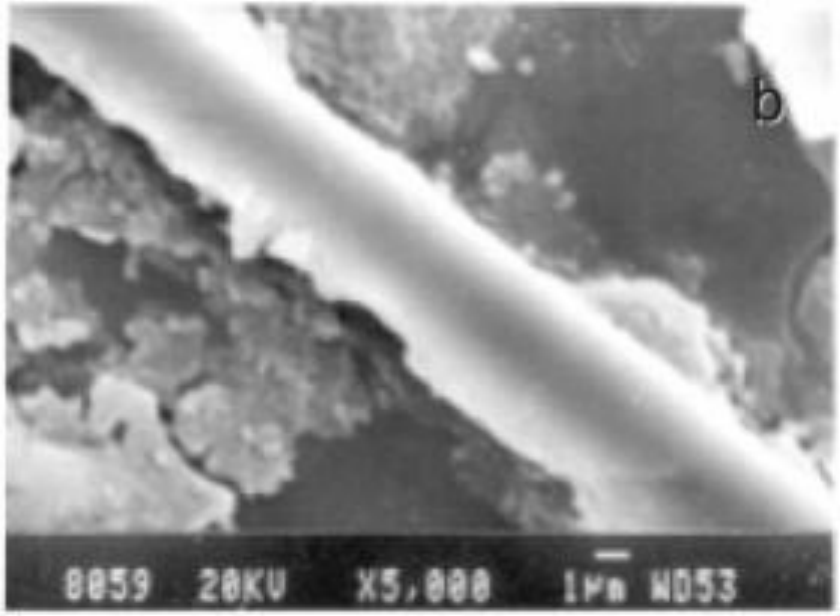


Yöntem Etkisi









Partikül Bouyutu sıcaklık ve süre etkisi

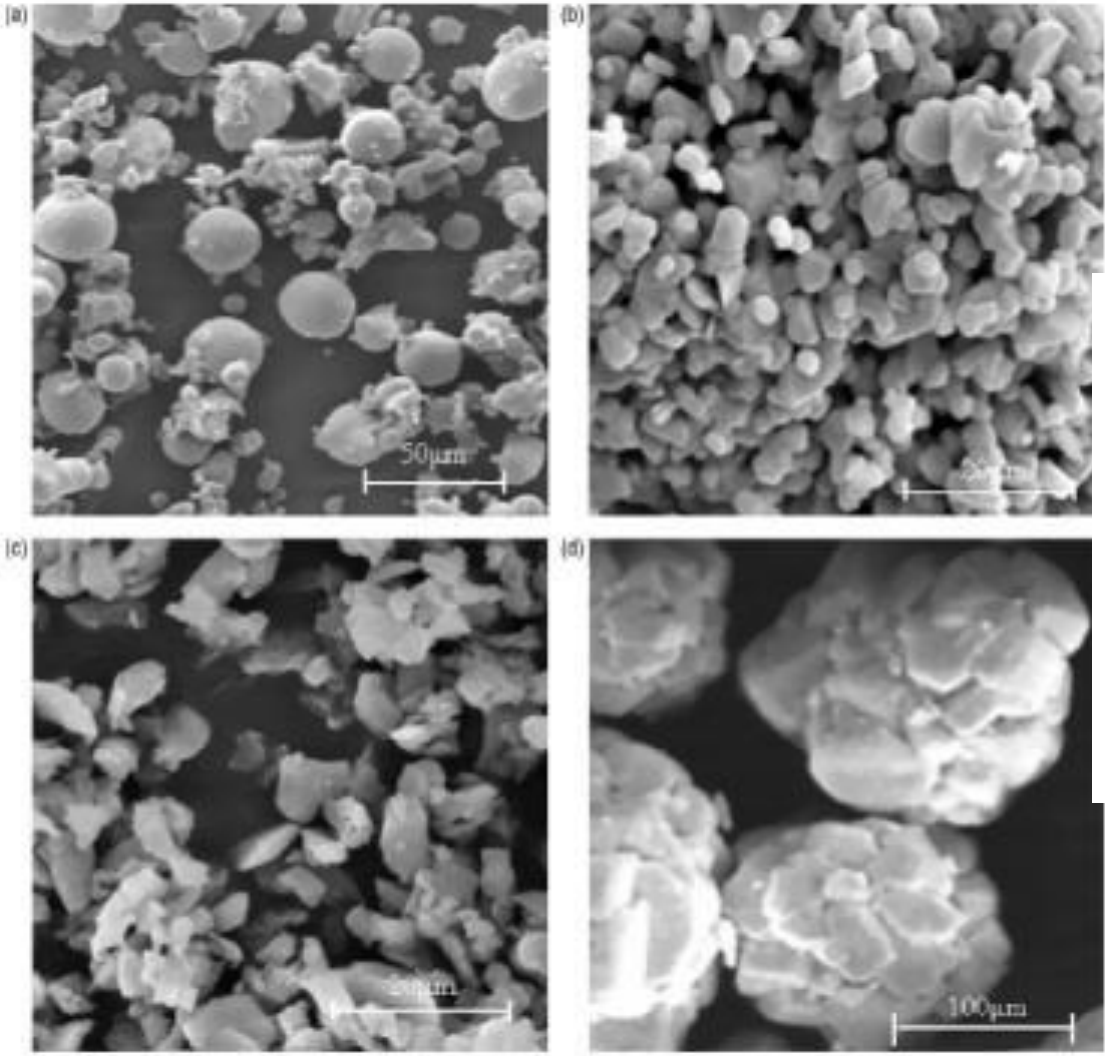
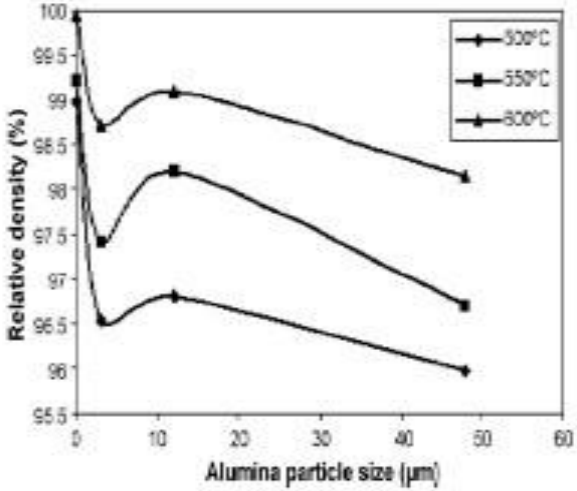


Fig. 1. SEM micrographs of Al and Al_2O_3 powders (a) Al, (b) Al_2O_3 – 3 μm, (c) Al_2O_3 – 12 μm and (d) Al_2O_3 – 48 μm.



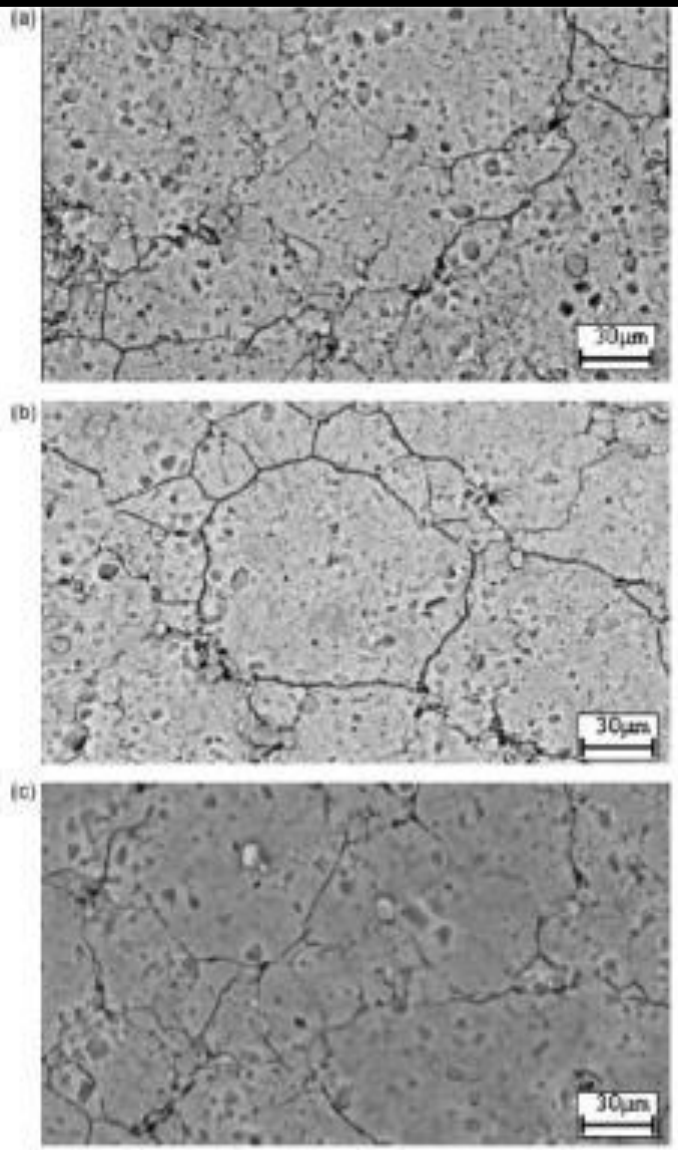


Fig. 4. The effect of sintering time on microstructure of composites at 600 °C (a) 45, (b) 60 and (c) 90 min.

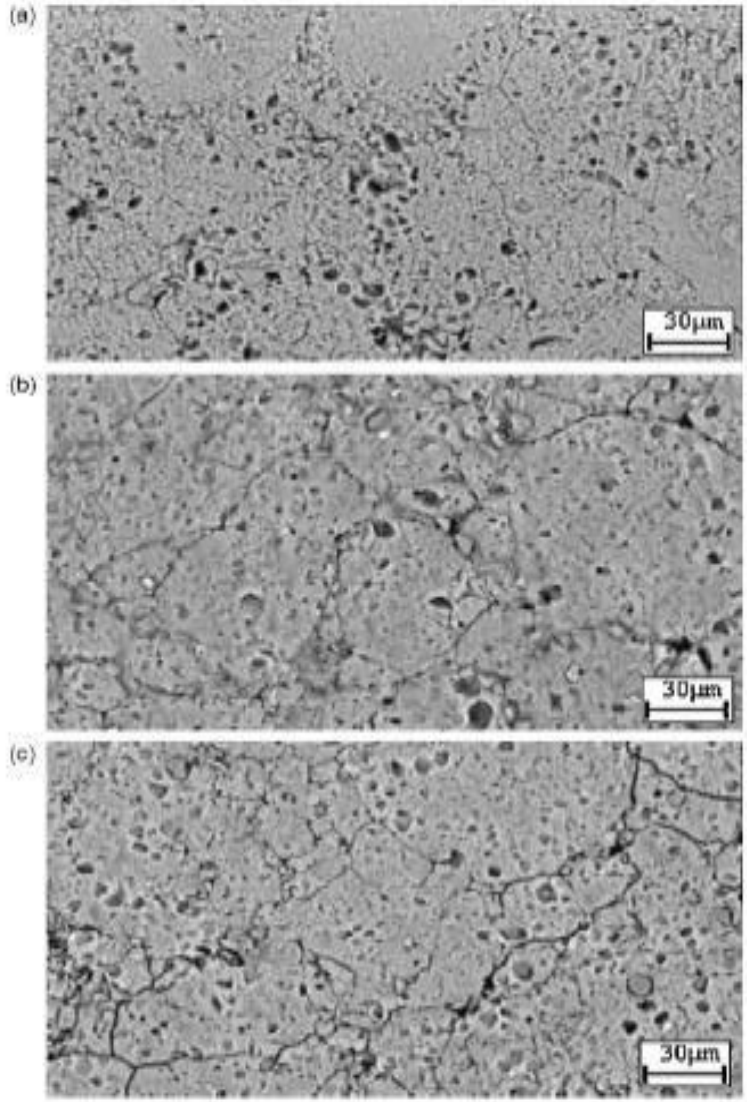
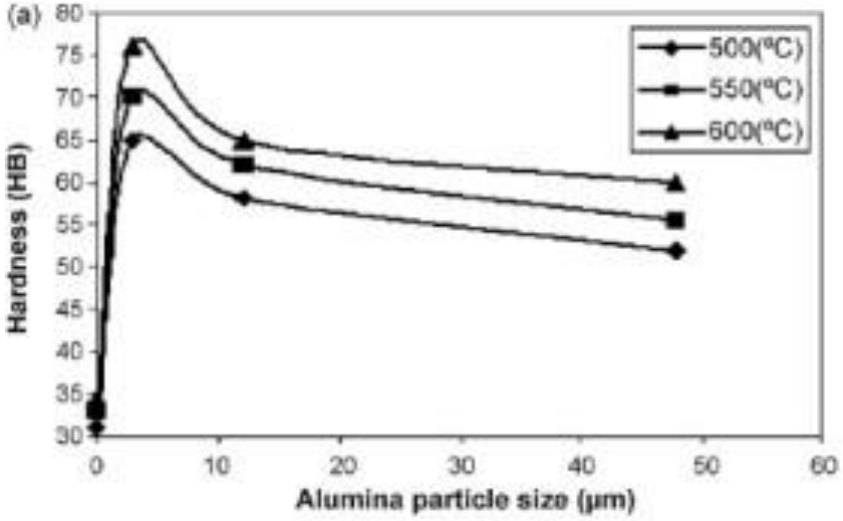
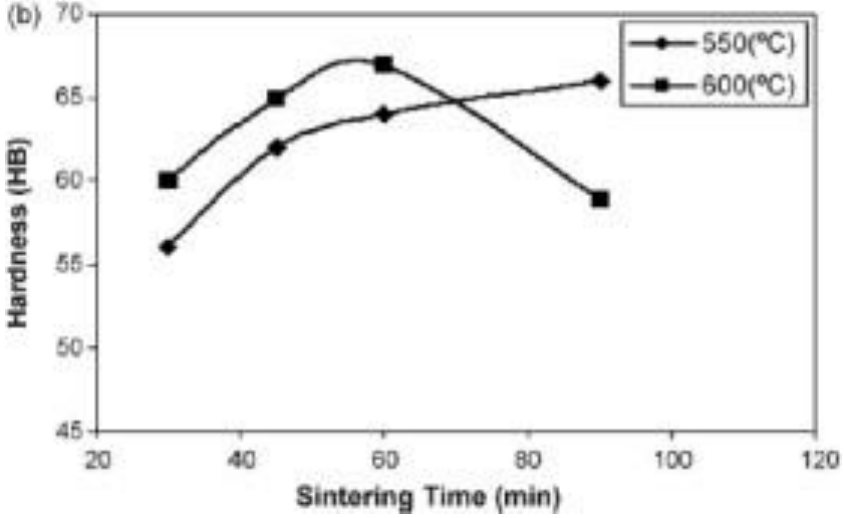
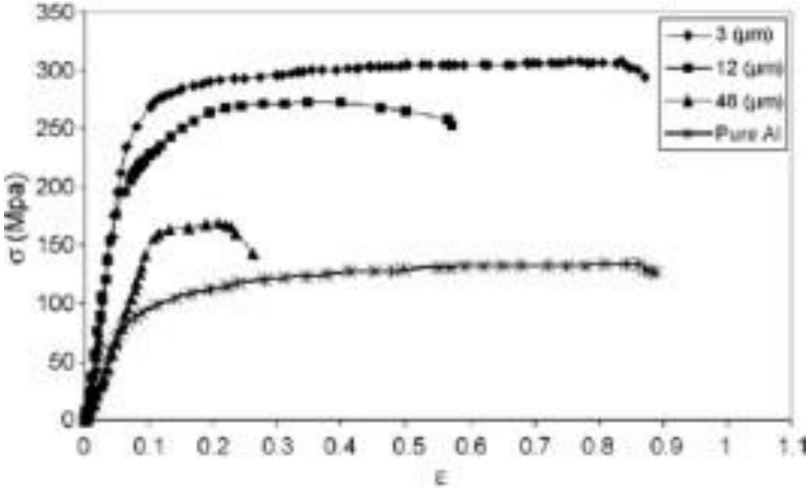
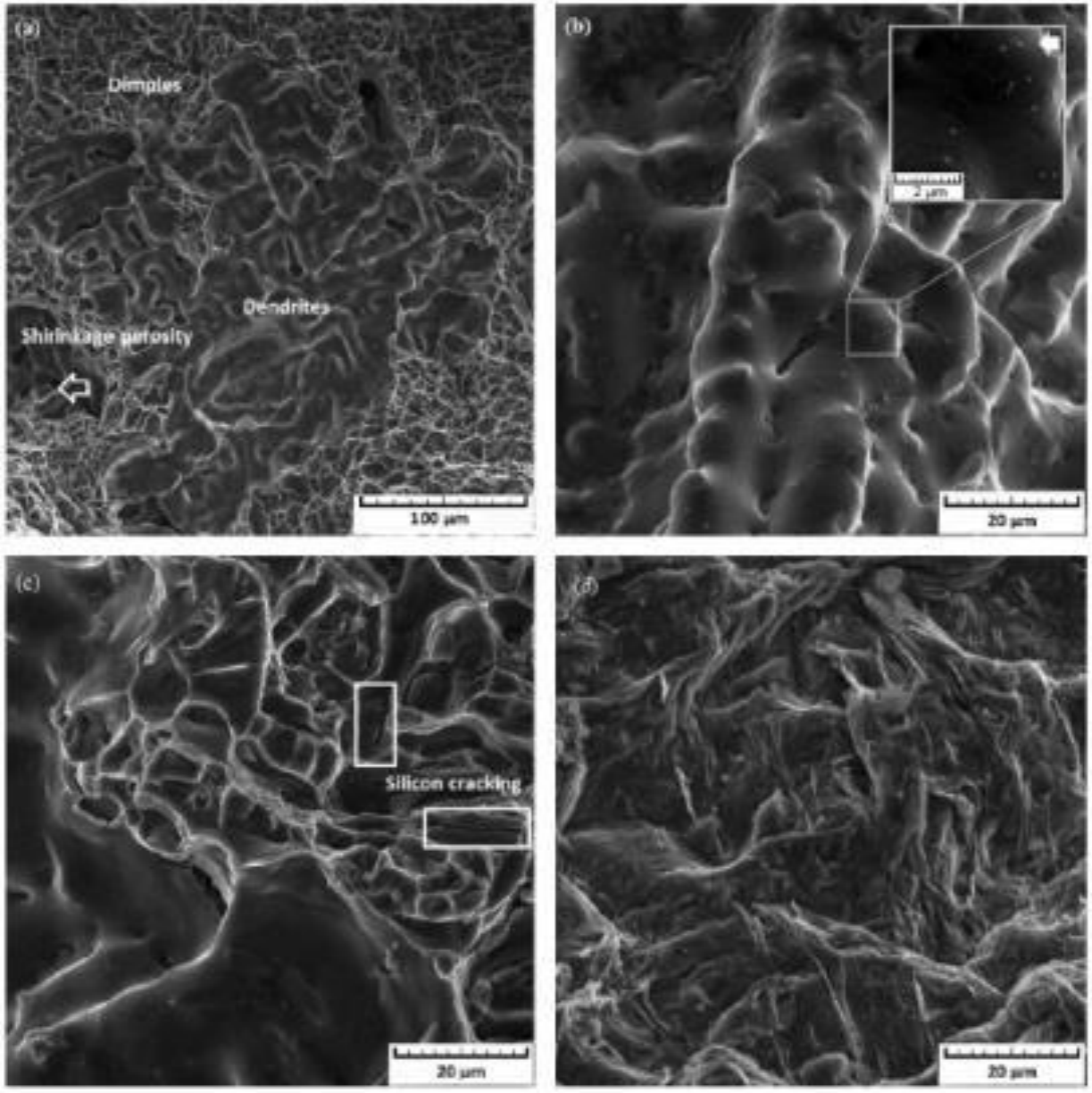


Fig. 5. The effect of sintering temperature on microstructure of composites after sintering for 45 min (a) 500, (b) 550 and (c) 600 °C.


(a)
Hardness (HB)
Alumina particle size (μm)
500(°C)
550(°C)
600(°C)


(b)
Hardness (HB)
Sintering Time (min)
550(°C)
600(°C)


σ (Mpa)
ε
3 (μm)
12 (μm)
48 (μm)
Pure Al


(a)
Dimples
Dendrites
Shrinkage porosity
100 μm
(b)
2 μm
20 μm
(c)
Silicon cracking
20 μm
(d)
20 μm



SiC partikül takviyeli Al metalmatrisli kompozit silindir gömleği



Grafit ve alümina takviyeli MMK motor bloğu



Titanyum matrisli F-16 iniş takımları



Partikül takviyeli MMK kompozit fren elemanları