

T. C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının
Kesme Mukavemetinin İncelenmesi

Mak. Müh. Anıl ŞAHİN

Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nilhan Ürkmez TAŞKIN
İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN

2011
EDİRNE

T. C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Tek Bindirmeli Yapıştırma Bağlantılarının
Kesme Mukavemetinin İncelenmesi

Mak. Müh. Anıl ŞAHİN

Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nilhan Ürkmez TAŞKIN

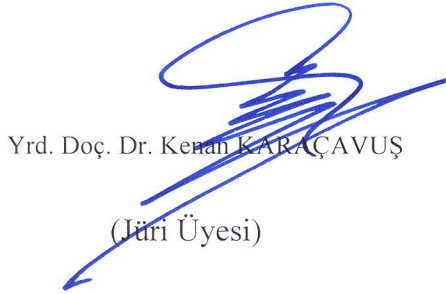
İkinci Danışman: Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN

Bu tez 19.01.2011 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Nilhan Ürkmez TAŞKIN

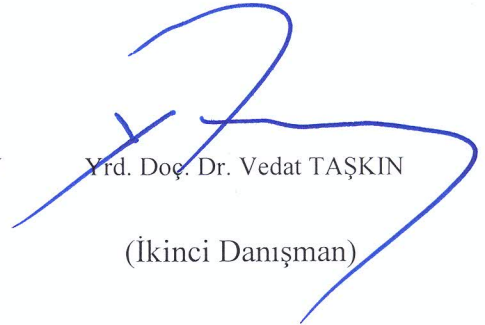
(Danışman)



Yrd. Doç. Dr. Kenan KARAÇAVUŞ
(Jüri Üyesi)



Doç. Dr. Metin AYDOĞDU
(Jüri Üyesi)



Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN
(İkinci Danışman)

ÖZET

Bu çalışmada, kompozit köpük malzemelerin yapıştırma bağlantıları incelenmiştir. Bağlantı tipi olarak tek taraflı bindirme bağlantısı, bağlayıcı olarak ta metakrilat esaslı yapısal yapıştırıcı seçilmiştir. Kompozit köpükler, kompozit köpükler ve alüminyum plakalar ile birleştirilmiş, 200 °C sıcaklıkta 15, 30, 45, 60 dakika bekletilmişlerdir. Bağlantı mukavemetleri kesme yükleri altında test edilmiş; metal köpüklerin, metal köpükler ve alüminyum plakalar ile yapıştırma bağlantılarında yeterli bağlantı dayanımının sağlanabileceği görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda alüminyum köpük malzemenin alüminyum plakalar ile bağlanabilme yeteneğinin daha fazla olduğu ve sıcak ortamda bekletme süresinin artması ile birlikte yapıştırma bağlantısının dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum metal köpük, yapıştırma bağlantısı, kesme mukavemeti, epoksi yapıştırıcı

ABSTRACT

In this study adhesive joining of composite foam was investigated. Single – lap - joint type joining was performed by methacrylate based structural adhesive. After composite foams were joined with composite foams and aluminum plates, it was kept at 200 °C for several time intervals (15, 30, 45, 60 min). Result of testing joining strength under shear loads, it was seen that adhesive connection of metal foam is sufficient for desired connection strength. Due to results of experiments it is observed that joining ability of aluminum foam materials with aluminum plates more than joining ability of aluminum foam materials with aluminum foam materials. Also it was seen that with increasing time intervals of keeping furnace strength of adhesive joining was decreased.

Keywords: Aluminum foam, adhesively bonded, shear strength, epoxy adhesive

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında ve eğitimim süresince değerli bilgi birikimleri ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, her zaman yanımda olan değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Nilhan Ürkmez TAŞKIN ve Yrd. Doç. Dr. Vedat TAŞKIN' a;

İhtiyaç duyduğum her an yardımlarını ve dostluklarını benden esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım İsmail MUTLU ve Pınar Aydan DEMİRHAN' a,

Bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi olarak sürekli yanımda olan aileme,

Tüm arkadaşlarıma ve iş arkadaşlarıma,

Teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Anıl ŞAHİN

Ocak 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ	III
TABLolar LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. KÖPÜK METAL MALZEMELER	2
2.1. Köpük Metal Malzeme Üretim Yöntemleri	3
2.1.1. Sıvı hal köpük metal üretim yöntemleri	4
2.1.1.1. Köpük yapıcı tozlar ile köpürtme yöntemi	4
2.1.1.2. Gaz enjeksiyonu ile köpürtme yöntemi	6
2.1.1.3. Gaz-metal ötektik katılaştırma yöntemi (GASAR)	8
2.1.2. Katı hal köpük metal üretim yöntemleri	10
2.1.2.1. Gaz hapsetme yöntemi	11
2.1.2.2. Çamur köpüklendirme yöntemi	12
2.1.2.3. Reaksiyon sinterlemesi yöntemi	12
2.1.2.4. Toz metalürjisi yöntemi	12
2.2. Köpük Metal Malzemelerin Kullanım Alanları	15
2.2.1. Yapısal uygulamalar	16
2.2.1.1. Otomotiv endüstrisi	16
2.2.1.2. Demiryolu endüstrisi	18
2.2.1.3. Uzay endüstrisi	19
2.2.1.4. İnşaat endüstrisi	20
2.2.1.5. Makina yapımı	21
2.2.1.6. Biomedikal uygulamalar	21
2.2.2. Fonksiyonel uygulamalar	22
2.2.2.1. Filtrasyon ve ayırma	22
2.2.2.2. Isı değıştirciler	23
2.2.2.3. Katalizör destekleri	23
2.2.2.4. Pil elektrotları	24

2.2.2.5.	Ses kontrolü	25
2.2.2.6.	Sıvı akış kontrolü	25
2.2.2.7.	Sıvıların transferi ve depolanması	25
2.2.2.8.	Sprinklerler	26
2.2.2.9.	Su arıtıcılar	26
2.2.2.10.	Susturucular	26
3.	KÖPÜK METAL BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	27
3.1.	Kaynak ile Birleştirme Yöntemi	29
3.2.	Mekanik Bağlantı Elemanları ile Birleştirme Yöntemi	32
3.3.	Lehim ile Birleştirme Yöntemi	34
3.4.	Yapıştırma ile Birleştirme Yöntemi	37
4.	YAPIŞMA	39
4.1.	Yapışma İşlemi	39
4.2.	Yapışmayı Etkileyen Faktörler	40
4.3.	Yapıştırma Geometrilere	41
4.4.	Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlanması	43
4.4.1.	Yapıştırılacak yüzeylerin yağdan ve kirden arındırılması	43
4.4.2.	Mekanik ön işlem	44
4.4.3.	Yüzeylerin aşındırılması	45
4.4.4.	Yüzey iyonizasyon ön-işlemi	45
4.4.5.	Primer kullanımı	45
4.5.	Yapıştırma Bağlantılarının Maruz Kaldığı Kuvvetler	46
4.6.	Yapıştırma Ek Yerindeki Hasarın Değerlendirilmesi	47
4.7.	Yapıştırıcı Çeşitleri	48
4.7.1.	Kürleşme mekanizmalarına göre yapıştırıcılar	49
4.7.1.1.	Anerobik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar	49
4.7.1.2.	Ultraviyole (UV) ışığı ile kürleşen yapıştırıcılar	49
4.7.1.3.	Aniyonik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar (siyanoakrilatlar) ...	50
4.7.1.4.	Aktivatör ile kürleşen yapıştırıcılar (modifiye akrilikler)	51
4.7.1.5.	Ortam nemi ile kürleşen yapıştırıcılar	51
4.7.1.6.	Isı ile kürleşen yapıştırıcılar	52
4.7.2.	Formları açısından yapıştırıcılar	52

4.7.3.	Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırıcılar	53
4.7.3.1.	Epoksiler	53
4.7.3.2.	Akrilikler	54
4.7.3.3.	Metakrilatlar	54
4.8.	Yapıştırıcıların Kullanım Alanları.....	54
4.9.	Yapıştırma Bağlantılarının Avantaj ve Dezavantajları.....	57
4.9.1.	Yapıştırma bağlantılarının avantajları	57
4.9.2.	Yapıştırma bağlantılarının dezavantajları	58
5.	LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	59
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	62
6.1.	Köpük Metal Üretimi.....	62
6.1.1.	Malzeme seçimi.....	62
6.1.2.	Köpük metal üretimi	63
6.2.	Alüminyum Levha Malzeme Seçimi.....	63
6.3.	Numune Hazırlama.....	64
6.4.	Yapıştırma İşlemi	65
6.4.1.	Yapıştırma işlemi için malzeme seçimi	65
6.4.1.1.	Yüzey temizleyicisinin özellikleri	65
6.4.1.2.	Primerin özellikleri	66
6.4.1.3.	Yapıştırıcının özellikleri.....	67
6.4.2.	Numunelerin yapıştırılması	68
6.5.	Numunelerin 200 °C Sıcaklıkta Bekletilmesi	70
6.6.	Kesme Deneyleri	71
7.	DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	72
7.1.	Köpük–Köpük Yapıştırma Bağlantılarının Değerlendirilmesi	102
7.2.	Köpük–Alüminyum Yapıştırma Bağlantılarının Değerlendirilmesi	104
7.3.	Alüminyum–Alüminyum Yapıştırma Bağlantılarının Değerlendirilmesi	106
8.	SONUÇLAR.....	108
	TEŞEKKÜR	110
	KAYNAKLAR.....	111
	ÖZGEÇMİŞ.....	114

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 a) Açık hücreli köpük , b) Kapalı hücreli köpük	3
Şekil 2.2 Köpük metal malzemelerin üretim yöntemleri	4
Şekil 2.3 Karıştırma zamanı ile viskozite değişimi	5
Şekil 2.4 Köpük yapıcı toz ile köpük metal üretimi	6
Şekil 2.5 Cymat yöntemi ile köpük metal üretimi.....	7
Şekil 2.6 Takviye malzemesi boyutu ve oranının köpük oluşumuna etkisi.....	8
Şekil 2.7 GASAR gaz–metal ötektik katılaştırma üretim aşamaları	9
Şekil 2.8 GASAR gözenek yapısı.....	10
Şekil 2.9 Katı hal yöntemiyle üretilmiş metal köpük parçalar	10
Şekil 2.10 Gaz hapsetme tekniği	11
Şekil 2.11 Köpürtme işlemi sırasında Al/TiH ₂ karışımının zamana bağlı genişlemesi..	13
Şekil 2.12 Toz metalürjisi yönteminin aşamaları (Fraunhofer ve Alulight yöntemi).....	14
Şekil 2.13 Metal köpük malzemelerin kullanım alanları	16
Şekil 2.14 Metal köpük malzemelerin otomotiv endüstrisindeki uygulama alanları	17
Şekil 2.15 Metal köpük malzemelerin Audi A8 karoseri üzerindeki uygulama yerleri .	17
Şekil 2.16 Çarpışma kutusu örneği.....	18
Şekil 2.17 Alüminyum köpüğün trende enerji absorbesi için kullanılması	19
Şekil 2.18 Ariane 5 roketinde kullanılan alüminyum köpük koni adaptör	20
Şekil 2.19 Titanyum köpük implant	22
Şekil 2.20 Alüminyum köpük filtreler	22
Şekil 2.21 Metal köpük ısı değiştiriciler	23
Şekil 2.22 Katalitik ısı değiştirici reaktör	24
Şekil 2.23 Metal köpük pil elektrotları	24
Şekil 2.24 Metal köpük susturucular	26
Şekil 3.1 Metal köpükleri birleştirme ve bağlama yöntemleri	29
Şekil 3.2 Metal köpük malzemelerin lazer kaynağı.....	30
Şekil 3.3 Lazer kaynağı.....	30
Şekil 3.4 TIG kaynağı	31
Şekil 3.5 Alüminyum köpük sandviçlerin değişik birleştirme teknikleri	33
Şekil 3.6 Çeşitli lehim bağlantı tipleri	35
Şekil 4.1 Yapıştırma yüzeylerinde oluşan kuvvetler	39
Şekil 4.2 Yapıştırma bağlantısı geometrileri.....	42
Şekil 4.3 Yapıştırılacak yüzeydeki kirlerin adhezyon kuvvetini azaltması	44
Şekil 4.4 Yapıştırma bağlantılarının maruz kaldığı kuvvetler	46
Şekil 4.5 Temel hasar tipleri.....	47
Şekil 4.6 Otomotivde yapıştırıcı kullanımı	55
Şekil 6.1 Kompozit metal köpük üretim aşamaları	64
Şekil 6.2 Deney numuneleri	65
Şekil 6.3 Primer uygulanmış köpük ve alüminyum numune yüzeyleri.....	69
Şekil 6.4 Yapıştırılmış köpük-köpük, köpük-alüminyum, alüminyum-alüminyum numuneler.....	69
Şekil 6.5 Numunelerin 200 °C sıcaklıkta bekletilmesi	70
Şekil 6.6 Kesme deneyi.....	71

Şekil 7.1 Köpük–köpük yapıştırma numunelerinin kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	102
Şekil 7.2 Köpük–alüminyum yapıştırma numunelerin kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	105
Şekil 7.3 Alüminyum–alüminyum yapıştırma numunelerin kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	106

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Birleştirme teknolojilerinin karakterizasyonu ve sınıflandırılması.....	28
Tablo 3.2 Uygulanabilir birleştirme teknolojileri için köpük-köpük birleştirme geometrileri	38
Tablo 6.1 LPS Presolve ürün özellikleri	66
Tablo 6.2 Devcon Metal Prep 90 ürün özellikleri	66
Tablo 6.3 Devcon Plastic Welder ürün özellikleri.....	67
Tablo 7.1 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	73
Tablo 7.2 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	74
Tablo 7.3 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika)	75
Tablo 7.4 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika)	76
Tablo 7.5 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika)	77
Tablo 7.6 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika)	78
Tablo 7.7 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	79
Tablo 7.8 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	80
Tablo 7.9 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika)	81
Tablo 7.10 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika)	82
Tablo 7.11 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika)	83
Tablo 7.12 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika)	84
Tablo 7.13 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	85
Tablo 7.14 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	86
Tablo 7.15 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika).....	87
Tablo 7.16 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika).....	88
Tablo 7.17 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika).....	89
Tablo 7.18 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika).....	90
Tablo 7.19 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	91
Tablo 7.20 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	92
Tablo 7.21 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika).....	93
Tablo 7.22 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika).....	94
Tablo 7.23 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika).....	95
Tablo 7.24 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika).....	96
Tablo 7.25 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında).....	97
Tablo 7.26 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika).....	98
Tablo 7.27 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika).....	99

Tablo 7.28 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika).....	100
--	-----

1. GİRİŞ

Köpük metallerin diğer metal malzemelere nazaran çok daha hafif olmasına karşın yüksek darbe sönümlene yeteneğine sahip olması, ısı yalıtımı sağlaması ve filtrasyon özelliğine sahip olmasından dolayı önemi günümüzde giderek artmaktadır. Köpük metal malzemeler, sahip oldukları birçok özelliklerinden dolayı değişik endüstri kollarında pek çok kullanım alanı bulmuştur. Bu malzemelerin yapısal kullanım alanları arasında otomotiv, demiryolu ve inşaat endüstrileri, uzay araçları, gemi ve spor malzemeleri yapımı ve biyomedikal uygulamalar, işlevsel kullanım alanları arasında ise filtreleme ve ayırma, ısı dönüştürücü, soğutma sistemleri, elektrokimyasal sistemler, su arıtma, sıvı muhafaza ve iletimi gibi uygulamalar sayılabilir. Köpük metal malzemeler, polimer köpük ve ahşap malzemelerin kullanılmadığı özel ortam ve sıcaklık uygulamaları için olağanüstü avantajlar sunarlar (Song vd., 2007).

Uygun birleştirme yöntemleri olmadan, metal köpüklerin endüstride kullanımı mümkün olmadığından mühendislik uygulamalarında kullanılabilmesi için farklı malzemelerle birleştirme yöntemlerinin de geliştirilmesi gerekir. Literatürdeki çalışmaların çoğu gözenekli metallerin hazırlığı ile ilgilenmiş, mekanik ve fiziksel özelliklerini değerlendirmiş, fakat bu malzemelerin ikincil işlemleri ile ilgili çok fazla çalışma yapılmamıştır. Metal köpükler sahip oldukları gözenekli yapı ile bazı yönlerden ahşaba benzer. Bu nedenle alüminyum köpükler ahşapların birleştirilmesi için geliştirilen ahşap vidası, yapıştırıcı bağlantısı veya gömülü bağlantı elemanları gibi birleştirme yöntemleri ile birleştirilebilirler. Dahası metal parçaların birleştirme metotları, örneğin kaynak ve lehimlemeyi de gözenekli metallerin birleştirilmesi için kullanmak mümkündür (Ashby vd., 2000; Degischer vd., 2002; Olurin vd., 2000).

Bu çalışmada, alüminyum köpük malzemeler alüminyum levhalarla ve birbirleri ile epoksi yapıştırıcı vasıtası ile birleştirilmiştir. Yapışma bağlantısı yapılan numuneler oda sıcaklığında ve 200 °C sıcaklıkta farklı süreler bekletilerek dayanım özelliklerinin değişimi ve hasar türü incelenmiştir.

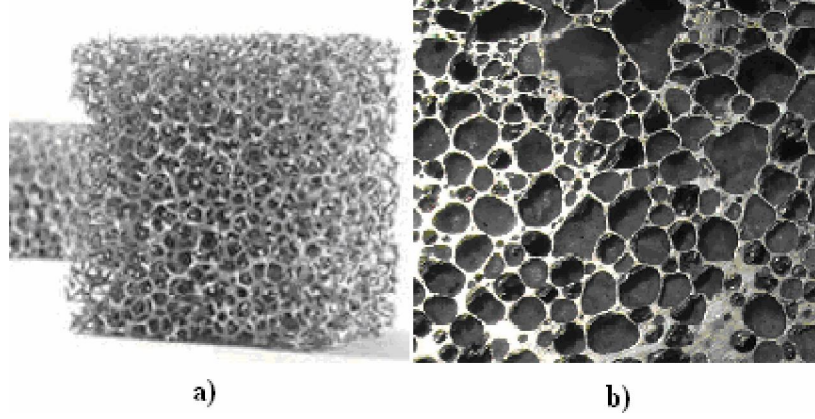
2. KÖPÜK METAL MALZEMELER

Köpük metal malzemelerin geçmişi 1940'lı yıllara dayanmaktadır. 1948 yılında ilk çalışmayı Benjamin Sosnick alüminyum içinde cıva buharlaştırarak yapmıştır (Drolet, 1977). 1950'li yıllarda sıvı metallerin önceden viskozite arttırıcı işleminden (ergiyiği oksitlendirme veya katı parçacıklar ilave etme) geçtiklerinde köpürmenin daha kolay gerçekleştiğinin anlaşılması ile farklı üretim yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. 1951 yılının sonlarında William Eliot ve Stuart Fiedler, Bjorksten Research Laboratories (BRL)'de ABD donanması için alüminyum köpükleştirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. 1970'li yıllarda alüminyumun köpük metal üretimi için daha elverişli metal olduğu anlaşılmıştır. 1972 yılında The Ethyl Corpration, Ford Motor Company için yüksek kalitede köpük metal malzemeler üretmiş ancak bu malzemeler tutulmamıştır. 1970'li yılların sonlarında köpük metal araştırmaları giderek azalmıştır. (Babcsan vd., 2006) 1980'li yılların sonlarında köpük metal araştırmaları yeniden artmıştır. Shinko Wire adlı Japon şirketi günümüzde Alporas süreci olarak bilinen yöntemi geliştirmişlerdir. 1950'lerde Benjamin Allen'in geliştirdiği toz metalurjisi yöntemi 1990'larda Alman Fraunhofer laboratuvarın (IFAM) da daha da geliştirilmiştir (Davies vd., 1983; Babcsan vd., 2006).

Köpük metal malzemeler, sahip oldukları gözeneklerin yapısına göre, gözenekler arasındaki boşlukların birbirleri ile bağlantılı olduğu açık hücreli köpükler ve gözenekler arasında bağlantının olmadığı kapalı hücreli köpükler olmak üzere sınıflandırılabilirler (Şekil 2.1).

Köpük metal teriminin pratikte ve literatürde kullanımında bir karmaşa söz konusu olduğundan hücreli metaller, gözenekli metaller, metal köpükler ve metal süngerler kavramlarının tanımlanması gerekir.

Hücreli Metaller: Yapılarında çeşitli boyutlarda gaz boşluklar içeren metalik yapıyı tanımlayan en genel ifadedir.



Şekil 2.1 a) Açık hücreli köpük , b) Kapalı hücreli köpük

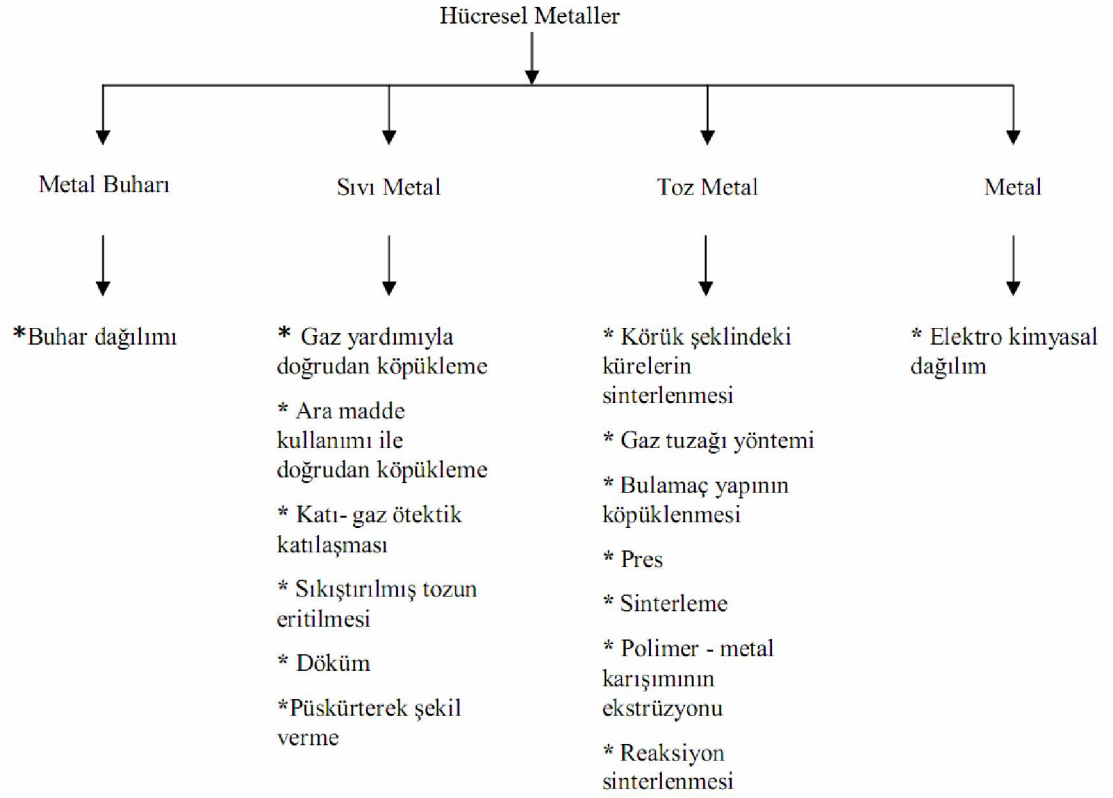
Gözenekli Metaller: Hücresel metallerin bir türüdür. Genellikle gözenekler yuvarlak şekilli ve birbirlerinden ayrılmıştır.

Metal Köpükler: Gözenekli metallerin bir türüdür. Gözenekler kapalı, genellikle yuvarlak veya elipstir.

Metal Süngerler: Genellikle gaz boşlukları birbirleri ile bağlantılı hücresel metallerdir. Bazı açık gözenekli metalik köpükler içinde bu ifade kullanılabilir.

2.1. Köpük Metal Malzeme Üretim Yöntemleri

Metal köpüğün üretimi ile ilgili çalışmalara 1940'lı yıllarda başlanılmış fakat köpük malzemelerle ilgili gelişmeler ancak 1970'li yıllardan sonra elde edilmiştir. Günümüzde birçok çeşit gözenekli metal, araştırma laboratuvarları ve endüstriyel geliştirme birimlerinde üretilmektedir. Metal köpüklerin üretimi için çeşitli metodlar (Şekil 2.2) olmasına rağmen sıvı hal ve katı hal köpük metal üretimi iki temel yöntemdir (Song vd., 2007; Degischer vd., 2002).



Şekil 2.2 Köpük metal malzemelerin üretim yöntemleri (Banhart, 2001)

2.1.1. Sıvı hal köpük metal üretim yöntemleri

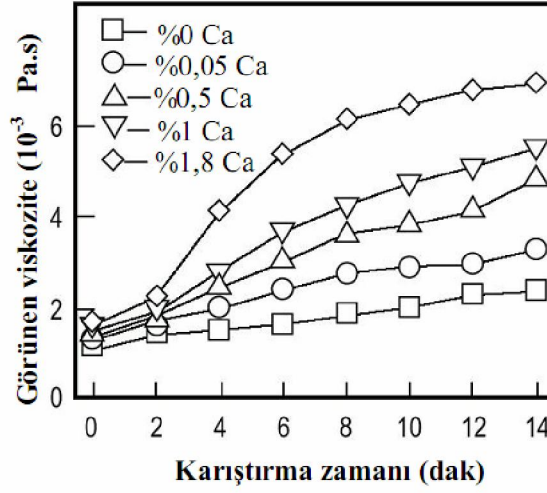
Ergiyik metal içerisinde doğrudan gaz baloncukları yaratılarak köpük malzeme elde edilebilir. Normal şartlar altında gaz balonları yüksek yoğunluklu sıvı içerisindeki kaldırma kuvveti sebebiyle hızlı bir şekilde yüzeye çıkmaya çalışırlar, bu yükseliş ergiyik metalin viskozitesi artırılarak engellenir. Viskozite artışı ince taneli seramik tozlarının ya da alaşım elementlerinin ergiyik yapıya katılmasıyla gerçekleştirilir (Oka, 2009).

2.1.1.1. Köpük yapıcı tozlar ile köpürtme yöntemi

Köpürtme işlemi için alternatif yöntemlerden biri ergiyiğin içine doğrudan köpük yapıcı toz ilave etmektir. Köpük yapıcı toz sıcaklık etkisiyle gaz açığa çıkararak

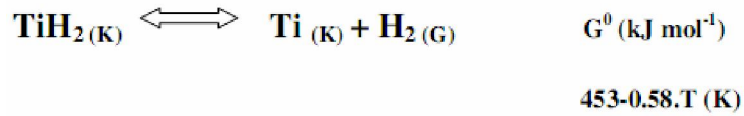
köpük oluşumunu sağlar. Küçük çaplı sanayilerde kullanılan bu metot Japon Shinko Wire (ALPORAS) firması tarafından 1986'dan beri kullanılmaktadır (Banhart, 2001).

Bu yöntemde ilk olarak alüminyum ergiyik 670–690 °C derece sıcaklığa getirilir. Eriyiğin viskozitesini arttırmak için %1–2 oranında kalsiyum eklenir ve atmosfere açık ortamda yaklaşık 6 dakika karıştırılır. Bu esnada kalsiyum, alüminyum ve oksijen ile reaksiyona girerek kalsiyum oksit (CaO), kalsiyum–alüminyum oksit (CaAl_2O_4) ve tetra alüminyum kalsiyum (Al_4Ca) metaller arası bileşik oluşturularak sıvı metalin viskozitesi istenilen seviyeye kadar arttırılır (Şekil 2.3).

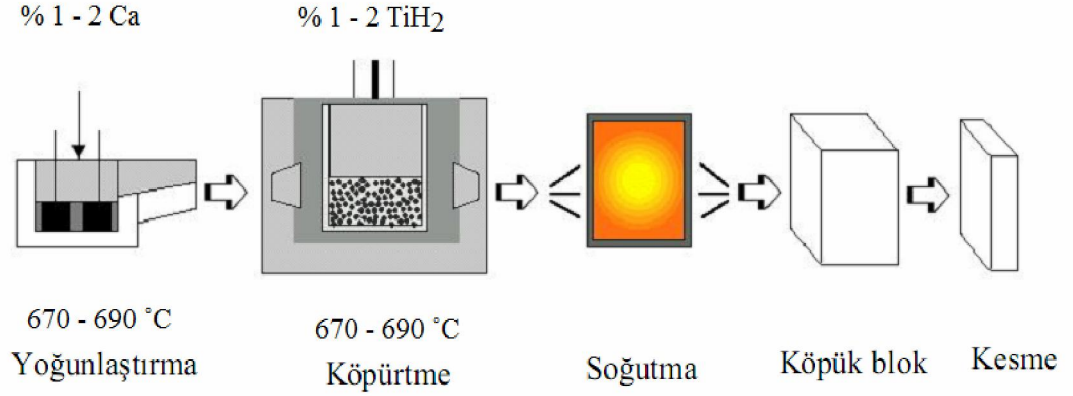


Şekil 2.3 Karıştırma zamanı ile viskozite değişimi (Banhart, 2000)

Viskozite istenilen kıvama geldikten sonra eriyiğin içine 5–20 μm çapında %1–2 oranında titanyum hidrür (TiH_2) eklenir. Ergimiş metal içerisinde köpürtücü madde uygun sıcaklıkta çözünerek hidrojen gazı açığa çıkarır.



Köpürtme işlemiyle birlikte artan sıcaklık, hidrojen gazının yavaşça genişlemesini ve ergiyik metal içinde gözenekli yapının oluşmasını sağlamaktadır (Degischer vd., 2002; Ashby vd., 2000).



Şekil 2.4 Köpük yapıcı toz ile köpük metal üretimi (Banhart, 2000)

Bu üretim yönteminde (Şekil 2.4) köpük oluşumu basınç, sıcaklık ve zaman parametreleri ile kontrol edilebilir (Ashby vd., 2000). Köpürtücü madde olarak TiH_2 yerine aynı zamanda zirkonyum hidrür (ZrH_2)’de kullanılabilir fakat zirkonyum hidrür pahalı olduğu için genellikle tercih edilmemektedir (Srivastava vd., 2007). Metal köpük üretiminde TiH_2 yerine köpük yapıcı toz olarak ucuz olması nedeniyle kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) kullanılabilir ve TiH_2 ile elde edilen yoğunluğa yakın sonuçlar elde edilebilir (Babcsan vd., 2003).

2.1.1.2. Gaz enjeksiyonu ile köpürtme yöntemi

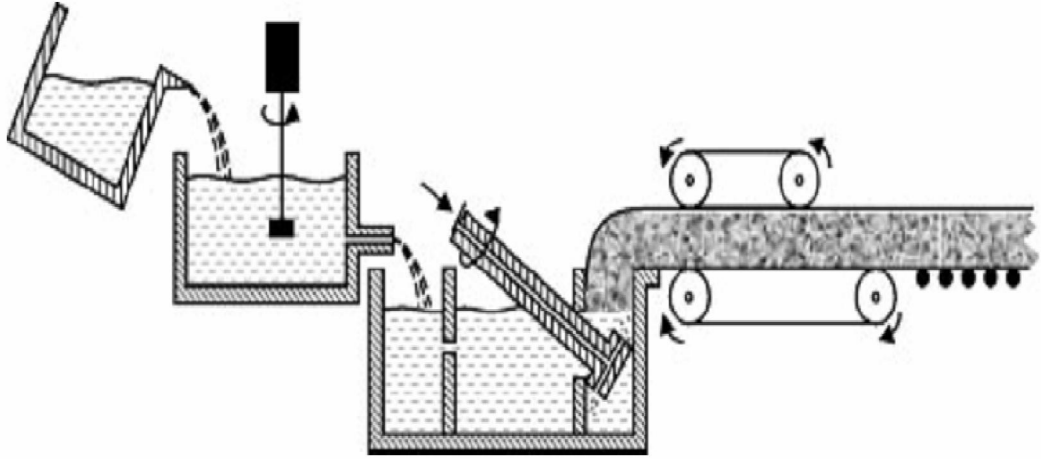
Ergiyik metal içine gaz enjekte ederek köpük metal üretimi fikri ilk olarak 1991 yılında Ruch ve Kirkevack tarafından ortaya atılmış ve aynı yıl içerisinde patenti alınmıştır (Prakash vd.,1995). Alüminyum köpük üretimi için bu metodu kullanıp geliştiren ve orijinal patentine sahip olan Alcan International firması olmasına rağmen yöntem Hydro Alüminyum (Norveç) ve Cymat Alüminyum (Kanada) tarafından kullanılmaktadır (Banhart, 2001).

Bu yöntemde ilk olarak matris malzemesi pota içinde ergitilir. Daha sonra ergiyiğin içine silisyum karbür, alüminyum oksit ve magnezyum oksit gibi seramik parçacıkları ilave edilir. Bu sayede ergiyiğin viskozitesi artırılır ve köpük özelliklerinin

iyileşmesi sağlanır. Burada oluşabilecek bir problem ergiyiğe ilave edilen parçacıkların ergiyik tarafından ıslatılamaması ve ergiyik içinde homojen bir şekilde karıştırılamamasıdır. Bunun için özel şekilli karıştırıcılar ve karıştırma tekniği kullanılmaktadır. Viskozitenin düşük olması durumunda sıvı içerisinde oluşan gaz baloncukları rahatlıkla hareket edebilmekte ve gözeneklerin birbirleriyle birleşmesi kaçınılmaz hale gelmektedir (Srivastava vd., 2007; Banhart, 2006).

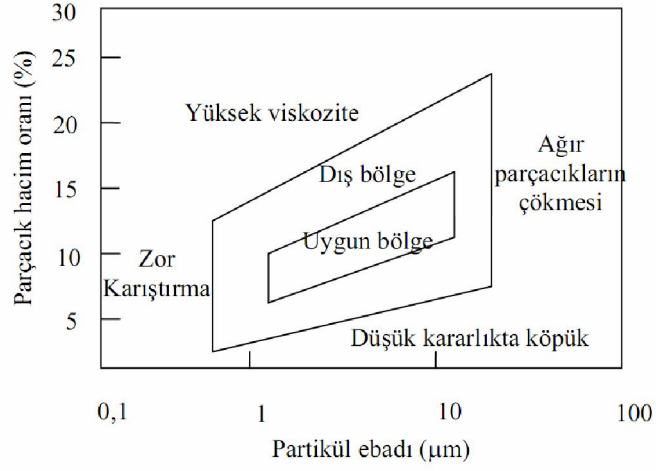
Köpük üretiminin ikinci aşamasında ergiyik içine özel tasarlanmış pervaneler veya titreşimli nozullar ile argon, hava veya nitrojen gazı enjekte edilir. Bu pervanelerin ve nozulların fonksiyonu, ince gaz kabarcıkları oluşturarak ergiyik içine düzenli dağılımlarını sağlamaktır. Üretim aşamasında gaz baloncuklarının boyutu, gaz akış hızı, pervane tasarımı (nozul sayısı-boyutu) ve pervanenin dönüş hızıyla ayarlanabilmektedir (Degischer vd., 2002).

Sonuçta oluşan köpükler eriyik yüzeyinde yüzerler (Şekil 2.5). Daha sonra oluşan köpük bir konveyör yardımıyla çekilir ve soğuyup katılaşması sağlanır (Banhart, 2001).



Şekil 2.5 Cymat yöntemi ile köpük metal üretimi (Degischer vd., 2002)

Araştırmacılar köpüğün mekanik ve fiziksel özelliklerinin; hücre duvar malzemesi cinsi, köpük malzeme içindeki hacimsel katı oranının yanı sıra, takviye oranı, takviye boyutu ve hücre geometrisinden de büyük oranda etkilendiğini tespit etmişlerdir (Şekil 2.6), (Deqing vd., 2006, Srivastava vd., 2007).

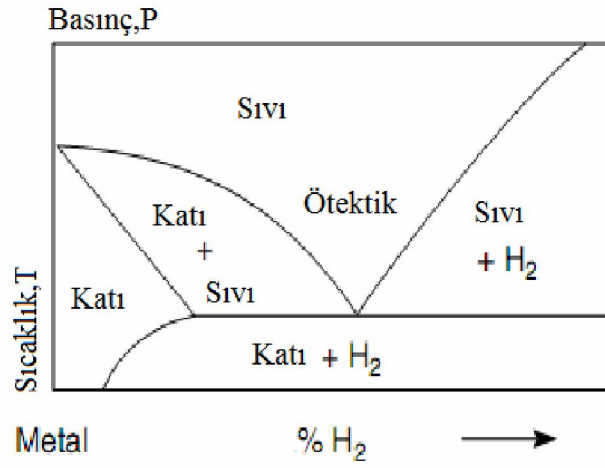


Şekil 2.6 Takviye malzemesi boyutu ve oranının köpük oluşumuna etkisi

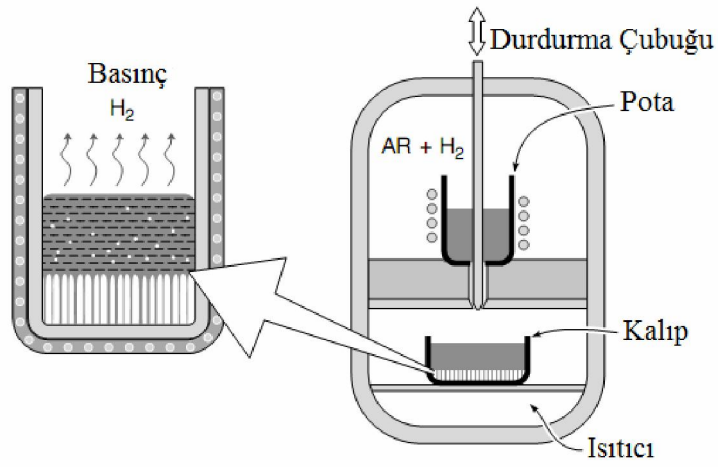
2.1.1.3. Gaz–metal ötektik katılaştırma yöntemi (GASAR)

Bu yöntem, bazı sıvı metal formlarını ötektik sistemde hidrojen gazı ile köpürtmek için kullanılmaktadır. Metal yüksek basınçlı hidrojen atmosferinde (50 bar ve üzeri) ergitilerek, ergiyiğin homojen şekilde hidrojen gazı ile yüklenmesi sağlanır. Sıcaklık düşürüldüğünde ergiyik ötektik geçişe uğrar ve heterojen (katı+gaz) fazına geçer. Eğer sistemin bileşimi ötektik bileşime yakınsa belli bir sıcaklıkta segregasyon reaksiyonu oluşacaktır ve eriyiğin katılaşması sonucu olarak gaz boşlukları çökecektir. Ötektik bileşim; sistem basıncı, dış basınç ve hidrojen içeriğinin düzenli olmasına bağlıdır (Banhart, 2001). Pek çok metal alaşımı–hidrojen ikili faz diyagramı ötektik davranışı göstermektedir; bu metaller Al-, Be-, Cr-, Cu-, Fe-, Mg-, Mn- ve Ni-alaşımalarını içermektedir (Ashby vd., 2000).

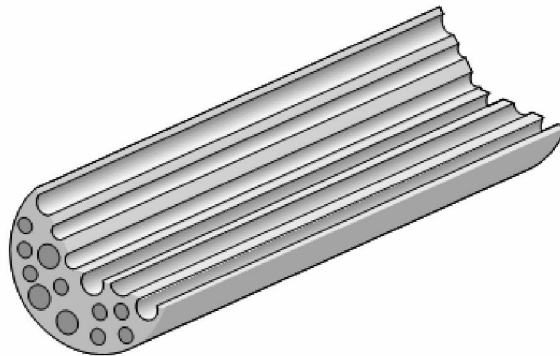
Bu yöntemde metal üst kısımdaki pota içinde ergitilir. Dışarıdan sistem içine gönderilen hidrojen gazı ergiyik tarafından emilir. Emilen hidrojen gazı metali çözerek ergiyik metal içinde gaz kabarcıkları oluşturur. Ergiyik metalin içindeki hidrojen gazının çözme etkisi basınç arttıkça artar. Hidrojen gazını emmiş olan ergiyik tabanı soğutulmuş başka bir pota içerisine aktarılır. Ergiyik metal, potanın soğutulmuş olan tabanından yukarı doğru ilerleyerek katılaşır (Şekil 2.7), (Banhart, 2003).



a) Metal – Hidrojen Faz Diyagramı



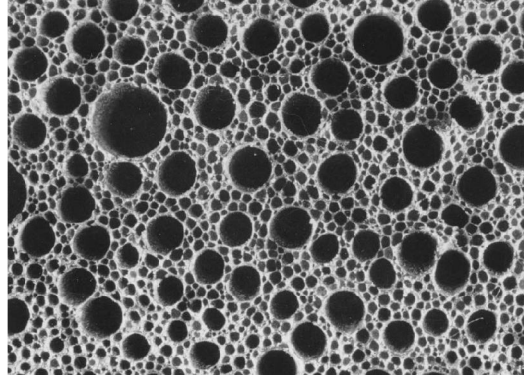
b) Yönlü Katılaştırma



c) Gözenekli yapı

Şekil 2.7 GASAR gaz–metal ötektik katılaştırma üretim aşamaları

Tipik katılaşma hızı 0.05 mm/sn ile 5 mm/sn aralığındadır. Gözenek çapları 10 μm ile 10 mm, gözenek uzunlukları 100 μm ile 300 mm, gözeneklilik oranı ise % 5–75 arasındadır (Şekil 2.8), (Banhart, 2001).



Şekil 2.8 GASAR gözenek yapısı

2.1.2. Katı hal köpük metal üretim yöntemleri

Gözenekli metal yapıların üretiminde erimiş metal yerine toz metalde kullanılabilir. Günümüzde toz metalurjisi endüstrisinde gözenekli metal elde etmek için yerleşmiş en kolay üretim yöntemi sinterlenmiş dağınık hacimli tozlar veya lifler kullanmaktır. Metal tozu sıkıştırarak içine gaz hapsedme, boşluk tutucu astar malzeme veya içi boş küre yöntemleri kullanılarak istenen gözeneklilikte metal köpük üretilir (Şekil 2.9), (Banhart, 2001).

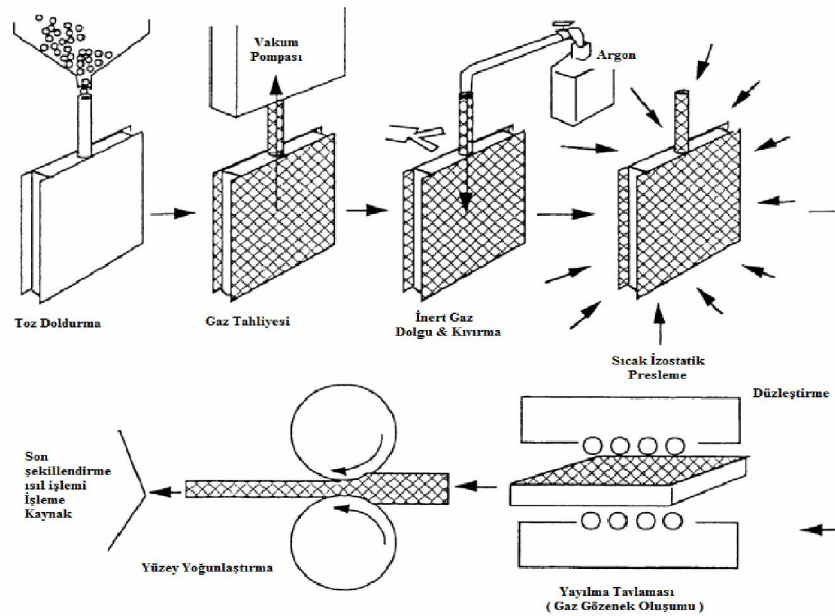


Şekil 2.9 Katı hal yöntemiyle üretilmiş metal köpük parçalar (Banhart, 2001)

2.1.2.1. Gaz hapsetme yöntemi

Köpük metaller köpük yapıcı toz kullanmadan ve metal eritilmeden üretilebilir. Bunun için tozlar öncü malzeme (precursor) olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sırasında gazın malzeme içine hapsolmesine izin verilir. Daha sonra öncü malzeme ısıtılır, hapsolan gazın oluşturduğu iç basınçtan dolayı metal genişir. Katı hal sürünmesi sonucu gözenekli yapı oluşur.

Bu metot, uçak üreticisi Boeing (USA) firması tarafından gözenekli titanyum yapıların üretiminde kullanılmaktadır. Titanyum tozları bir kalıba doldurulur, ilk olarak kalıp içindeki gaz tahliye edilir ve içeri 3–5 atm arası argon gazı üflenir. Kalıp kapatılarak ve izostatik sıcak preslenerek yapının yoğunluğu artırılır (Şekil 2.10). Argon gazı kalıp içinde homojen olarak gözeneklerin arasına dağılır, yüksek iç basınç taşımaya rağmen gaz miktarı hacmin % 2’den daha azını kaplar. Genellikle malzeme, içindeki alaşımın erime sıcaklığının 0.6 katında 6–24 saat arası tavllanır. Tavlama esnasında gaz gözenekleri yavaşça genişler. %20–40 oranında birbirinden bağımsız gözeneklere sahip yapı elde edilir. Gözenek çapları 10 ile 100 μm arasındadır. Teorik hesaplamalarda gaz hapsetme tekniğinde gözeneklilik miktarı %50’yi geçmemektedir. Sıcak çekme ile 1.2x2.1 metre boyutlarında plakalar elde edilir. Oluşan köpüğün bağıl yoğunluğu külçe titanyumun %66’sı kadardır (Banhart, 2001).



Şekil 2.10 Gaz hapsetme tekniği (Banhart, 2001)

2.1.2.2. Çamur köpüklendirme yöntemi

Köpük metaller, metal tozları, köpük yapıcı tozlar ve bazı reaktif katkılardan hazırlanan çamurdan üretilir. Hazırlanan bulamaç bir kalıba dökülür, karıştırılır ve yüksek sıcaklıkta bekletilir. Katkıların ve köpük yapıcı tozun etkisi altında çamur viskoz hale döner, gaz çıkararak genişler. Yeterli stabilizasyon sağlanmış ise çamur genişlemiş halde tamamen kuruyana kadar bekletilir, daha sonra sinterlenir. Köpükler, alüminyum tozları, köpük yapıcı olarak ortofosforik asit ile alüminyum hidroksit veya hidrolik asit kullanılarak üretilir. Çamur köpüklendirme, açık gözenekli köpük metal yapımında alternatif yöntem olarak kullanılabilir (Banhart, 2001).

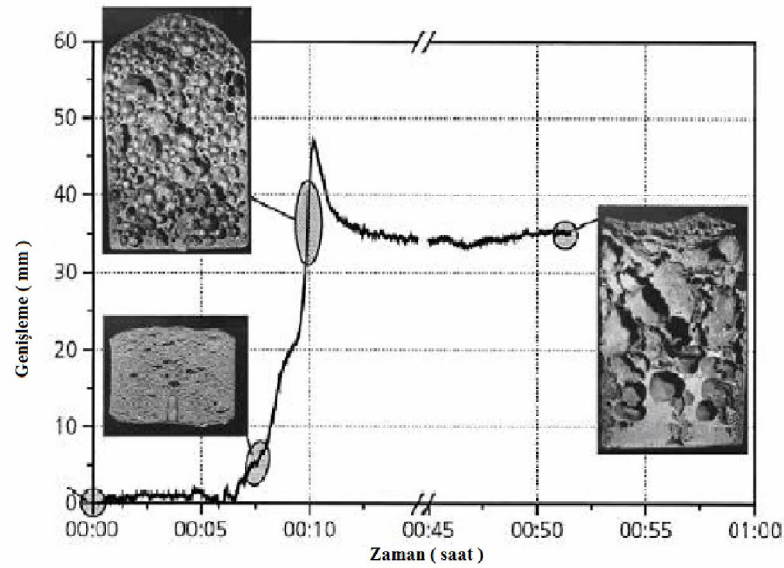
2.1.2.3. Reaksiyon sinterlemesi yöntemi

Ti+Al, Fe+Al veya Ti+Si gibi metal tozu karışımlarından reaksiyon sinterlemesi yöntemi ile gözenekli yapı elde edilebilir. Gözenekli yapı oluşmasının nedeni, çoklu bileşenli sistemlerdeki bileşenlerin değişik difüzyon katsayılarına sahip olmalarıdır.

2.1.2.4. Toz metalürjisi yöntemi

ALULIGHT ve FOAMINAL adlarıyla bilinen toz metalürjisi köpük metal üretim yöntemleri Fraunhofer-Institut (Bremen) tarafından patentlenmiştir. Yöntemin geliştirilmesinde referans alınan teknik ilk defa 1963 yılında bulunmuştur (Surace vd., 2007; Haydn vd., 2002).

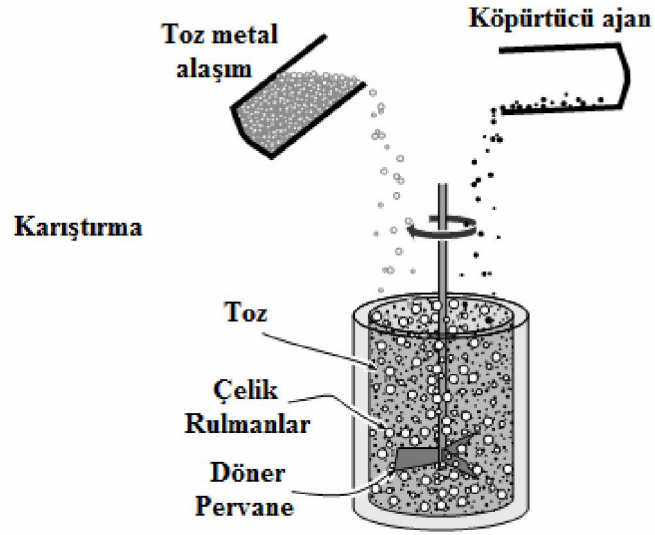
Köpük yapıcı tozlar metal tozları ile birleştirilip, karıştırılır. Genellikle köpük yapıcı toz olarak 465 °C’de ayrışmaya başlayan titanyum hidrür kullanılır, bu sıcaklık saf alüminyum ve alaşımlarının ergime sıcaklığı olan 660 °C’nin çok altındadır. Uygulanan sıcaklık farkı köpüklenme olasılığını yükseltir. Köpük yapıcı toz ve katı alüminyum toz metalürjisi süreci sonunda yeteri kadar ısıtılır, kısmi ve tam erimede gaz salınımı olur ve köpük oluşur. Sonra köpük, stabilizasyonunun sağlanabilmesi için soğutulur. Almanya Bremen deki IFAM, Avusturya Ronthofen deki LKR ve Avusturya Marktl daki Neuman–Alu bu yöntemi geliştirmişlerdir (Ashby vd., 2000).



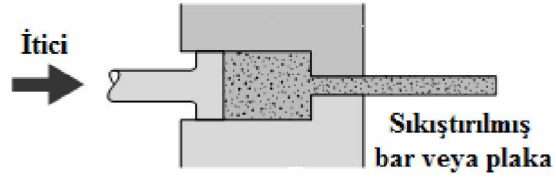
Şekil 2.11 Köpürtme işlemi sırasında Al/TiH₂ karışımının zamana bağlı genişlemesi (Ashby vd., 2000)

Süreç alüminyum alaşım tozlarının ve köpük yapıcı tozun (genellikle titanyum hidrür) karıştırılması ile başlar. Malzemeler iyi bir şekilde karıştırılır, tozlar soğuk olarak çubuk veya plaka olarak teorik yoğunluğa kadar sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi ekstrüzyon, presleme (tek yönlü, çift yönlü) veya haddeleme gibi farklı teknikler kullanılarak yapılabilir (Banhart, 2000). Bu öncü malzeme ufak parçalar şeklinde kıyılır, kapalı bir kalıp içine yerleştirilir, alaşımın katılaşma sıcaklığının biraz üzerindeki sıcaklığa ısıtılır. Titanyum hidrür ayrışır, yüksek iç basınç ile boşluklar oluşur. Yarı katı akışkan halde alüminyum genişler, oluşan köpük kalıbı doldurur (Şekil 2.11). Oluşan köpük kapalı hücrelidir ve hücreler 1 ile 5 mm arasında değişen çaplara sahiptir (Ashby vd., 2000). T/M yöntemi ile üretim süreci Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

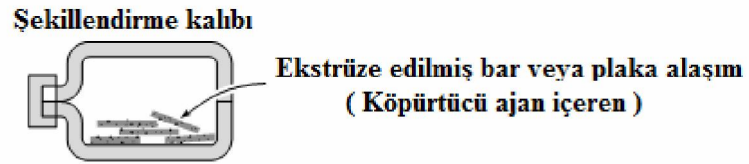
a) Malzemelerin Seçimi



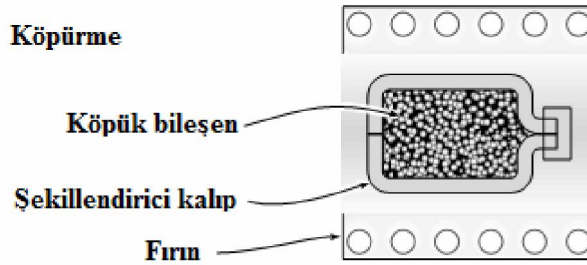
b) Sıkıştırma & Ekstrüzyon



c) Kalıpta şekillendirme



d) Köpürme



Şekil 2.12 Toz metalürjisi yönteminin aşamaları (Fraunhofer ve Alulight yöntemi) (Ashby vd., 2000)

Maksimum genişleme ve buna bağlı olarak katı metal köpüğün yoğunluğu, köpürtücü madde miktarının ve bazı diğer köpürtme parametrelerinin oranlarının (sıcaklık ve ısıtma oranı–hızı) ayarlanmasıyla kontrol edilebilir (Banhart, 2001).

Toz metalürjisi ile köpük metal üretiminin avantaj ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir.

Avantajları;

- Nihai ürüne yakın parça üretimi mümkündür.
- Bu metotla kompozit köpükler üretilebilir.
- Alaşım seçiminde esneklik vardır.
- Kararlaştırıcı ek malzemelere ihtiyaç yoktur.
- Köpüğe seramik ve fiber malzemeler eklenebilir.

Dezavantajları;

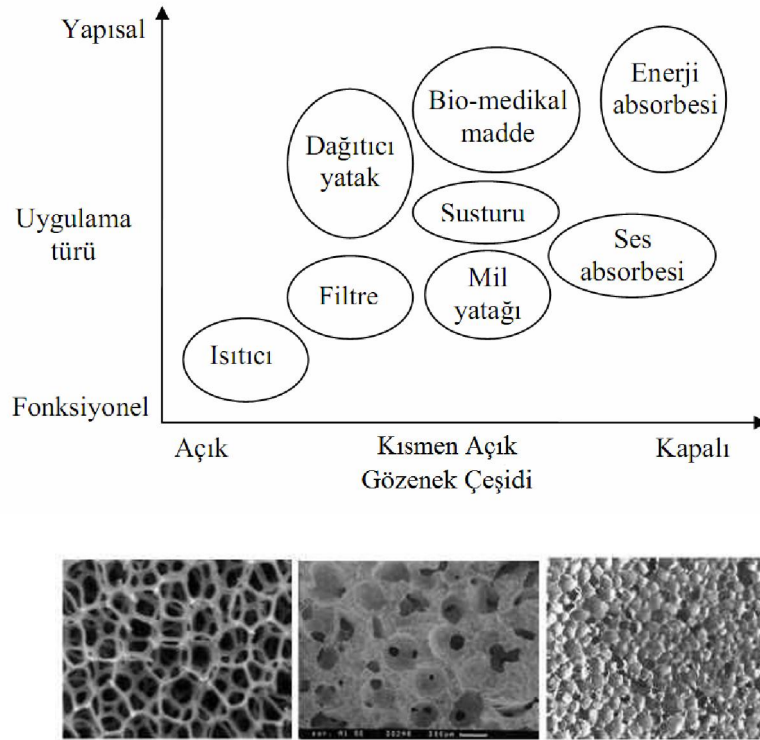
- Kullanılan tozların maliyeti yüksektir.
- Çok büyük parçaların üretilebilmesi zordur.

2.2. Köpük Metal Malzemelerin Kullanım Alanları

Gözenekli yapılar ve metalik köpükler ile ilgili çalışılmalar sadece bilimsel değil aynı zamanda endüstriyel uygulamalar ile ilgili araştırmalarda da faydalı olmuştur. Günümüz teknolojisine bağlı bazı mühendislik problemleri gözenekli malzemeler kullanılarak çözülmüştür (Banhart, 2005).

Metalik köpükler mekanik, akustik ve fiziksel özellikleri son derece iyi olan bir malzeme grubudur. Bu özelliklerinden dolayı yapısal ve fonksiyonel uygulamalarda sıklık ile kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerin yapısal kullanım alanları arasında otomotiv, demiryolu, inşaat endüstrisi, uzay araçları, gemi ve spor malzemeleri yapımı ve biyomedikal uygulamalar; fonksiyonel kullanım alanları arasında ise filtreleme ve

ayırma, ısı dönüştürücü, soğutma sistemleri, elektrokimyasal uygulamalar, su arıtma, sıvı muhafaza ve iletimi gibi uygulamalar sayılabilir (Şekil 2.13).



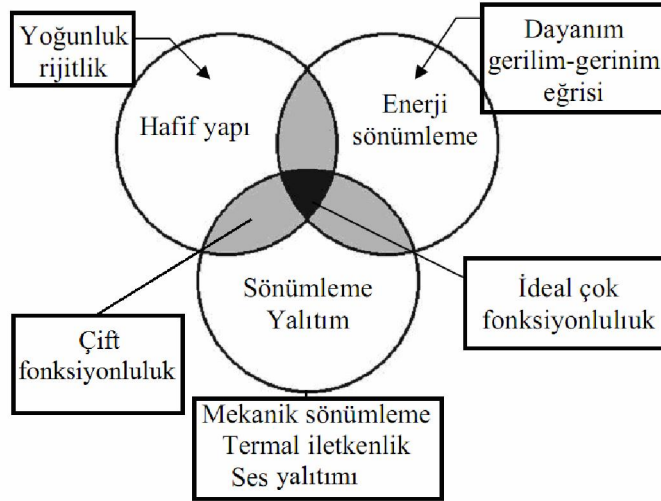
Şekil 2.13 Metal köpük malzemelerin kullanım alanları (Banhart, 2001)

2.2.1. Yapısal uygulamalar

2.2.1.1. Otomotiv endüstrisi

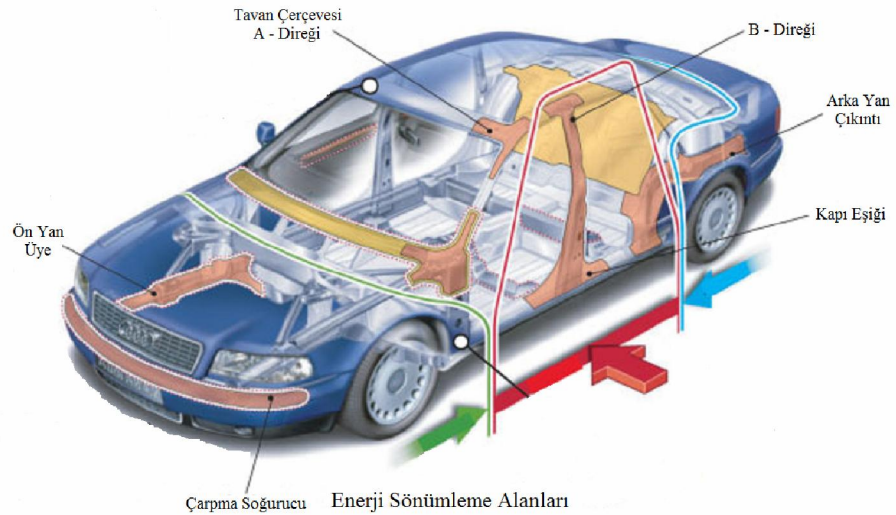
Son zamanlarda otomotiv endüstrisinde yolcu güvenliğini arttırmak ve yakıt tasarrufu sağlamak için araştırmacılar daha hafif ve daha güvenilir yapılara yönelmişlerdir. Bu malzemeler arasında metalik köpükler hafiflikleri ile oldukça ilgi çekmektedir (Srivastava vd., 2006).

Metalik köpükler otomotiv endüstrisinde, hafif ağırlıklı yapıları ile çarpma anında enerji sönümlenme, ses ve ısı yalıtımı için kullanılmaktadır. Şekil 2.14 otomotiv endüstrisinde kullanılan metalik köpüklerin yapısal uygulama alanlarını göstermektedir. Kullanımı ideal olan yapı bu üç özelliği aynı anda taşıyabilen yapıdır.



Şekil 2.14 Metal köpük malzemelerin otomotiv endüstrisindeki uygulama alanları (Banhart, 2001)

Hafif ve sağlam alüminyum sandviç yapılar, arabaların ağırlıklarını azaltmak için yapılan çalışmalara yardımcı olmuştur. Üç boyutlu bu sandviç paneller, arabalardaki orijinal çelik panellerden yaklaşık 8 kat daha sağlam olup, ağırlıkları %25 oranında daha azdır (Şekil 2.15), (Yu vd., 1998).



Şekil 2.15 Metal köpük malzemelerin Audi A8 karoseri üzerindeki uygulama yerleri (Degischer vd., 2002)

Otomobil endüstrisinde metalik köpük malzemeler, araç gövdesinde çarpma darbelerindeki kinetik enerjiyi sönümlemek ve yolcuların yaralanma riskini minimuma indirmek için düşünülmüştür. Bunun sonucunda çarpışma kutuları yapılmıştır. Çarpışma kutuları darbe tamponuyla ön korkuluk arasında yer almaktadır. Bu kutular 20 km/s ve daha düşük hızlı çarpışmalarda bütün enerjiyi sönümleyerek deforme olurlar ve arabanın şasisinde meydana gelebilecek daha pahalı bir hasarı önlerler (Banhart, 2003).

Çarpışma kutuları, alüminyum ekstrüzyon veya çelik bir dış yapının içerisine köpük çekirdek (göbek) malzemenin yerleştirilmesi ile oluşur (Şekil 2.16). İçerisinde alüminyum köpük bulunan bu kutular, içi boş çarpışma kutularına nazaran çok daha fazla enerji sönümleyebilirler. (Banhart, 2003).



Şekil 2.16 Çarpışma kutusu örneği (Degischer vd., 2002)

2.2.1.2. Demiryolu endüstrisi

Otomotiv endüstrisine ait üç ana uygulama alanı için geçerli kurallar demiryolu ekipmanı metal köpük uygulamaları içinde geçerlidir. Kentsel alanlarda işletilen hafif demiryolu araçlarında, enerji absorbe konusu önemlidir. Japon trenleri çarpışma anında enerji absorbesini iyileştirmek için 2.3 metre yükseklikte “Alporas” köpük bloklar ile

donatılmışlardır (Şekil 2.17). Köpürtülmüş düşük ağırlıklı elemanların demiryolu taşıtlarındaki avantajları arabalar ile aynıdır; ana fark demiryolu vagonlarında daha büyük boyutlu yapılar kullanılabilir (Banhart, 2001).



Şekil 2.17 Alüminyum köpüğün trende enerji absorbesi için kullanılması (Stöbener vd., 2003)

2.2.1.3. Uzay endüstrisi

Köpük metallerin ve hafif yapıların hava–uzay endüstrisindeki kullanımı otomotiv endüstrisindeki ile benzerlik göstermektedir. Uzay endüstrisinde kullanılan petek şeklindeki yapıların maliyeti, alüminyum köpük levhalara veya metal köpük sandviç panellere oranla daha yüksektir. Boeing (A.B.D.), alüminyum köpük çekirdekli alüminyum sandviç panelleri helikopter kuyruk çubuklarında kullanım yolları geliştirmiştir (Banhart, 2001).

Avrupa yapımı Ariane 5 adlı rokette, roketin taşıma kapasitesini destekleyen iki adet koni biçimli adaptör kullanılmaktadır (Şekil 2.18). Bu adaptörler, alüminyum petek

şeklinde sarmal yapılardan yapılmaktadır ve işleme maliyeti çok yüksektir. Bu koni biçimli ve pahalı adaptörü daha ucuz ve kolay yapılabilen alüminyum köpük sandviçler ile değiştirmek amaçlanmıştır (Banhart vd., 2008).



Şekil 2.18 Ariane 5 roketinde kullanılan alüminyum köpük koni adaptör

2.2.1.4. İnşaat endüstrisi

Alüminyum köpük ve köpük paneller hafiflik ve ivmelenmenin çok önemli olduğu asansörlerde kullanılabilir. Ayrıca, yangın duvarları ve yangın çıkışları, zayıf ısıl iletkenliği ve yangın direnci olan alüminyum köpük malzemelerle yapılmaktadır (Banhart, 2001).

Metal köpüklerin diğer uygulama alanı ise, inşaatta beton kolon ile duvarlar arasında sıkıştırılmasıdır. Duvar ile beton arasındaki boşluğun doldurulması için köpük malzeme boşluk içerisine yerleştirilmiş ve bölgesel olarak ısıtılmıştır. Isıtma süresince köpük malzeme genişlemiş ve beton kolon ile duvar arası dolmuştur (Çinici, 2004).

2.2.1.5. Makina yapımı

Makina yapımında metalik köpüklerin bazı ilginç uygulamaları vardır. Halen geleneksel metallere yapılan akslar, rulolar ve platformların malzemeleri, azaltılmış ataleti ve gelişmiş sönümlene kabiliyeti olan yoğun köpürtülmüş parçalarla veya içi köpük dolu sütunlar ile değiştirilebilir. Bu gibi bileşenler sabit sondaj, freze makinaları ve baskı makinalarında da kullanılabilir. Delmeye veya öğütmeye yarayan küçük el aletlerinin gövdeleri bu malzemelerden yapılabilir. Alüminyum köpük malzemeler aynı zamanda teleskop aynalarını desteklemek için kullanılır (Banhart, 2001).

2.2.1.6. Biomedikal uygulamalar

Titanyum köpük malzemeler vücut ile biyouyumluluğu nedeniyle protez ve diş implantı yapımında kullanılır (Şekil 2.19). İmplant malzemelerde biyouyumluluğun yanı sıra, elastisite modülü kemiğe en yakın değerlerde, tokluk, sertlik, aşınma, yorulma dayanımı ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerin kemik malzeme ile uyumlu olması istenir.

Titanyum köpükler implantın rijitliğini doğal kemik seviyesine kadar düşürebilmekle birlikte kemik hücrelerinin implant malzemeye daha yüksek derecede sızmasına izin vererek daha güçlü bir ara yüz oluşmasını sağlar. Belirli kimyasal ve ısı işlemler sonucunda gözenekli titanyumun ilave osteojenik (kemik oluşturu) hücreler veya osteoindüktif etmenler kullanılmaksızın, kemik oluşumunu meydana getirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 2.19 Titanyum köpük implant

2.2.2. Fonksiyonel uygulamalar

2.2.2.1. Filtrasyon ve ayırma

Metal köpük filtreler, sıvı karışım içindeki katı partikülleri veya dağınık lifleri tutucu ve ayırıcı, ayrıca duman veya sis gibi gazların içindeki katı veya sıvı parçaları tutucu olmak üzere iki tiptir. Birinci tip filtreler örnek olarak, biradan mayanın, yağdan kirin ve geri dönüşümde erimiş polimerlerin temizlenmesi verilebilir. İkinci tip filtreler, uçaklardaki dizel dumanının veya suyun ortadan kaldırılması örnek olarak verilebilir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Alüminyum köpük filtreler (Banhart, 1999)

2.2.2.2. Isı değiştiriciler

Korozyon direnci, yüksek termal iletkenliği gibi özelliklerinden dolayı açık hücreli alüminyum ve bakır bazlı köpük metaller ısı değiştirici olarak kullanılabilirler. Bu uygulamaya örnek olarak, yekpare soğutma radyatörleri ve bilgisayar yongaları verilebilir (şekil 2.21), (Banhart, 2001).

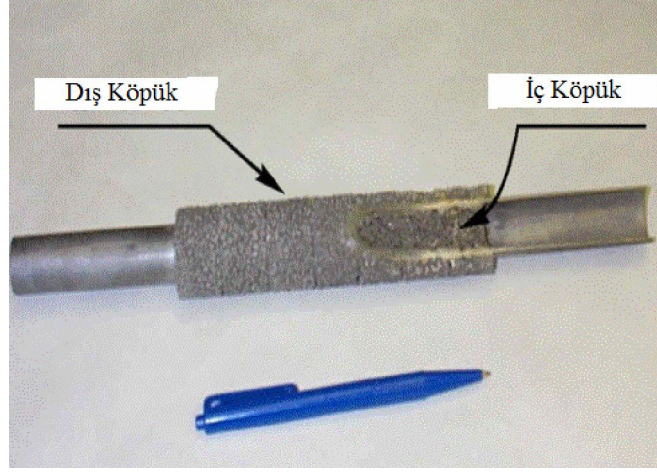


şekil 2.21 Metal köpük ısı değiştiriciler (<http://www.frostytech.com>)

2.2.2.3. Katalizör destekleri

Kataliz olayının etkinliği, katalizör ile gazlar veya sıvılar arasındaki yüksek ara yüzey alanına bağlıdır. Bu nedenle katalizörler için metal köpük desteği uygulanabilir.

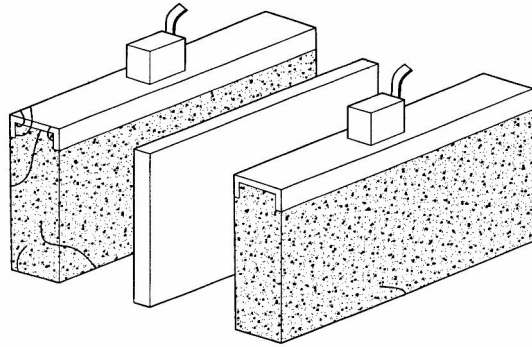
Bu türe uygulama örneği olarak güç kaynaklarının egzost dumanlarından nitrojen oksitlerin (NO_x) uzaklaştırılması verilebilir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Katalitik ısı değıştirici reaktör (<http://dod.nic.in>)

2.2.2.4. Pil elektrotları

Yüksek yüzey alanına sahip toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş gözenekli malzemeler yakıt pillerinde kullanılır (Şekil 2.23), (Banhart, 2001).



Şekil 2.23 Metal köpük pil elektrotları

2.2.2.5. Ses kontrolü

Rijit açık hücreli metal köpüklerden prizma veya lens şekilli parçalar üretilerek ses dalgalarının kontrolünde kullanılır. Ultrasonik ses üreten empedans adaptörlerinde kapalı hücreli köpük malzemelerin kullanımı üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Banhart, 2001).

2.2.2.6. Sıvı akış kontrolü

Sıvı ve gazların akışının kontrolünde gözenekli yapılar kullanılabilir. Toz metalurjisi ile üretilen gözenekli malzemeler sıvı akışının tam ve doğru olarak ölçüldüğü konvansiyonel mikro metrik valflerde kullanılır (Banhart, 2001).

2.2.2.7. Sıvıların transferi ve depolanması

Toz metalurjisi ile elde edilmiş malzemelerin kullanıldığı en eski uygulama, kendi kendini yağlayabilen yataklardır. Gözenekli yapı sayesinde yağ yavaş akar ve yağın kullanım ömrü uzar. Açık gözenekli metalik yapılar, sıvıların düşük sıcaklıkta depolanmasında kullanılır. Buna ek olarak köpük malzeme, tam dolu olmayan tanklarda istenmeyen sıvı hareketini azaltır, yani sıvıda katı çökmesini engeller (Banhart, 2001).

2.2.2.8. Sprinklerler

Sprinklerler bazı uygulamalarda gazın sıvı içerisinde gerekli olduğu miktarda homojen olarak alınmasını sağlar. Örnek, gazlı meşrubatların içine karbondioksit katılması (Banhart, 2001).

2.2.2.9. Su arıtıcılar

Metal köpük malzemeler suda çözünmüş istenmeyen iyonların yoğunluğunu azaltmak için kullanılabilir (Banhart, 2001).

2.2.2.10. Susturucular

Kompresör ve pnomatik aletlerde egzoz gürültüsünü ve mekanik titreşimleri azaltmak için metal köpükten yapılmış uygun susturucular kullanılabilir (Şekil 2.24), (Banhart, 2000).



Şekil 2.24 Metal köpük susturucular (Degischer vd., 2002)

3. KÖPÜK METAL BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Alüminyum köpükler gözenekli yapıları ile mevcut farklı uygulamaların ilgi alanındadır. Birçok yayın özelliklerinden ve mümkün uygulamalarından bahsederken, alüminyum köpük yarı mamul ürün yapıları hakkında sınırlı bilgi bulunabilir (Bernard vd., 2001). Literatürdeki birçok çalışma gözenekli metallerin hazırlığı ile ilgilenmiş, mekanik ve fiziksel özelliklerini değerlendirmiş, fakat ikincil işlemler ile ilgili çok fazla çalışma yapılmamıştır (Sedliaková vd., 1997). Çeşitli araştırma projeleri gözenekli yapıların mekanik özelliklerinin karakterizasyonu ve simülasyonu üzerine yoğunlaşmış, diğer amaçları ise gözenekli metallerin üretim maliyetlerini düşürmek olmuştur (Degischer vd., 2002).

Uygun birleştirme yöntemleri olmadan, alüminyum köpüklerin endüstride kullanımı elverişli değildir. Uygulanabilir bağlantı teknolojileri olmadan parçaların seri üretimi de olanaksızdır. Mühendislik yapılarında metal köpüklerin kullanılabilmesi için farklı malzemeler ile birleştirme yöntemlerinin geliştirilmesi gerekir (Olurin vd., 2000; Degischer vd., 2002).

Metal köpükler sahip oldukları gözenekli yapı ile bazı yönlerden ahşaba benzer. Bu nedenle alüminyum köpükler ahşapların birleştirilmesi için geliştirilen ahşap vidası, yapıştırıcı bağlantısı veya gömülü bağlantı elemanları gibi birleştirme yöntemleri ile birleştirilebilirler. Dahası metal parçaların birleştirme metotları, örneğin kaynak ve lehimlemeyi de gözenekli metallerin birleştirilmesinde uygulamak mümkündür. Şimdiye kadar üzerinde çalışılmış, uygulanabilir köpük bağlantıları, mekanik bağlayıcılar, yapıştırıcılar ve kaynaktır (Ashby vd., 2000, Degischer vd., 2002, Olurin vd., 2000).

Alüminyum köpük yapıların imalatı için çeşitli bağlantı teknolojileri vardır. Tablo 3.1’de uygun birleştirme teknolojilerinin genel hatları ve karakteristik özellikleri verilmiştir.

Birleştirme teknolojisi	Birleştirme biçimi	Birleştirme sıcaklığı	Birleştirme sınıfı	Sökülebilirlik
Perçinleme	noktasal temas	oda sıcaklığı	mekanik	hayır
Vidalama	noktasal temas	oda sıcaklığı	mekanik	evet
Yapıştırma	alan teması	oda sıcaklığı ile 180 °C	yapıştırıcı	hayır
Perçinleme / Yapıştırma	alan / nokta teması	oda sıcaklığı ile 180 °C	mekanik / yapıştırıcı	hayır
Lehim pastasız Lehimleme	alan teması	250 °C	termal	hayır
Lazer Kaynağı	çizgi teması	Erime noktası	termal	hayır

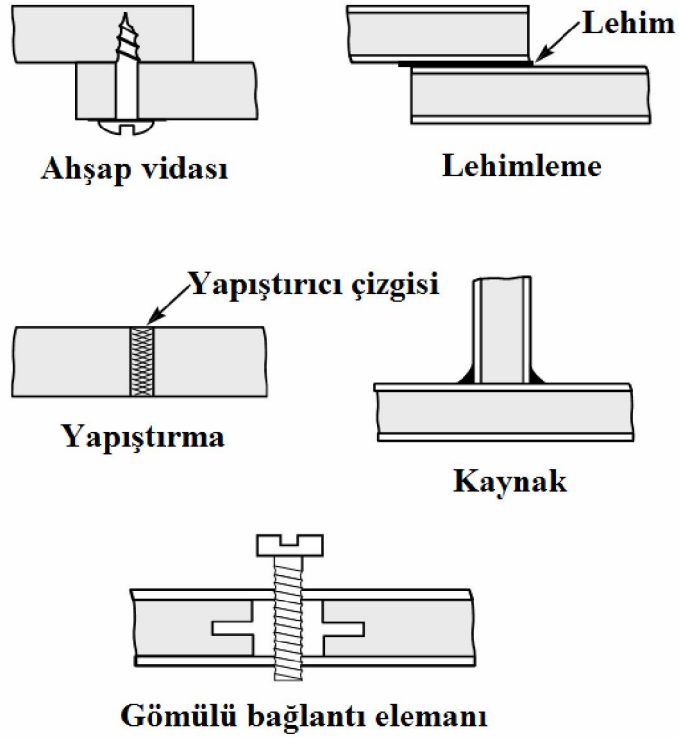
Tablo 3.1 Birleştirme teknolojilerinin karakterizasyonu ve sınıflandırılması
(Degischer vd., 2002)

Gözenekli yapıya sahip metal köpük malzemelerin yüksek kalitede birleştirilebilmesi özel teknikler gerektirir:

- Metal köpüklerin birleştirilmesinde yapıştırıcıların kullanımı uygundur.
- Birleştirmede kaynak ve lehim kullanımı mümkündür.
- Dişli, gömülü ve civatalı bağlantı elemanlarının yorulma yüklerine karşı görevlerini yerine getirebilmeleri için iyi tasarlanmaları gerekir (Ashby vd., 2000).

Köpük metallerin birleştirilmesinde kullanılan mevcut birleştirme yöntemleri listelenmiş ve aşağıda açıklanmıştır (Şekil 3.1).

- Mekanik bağlantı elemanları ile birleştirme
- Kaynak ile birleştirme
- Lehimleme ile birleştirme
- Yapıştırıcı ile birleştirme



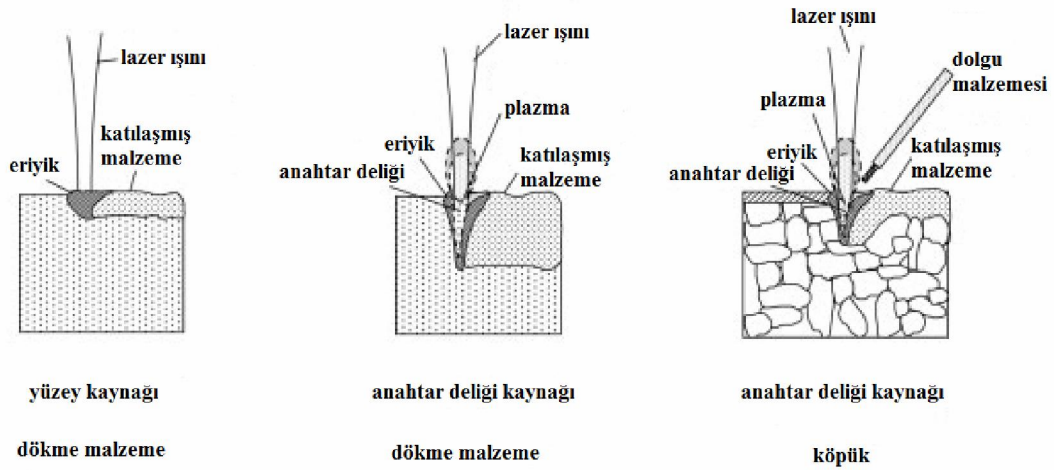
Şekil 3.1 Metal köpükleri birleştirme ve bağlama yöntemleri (Ashby vd., 2000)

3.1. Kaynak ile Birleştirme Yöntemi

Metal köpük birleştirme yöntemlerinden üzerinde en fazla araştırma ve çalışma yapılan birleştirme yöntemidir.

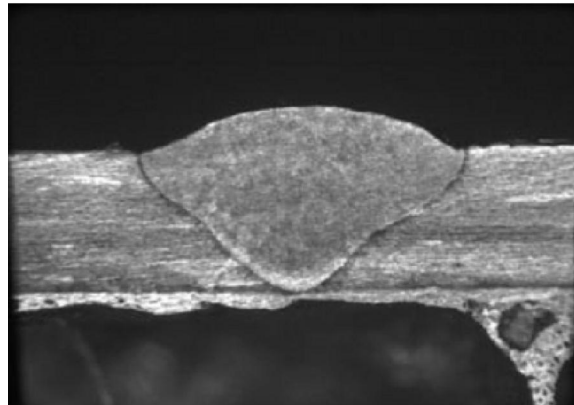
Alüminyum köpük sadece alüminyum alaşımı ve hava gözeneklerinden meydana gelir. Bazı alüminyum alaşımlarının kaynak kabiliyeti çok iyidir, alüminyum metal köpüklerde kaynak edilebilir. Doldurucu olarak köpürebilen malzeme kullanılır ise iyi kaynak bağlantıları elde edilir. Böyle bir dolgu malzemesi ile birlikte kaynak, köpük parçaların tamiri içinde kullanılabilen bir yöntemdir. Alüminyum köpüğün yüzeyindeki değişken ve gözenekli yapı nedeni ile kaynak problemleri oluşur. Kaynak bağlantı yerine kontrollü ısı girişi (lazer kaynağı) sağlanarak kısmen bu problemin üstesinden gelinebilir. Lazer ışın kaynağı ve ultrasonik kaynak yöntemleri alüminyum

köpüklerin birleştirilmesi için kullanılabilir. Ultrasonik kaynak yönteminin karakteristiği gereği, birleştirme yöntemi katı hal sürtünmeye dayalıdır ve sonuç olarak etkin bir kaynak yöntemi değildir. Birleştirilen iki bileşende kaynak sırasında sıvı faza geçmektedir. Lazer ışın kaynağı alüminyum köpük metaller için geçerli bir birleştirme teknolojisidir. Minimum ısı girişi ve anahtar deliği etkisi gibi özellikleri sayesinde yapıdaki derin parçalar bile kaynak edilebilir (Şekil 3.2), (Sedliaková vd., 1997, Degischer vd., 2002).



Şekil 3.2 Metal köpük malzemelerin lazer kaynağı
(Degischer vd., 2002)

Son dönemdeki çalışmalar göstermiştir ki lazer kaynağı ile anahtar deliği etkisi alüminyum yarı mamul ürünlerde, alüminyum alaşımların ve alüminyum köpüklerin birleştirilmesi için uygulanabilir yöntemdir (Bernard vd., 2001). Lazer kaynak yöntemi seri üretim için uygundur. Sandviç yapıların kaynağında sadece levha yüzeyleri birleştirilir, çekirdek katman ise etkilenmeden kalır. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi hücreli yapı bölgesel termal hasardan etkilenmemiştir.



Şekil 3.3 Lazer kaynağı (Degischer vd., 2002)

Lazer kaynağı ile yapılan çalışmalar umut vermektedir fakat bu teknik iyi bir kontrol gerektirmektedir ve maliyeti çok yüksektir (Ashby vd., 2000).

TIG ve MIG kaynağı alüminyum köpük çekirdekli sandviç yapı veya alüminyum köpük çekirdekli sandviç yapı ile alüminyum parçaların birleştirilmesi için son derece uygundur. Bu tekniklerin avantajları, esnek uygulama olanakları, fazla deneyime ihtiyaç olmaması ve düşük yatırım maliyetleridir (Degischer vd., 2002).



Şekil 3.4 TIG kaynağı (Degischer vd., 2002)

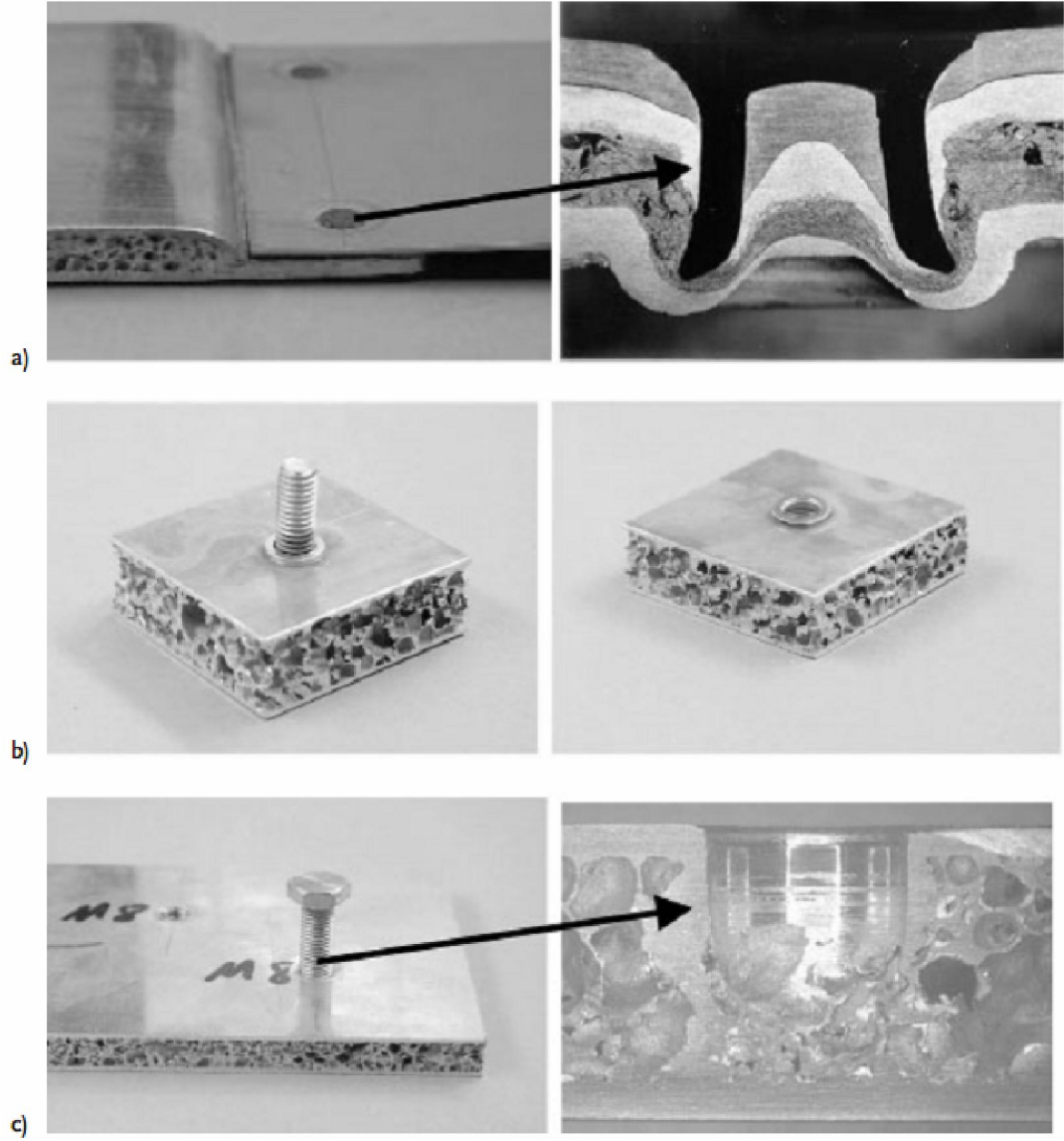
Bu yöntemler dışında literatürde sürtünme karıştırma kaynağı ve difüzyon kaynağı ile de köpük metal yapıların birleştirilmesi için çalışmalar yapıldığından bahsedilmiştir. Yapılan çalışmalar ve pratik uygulamalarda genellikle alüminyum köpük çekirdekli sandviç yapılar kaynak edilmiştir. İki köpük metal parçanın kaynak ile birleştirilmesi hakkında bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kaynak bağlantıları gelecek vaat etmektedir fakat bu teknik daha fazla gelişmeye ihtiyaç duymaktadır ve pratik uygulamalara göre nispeten pahalıdır (Degischer vd., 2002).

3.2. Mekanik Bağlantı Elemanları ile Birleştirme Yöntemi

Köpük metaller için çok çeşitli mekanik bağlantı elemanı mevcuttur (Şekil 3.5). Çoğu mühendislik malzemesinin aksine köpükler plastik olarak sıkıştırılabilirler. Yani köpükler ağaç vidaları, çiviler ve benzerleri ile bağlanabilirler. Çivi, vida, perçin gibi bağlantı elemanlarının yanı sıra birleştirmede metal dolgulu içi boş kürelerde kullanılabilir. Fakat bunların sakıncası, köpükler kolayca çöktüğü için perçin ve kalınlığı boyunca uygulanan kelepçelerin (örnek olarak somun ve cıvata montajları) çözülmesidir (Olurin vd., 2000, Degischer vd., 2002). Köpük metallerin çiviler ile birleştirilmesinde sadece sürtünme bağlantılı mekanizmalar elde edilir. Bu bağlantı türünün teknik uygulamalar için dayanımı çok düşüktür. Perçinin pürüzsüz yüzeyinden dolayı perçin ile birleştirmede sadece gövde alanı kadar sürtünme bağı mekanizması oluşur. Gövde alanı temelde deliğe bitişik hücre kenar sayısı tarafından belirlenir. Sürtünme bağı mekanizması metal köpüklerin bağlanması için yeterli değildir; bu yüzden perçin bağlantıları şekil bağı mekanizması ile kombine edilmelidir. Şekil bağı bağlantı mekanizması perçin kafaları ile sağlanabilir. Yapıdaki parçaların kaynak ile birleştirilmesindeki termal etki problemi ve karmaşık yapıların artışı nedeni ile perçinle birleştirme teknolojisi son yıllarda zorunlu olarak kullanılmıştır. 1994'ten bugüne perçinle birleştirme yöntemi AUDI A8' in yapısında kullanılmaktadır (Degischer vd., 2002).

Gözenekli metal parçaların cıvata ile birleştirilmesi, kolay, hızlı, esnek ve düşük maliyetlidir ayrıca bu bağlantılar sökülebilir. Bağlantının dayanımı öncelikle köpük yoğunluğuna ve gözenek boyutuna bağlıdır. İnce gözenekli köpük kullanımı ile bağlantıda yüksek dayanım elde etmek mümkündür (ince gözenek cıvata dişleri için geniş temas yüzeyi sağlar). Cıvata bağlantısında, delinen deliği uygun yapıştırıcı ile doldurmak bağlantı dayanımını önemli ölçüde iyileştirir.

Şekil bağı bağlantı mekanizması sadece perçin kafaları ile değil aynı zamanda vidaların vida dişleri ile yapılabilir. Vidanın sıkılması ile köpük malzeme sıkışır, vida dişlerini yeterince malzeme doldurur ve böylece şekil bağı bağlantı mekanizması oluşur (Degischer vd., 2002).



Şekil 3.5 Alüminyum köpük sandviçlerin değişik birleştirme teknikleri: a) punch perçinleme, b) vida ve somun perçinleme, c) civatalama (Degischer vd., 2002)

Köpük metal yapıların bağlantıları, ahşap için özel olarak geliştirilmiş vida dişine sahip vidalar ile yapılabilir. Eğer ahşap vidaları alüminyum köpüklerin birleştirilmesinde kullanılır ise, bağlantı dayanımı aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

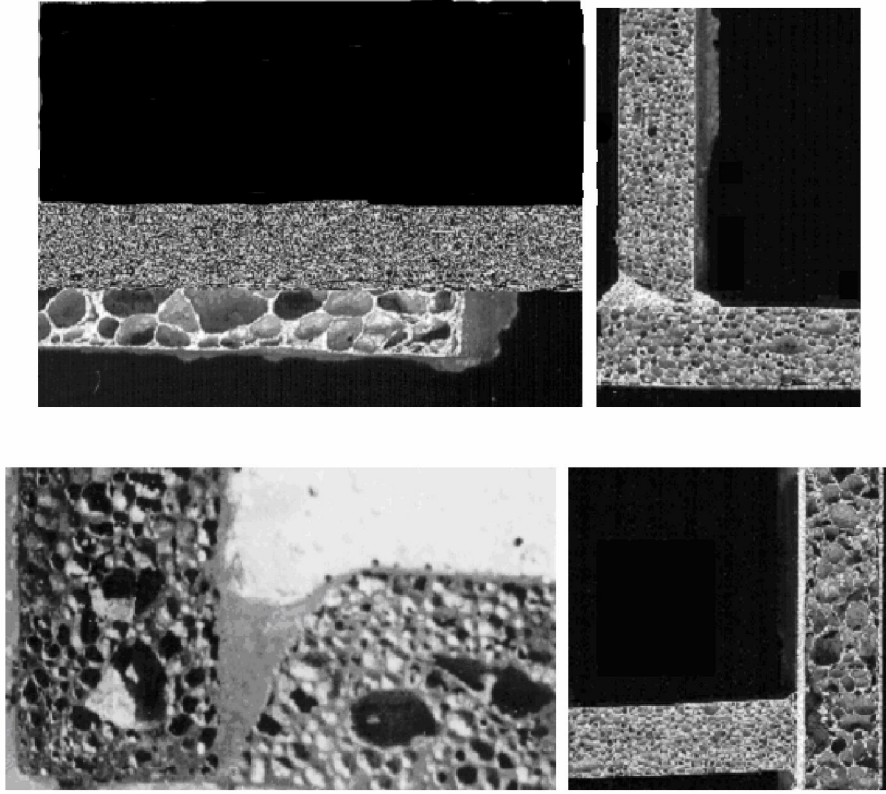
- Vida tipi (çap)
- Sıkma torku
- Önceden delinmiş deliğin çapı
- Köpük içindeki vidanın boyu
- Köpük yüzey kaplaması
- Köpüğün yoğunluğu
- Hücre duvarı malzemesinin özellikleri

Genellikle bağlantının dayanımı köpüğün yoğunluğuna bağlıdır, yoğunluk azaldıkça bağlantı dayanımı azalmaktadır (Sedliaková vd., 1997).

Mekanik bağlantı elemanları ile köpükleri birleştirmek için bir diğer yöntemde integral köpük uygulamalarıdır. Bu parçalar, örneğin vida soketleri, köpürtme prosesi sırasında köpük yapıya entegre edilebilir. Ancak vida soketlerinin köpürme hareketi sırasında yerinden çıkmamaları için bölgesel olarak yayılmaları ve kusursuz konumlandırılmaları gerekir. Sonuç olarak bu parçaların entegrasi ile köpük yapıların ağırlıkları ve üretim maliyetleri artar (Degischer vd., 2002).

3.3. Lehim ile Birleştirme Yöntemi

Metalik köpüklerin lehimlenmesi bazı problemlere rağmen kullanılan pratik birleştirme yöntemlerinden biridir (Şekil 3.6). Kullanılan alaşıma bağlı olarak metal yüzeyler genellikle alümina ve çeşitli oksitlerle kaplıdır. Oksitler lehimli bağlantıların oluşumunu engeller, bu nedenle oksit tabakası lehim sırasında veya öncesinde yüzeyden kaldırılmalıdır. Oksit tabakasının kaldırılması için iki yöntem vardır: birincisi kazıma, fırçalama veya ultrason ile mekanik tahribat, diğeri ise kimyasal (lehim pastası) uygulamalarıdır. Oksit tabaka döküm yüzeyden mekanik olarak kolayca kaldırılabilir ancak bu operasyon pahalıdır. Lehim pastası sadece kompakt yüzey kaplaması olan köpüklerde kullanılmalıdır, aksi taktirde gözenekli yapının içine işleyebilir. Lehim pastası gözeneklerden tamamen uzaklaştırılmaz ise korozyon tehlikeli şekilde artar. Lehim işleminden sonra lehim pastası yıkanarak yüzeyden uzaklaştırılmalıdır (Sedliaková vd., 1997, Ashby vd., 2000, Degischer vd., 2002).



Şekil 3.6 Çeşitli lehim bağlantı tipleri (Sedliaková vd., 1997)

Alüminyum köpüklerin lehimlenmesinde kullanılan lehim tiplerine örnek olarak:

- Sn90Zn – erime sıcaklığı 250 °C
- Cd82Zn – erime sıcaklığı 300 °C
- Sn70Zn – erime sıcaklığı 350 °C
- Zn90Sn – erime sıcaklığı 420 °C

verilebilir (Sedliaková vd., 1997).

Sert lehimleme de ($T > 450$ °C) alüminyum köpükler için uygulanabilir bir birleştirme yöntemidir. Sert lehimleme işleminde önce mevcut lehim pastaları ile yapının nemden korunması için kaplanması tavsiye edilir. Sert lehimler tercihen alüminyum esaslı olmalı ve fırın atmosferi inert olmalıdır. Lehimleme için kullanılan bir başka teknoloji ise Euromat tarafından geliştirilen S-bağ işlemidir. Bu lehim SnAg4Ti4 kimyasal kompozisyonuna sahiptir ve erime sıcaklık aralığı 220–229 °C’dir. S-bağ lehim pastasız lehimleme işlemidir, erimiş lehim malzemesinin etrafında oluşan mekanik sökme kuvvetinin oksit tabakasını uzaklaştırması olarak tanımlanır. Lehimleme işlemi esnasında yüzey katmanında oksitler kısmen sökülüştür, bu yüzden

lehim malzemesi ve yüzey arasındaki metalurjik etkileşim oksit tabakasının yerini alır. Ayrıca lehim malzemesi yüzeydeki oksit tabakanın altından sürünür ve yüzeyi tamamen ıslatır. Yüzey ıslatmanın her yerde gerçekleşebilmesi için her iki yüzey mümkün olduğunca düz olmalıdır. S-bağ birleştirme şekli uygulanarak esas malzeme ve lehim arasında difüzyon bölgeleri oluşturulabilir. S-bağ; tel, çubuk veya folyo olarak geniş bağlantılarda ilginç alternatifler olarak kullanılabilir (Degischer vd., 2002).

Alternatif olarak genişleyen köpüklü dolgu malzemesi lehimlemede kullanılabilir. Dolgu malzemesi lehimleme işlemi esnasında genişler. Bu şekilde köpük gözenekliliğindeki beklenmedik değişim önlenir. Dolgu malzemesinin genişlemesi sırasında gözenekli esas malzemenin deforme olmaması için, dolgu malzemesinin çalışma sıcaklığı gözenekli esas malzemeden düşük olmak zorundadır.

Lehimleme işleminden önce alüminyum köpük kullanılacak lehimin erime sıcaklığına ısıtılmalıdır. Isıtma işlemi iki şekilde yapılabilir, plakalı ısıtıcıda köpük numune bütün olarak ısıtılır veya bölgesel ısıtma yapılabilir. Eğer plakalı ısıtıcı kullanılır ise sıcaklık çok iyi bir şekilde kontrol edilebilir ancak zaman ve enerji tüketimi bölgesel ısıtmaya göre bilhassa büyük parçalarda önemli ölçüde artar. Diğer taraftan bölgesel ısıtma köpükte aşırı ısınmaya neden olabilir ve lehim katılaşmadan önce oksitlerin hızlıca giderilmesini gerektirir (Sedliaková vd., 1997).

Lehimi kısıtlayan malzemenin dış yüzeyidir. Lehimleme için köpüklerde döküm yüzeyin varlığı tavsiye edilir. Döküm yüzey olmazsa lehim gözeneklerin içine akar, fakat yapıştırılmış numunelerin aksine hücre duvarlarında malzeme-şekil bağlantısı oluşturamaz. Sonuç olarak, kalan birleştirme alanı mevcut hücre kenarları sayısı ile sınırlı olacak, bu da yapının dayanımının azalmasına neden olacaktır. Lehim pastası sadece sandviç yapılarda başarı ile uygulanabilir. Köpük yüzeylerinde genellikle küçük çatlaklar ortaya çıktığından, sandviç yapılarda lehimlemeden önce pastalama uygulanmalıdır. Lehim pastası ile yapılan lehimleme levha-köpük kompozitler için uygun değildir, bağlantı boyunca tüm yüzeyde lehimleme sağlanamaz. Yüzey kaplaması olmayan köpükler de lehim pastası kullanılmayan lehimleme tercih edilmelidir, bağlantının dayanımı yüzey kaplaması olan numunelerden oldukça düşüktür (oksitler açık yüzey gözeneklerinden kazıma ile tamamen kaldırılamaz). Sn- ve Zn- esaslı

alaşımların alüminyum ile kombinasyonları korozyon problemine neden olduğu için gerekli tedbirler alınmalıdır. Lehimli bağlantının dayanımı genellikle köpüklü numunenin dayanımından düşüktür. Bunun nedeni, bağlantı yakınındaki temel alaşımın dayanımının lehimin olumsuz etkisi yüzünden azalmasıdır (Sedliaková vd., 1997, Ashby vd., 2000, Degischer vd., 2002).

3.4. Yapıştırma ile Birleştirme Yöntemi

Köpükler, metalleri yapıştırmak için kullanılan yapıştırıcılar ile yapıştırılabilir. Bu bağlantılar çok basit ve esnek şekilde yapılabilir. Yapıştırma bağlantısının dayanımı genellikle köpük malzemenin dayanımından daha fazladır. Basitliği ve esnekliği nedeni ile yapıştırma bağlantıları kalıcı bağlantılar oluşturmak için tavsiye edilen birleştirme yöntemlerindendir.

Ancak, yapıştırma bağlantılarının,

- Bağlantıda düşük ısı kararlılık,
- Birleştirilmiş malzeme ve yapıştırıcıda farklı ısı genleşme katsayıları,
- Yapıştırıcının yaşlanması nedeni ile yapıştırma bağlantısı dayanımının azalması,
- Isıl ve elektriksel izolasyon bariyeri oluşturma

gibi bazı dezavantajları vardır (Sedliaková vd., 1997, Ashby vd., 2000, Degischer vd., 2002, Olurin vd., 2000).

Tasarım için bu olumsuzluklar kritik değil ise yapıştırıcılar (özellikle epoksiler) düşünülmesi gereken basit ve etkili bağlayıcılardır. Yapıştırma tipik olarak sandviç panel yapımında kaplama levhaları ile metal köpükleri birleştirmek için kullanılır (Ashby vd., 2000).

	Dip kısım birleştirme	T birleştirme	Üst üste birleştirme
Kör perçinleme	hayır	hayır	evet
Vidalama	hayır	evet	evet
Yapıştırma	evet	evet	evet
Perçinleme / yapıştırma	hayır	hayır	evet
Lehimleme	evet	evet	evet
Kaynak	evet	sınırlı	sınırlı

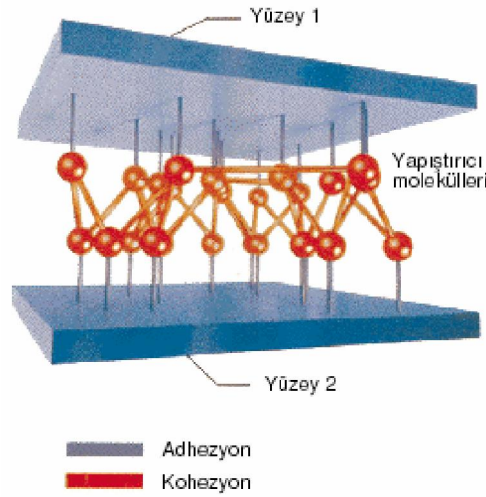
Tablo 3.2 Uygulanabilir birleştirme teknolojileri için köpük-köpük birleştirme geometrileri (Degischer vd.; 2002)

Alüminyum köpükler için yapıştırma uygulanabilir bir birleştirme teknolojisi olarak tanımlanmıştır (Tablo 3.2). Yüksek sıcaklık ile kürleştirilebilen yapıştırıcılar, kür boyunca katodik elektrolitik kaplanabildiğinden daha fazla işlem basamağı gerektirmez ve otomobil üretiminde çok kullanışlı hale gelirler. Epoksi esaslı sistemlerde geleneksel veya genişleyen yapıştırıcılar mevcuttur. Genişleyen yapıştırıcılar içi boş çekilmiş profil içine, entegre köpük gövdeleri yüksek toleransla bağlamak için çok uygundur. Isıl kür işlemi istenmez ise, oda sıcaklığında kür olabilen iki bileşenli yapıştırıcılar kullanılabilir (Degischer vd., 2002). Birleştirme teknolojileri grubunun üyesi olan yapıştırma, malzeme-şekil birleştirme mekanizması oluşturur. Birleşmenin nedeni malzeme yüzeyi ile yapıştırıcı arasındaki adhezyon kuvvetleridir. İyi bir yapıştırma işleminde, yapışma bağlantısı ara yüzeyinde bozulmamalıdır, yapıştırıcı ile malzeme arasındaki adhezyon kuvveti, yapıştırıcı içindeki kohezyon kuvvetinden fazla olmalıdır. Standart epoksi yapıştırıcılar ile yapılan birleştirmelerin bağlantı bölgesi bile köpüğün yapısından daha sağlamdır. Yapıştırma bağlantısı, tasarımın diğer gereksinimlerine uygun olması şartı ile mekanik olarak etkili ve ekonomik bir birleştirme yöntemidir (Olurin vd., 2000).

4. YAPIŞMA

4.1. Yapışma İşlemi

Yapıştırıcılar, aynı veya farklı malzemeden yapılmış yüzeyler arasında bir çeşit köprüdür. Yapışma mekanizması iki ana olaya bağlıdır. Birincisi, yapıştırıcı ile malzeme arasında meydana gelen, kimyasal ve fiziksel olarak gerçekleşen adhezyon olayı ikincisi ise, yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon olayıdır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Yapıştırma yüzeylerinde oluşan kuvvetler (Loctite, 1998)

Adhezyon: İki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. Yapıştırıcı ile yapıştırılacak yüzey arasında meydana gelir. İki yüzeyin ara yüzey kuvvetleri (valans kuvvetleri) tarafından bir arada tutulması olayıdır (Şekercioğlu vd., 2008).

Adhezyon teorileri şunlardır;

- Mekanik kilitlenme teorisi

- Difüzyon teorisi
- Fiziksel adsorbsiyon teorisi
- Elektrostatik teori
- Kimyasal yapışma teorisi
- Zayıf sınır tabaka teorisi

(Adams vd., 1997)

Kohezyon: Yapıştırıcının kendi yapısı içerisinde meydana gelir. Yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvetlerdir. Kohezyona etki eden kuvvetler şunlardır; moleküller arası çekim, fiziksel kuvvetler (Van der Waals kuvvetleri) ve polimer moleküllerinin kendi aralarında kenetlenmesi (kimyasal kuvvetler)'dir.

4.2. Yapışmayı Etkileyen Faktörler

Yapıştırıcının kimyasal formülasyonunda yer alan yapıştırıcıdan sorumlu polimerik maddeler, bazı fiziki ve kimyasal faktörlerin etkisiyle yapışma sağlamaktadır. Aşağıda yapışmayı etkileyen faktörlerden en önemlileri yer almaktadır. Yapışmanın gerçekleşmesinde faktörlerden biri veya birden fazlası etkili olabilmektedir.

Sıcaklık: Yapıştırıcıların çoğu oda sıcaklığında etkili olurlar. Ancak yüksek sıcaklık ile yapıştırıcı daha etken olur ve yapışma süresi kısalmır. Birçok kimyasal reaksiyonda olduğu gibi sıcaklıkla reaksiyon hızında artış olur. Ancak sıcaklığın kontrolü iyi bir şekilde yapılmalıdır. Aksi halde yapıştırıcıyı oluşturan polimerik maddenin bozunması ihtimaliyle karşılaşılır.

Basınç: Film ve bant halinde olan yapıştırıcıların kullanılması durumunda, hem bulundukları yerin şeklini almaları hem de yapışmalarını sağlamak amacıyla hafif bir baskı kuvveti uygulanması etkin olmalarını sağlar ve yapışmanın zamanını azaltır.

Zaman: Yapıştırıcının kuruyarak, pişerek etkin hale gelmesi için birkaç saniyeden birkaç güne varan bir sürenin geçmesi gerekir. Geçen bu süre yapıştırıcının etkin olma süresidir. Bu süre basınç, sıcaklık veya katalizörler yardımıyla düşürülebilir.

Katalizör: Bazı yapıştırıcıların etkin olmaları için katalizör gibi reaksiyon artırıcı, başlatıcı ve hızlandırıcı maddelerin formülasyonda bulunması gerekir. Bu amaçla kullanılan kimyasal maddelerin her biri değişik sıcaklıkta etkinliklerini göstererek yapışmayı sağlarlar. Termoset ve elastomerik yapıştırıcı türlerinde olduğu gibi tek ve iki bileşenli yapıştırıcılarda katalizörler büyük önem taşımaktadır.

Oksijen: Bazı yapıştırıcılar etkinliklerini ortamda oksijen olmadığı zaman (anaerobik) gösterirler ve oksijensiz ortamlarda yapışırlar. Oksijenin bulunduğu ortamda bozulmadan uzun süre saklanabilirler.

Çözücü: Su veya organik esaslı çözücüler kullanılarak hazırlanan yapıştırıcılar, yapışmayı, çözücü maddenin ortamdan oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta buharlaşarak ayrılması sonucu sağlarlar.

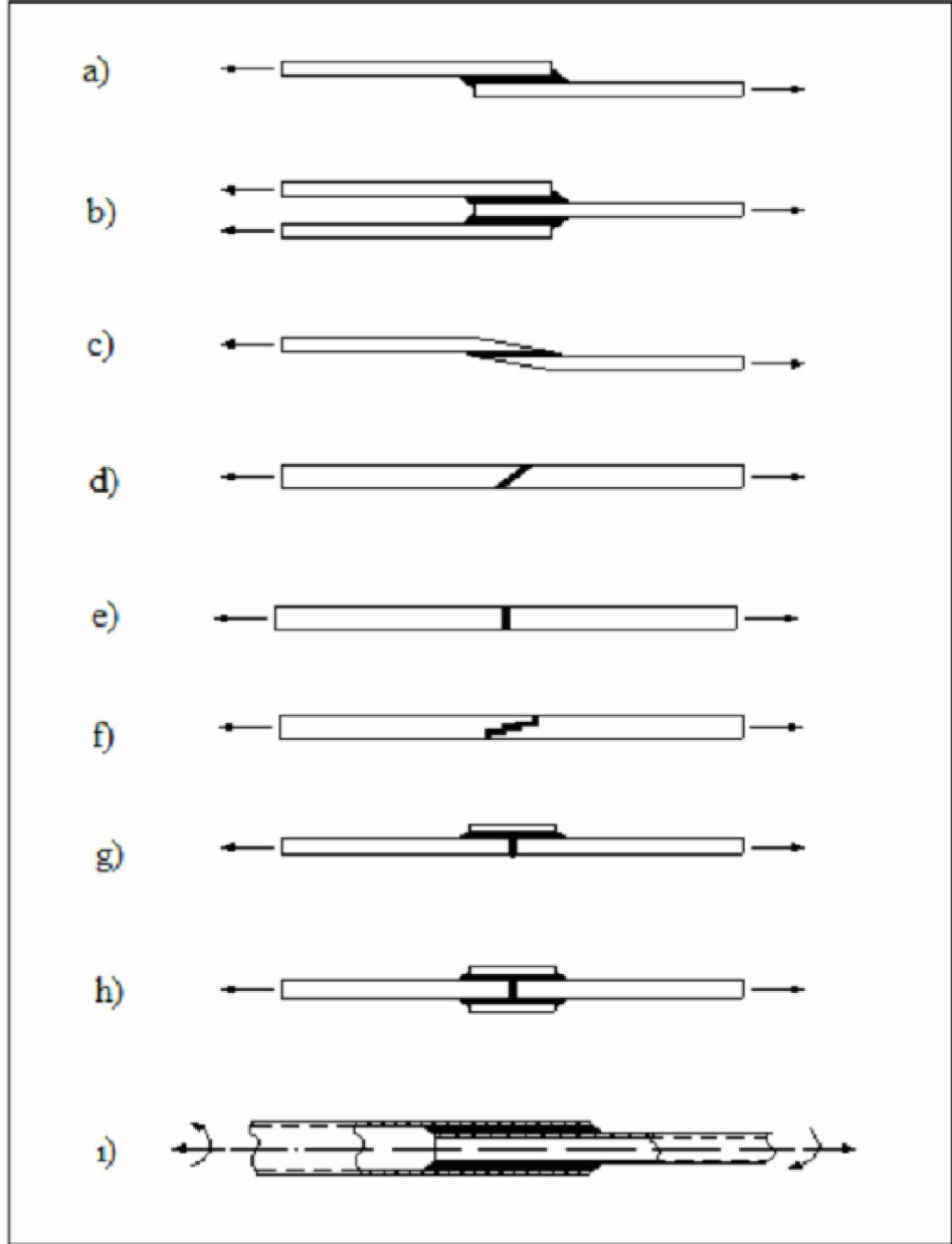
Rutubet ve Su: Poliüretan, siyanoakrilat ve silikon türü yapıştırıcılar; havada bulunan rutubet veya uygulandıkları yerdeki su ve rutubet vasıtasıyla reaksiyona girerek yapışmayı sağlarlar.

Ultraviole Işımlar: Son zamanlarda geliştirilen bazı yapıştırıcılar ultraviole ışıklardan etkilenecek şekilde yapışmayı sağlamaktadırlar. Tek bileşenli bazı akrilik türü yapıştırıcılar ultraviole ışınları ile kürleşmektedirler (Şekercioğlu vd., 2008).

4.3. Yapıştırma Geometrilere

Yapıştırma bağlantıları çekme, basma, kayma, soyulma veya bu yüklerin kombinasyonları şeklinde yüklenebilir. Yapıştırma bağlantısından en iyi performansı

elde etmek için, bağlantının maruz kalacağı yük durumları tespit edilerek, tasarımda yapıştırma geometrisi buna uygun seçilmelidir. Yapıştırma bağlantı geometrileri (Şekil 4.2)'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Yapıştırma bağlantısı geometrileri (Adams vd., 1997)

- | | |
|-------------------------------------|---|
| a) Tek taraflı bindirme bağlantısı | f) Kademeli bağlantı |
| b) Çift taraflı bindirme bağlantısı | g) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı |
| c) Pahlı bindirme bağlantısı | h) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı |
| d) Açılı bindirme bağlantısı | i) Silindirik bindirmeli bağlantı |
| e) Alın altına bağlantı | |

4.4. Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlanması

Yapışma bağlantısının istenen nitelikte olması için iyi bir ön-işlem uygulanması gereklidir. Yapışma kuvveti büyük ölçüde yapıştırılacak yüzeyler ile yapıştırıcı arasındaki adhezyon kuvveti tarafından belirlenir.

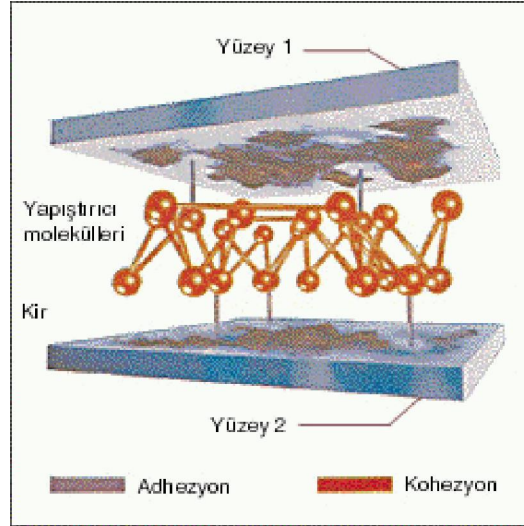
Adhezyon kuvvetinin artırılabilmesi için aşağıdaki işlemler uygulanabilir:

- Yağ alma veya mekanik aşındırma ile istenmeyen yüzey tabakalarının temizlenmesi,
- Primer ile kaplayarak yeni, aktif bir yüzey oluşturulması,
- Aşındırma, korona işlemi, düşük plazma işlemi vs. ile yüzey aktivitesinin değiştirilmesi.

Yüzeyler iyi temizlendiği ve ön-işlem yapıldığı oranda yapışma kuvveti artacaktır. Eğer yapıştırıcı yüzeyleri tam ıslatamaz ise iyi yapışma gerçekleşmez. Başarılı bir yapıştırma bağlantısının ilk adımı yüzeylerin uygun şekilde hazırlanmasıdır. Yapıştırma işleminden önce yüzeylere gerçekleştirilebilecek uygulamalar aşağıda verilmiştir.

4.4.1. Yapıştırılacak yüzeylerin yağdan ve kirden arındırılması

Mümkün olan en iyi yapışma bağlantısını elde etmek için yapıştırılacak yüzeylerden yağ, gres, toz ve diğer kalıntıların tamamen temizlenmesi gerekir (Şekil 4.3). Kalıntı bırakmadan buharlaşan solventler bu işlem için uygundur. Birçok uygulamada yüzeylere hızlı ve etkili bir temizleyici ile ön-işlem yapılması yeterlidir. Bu şekilde yüzeyler yağ, gres, kirden temizlenir ve yapıştırma için hazır olur. Solventler ile temizlik yapılırken daha iyi netice almak için, yüzeylerden kiri ayıran kimyasal işlem mekanik olarak desteklenebilir (Loctite, 1998).



Şekil 4.3 Yapıştırılacak yüzeydeki kirlerin adhezyon kuvvetini azaltması (Loctite, 1998)

4.4.2. Mekanik ön işlem

Kirli metal yüzeyler çoğunlukla bir oksit tabakasıyla kaplıdır ve bu tabaka yağ alma ile temizlenemez. Böyle durumlarda, zımparalama, taşlama veya tel fırça ile fırçalama gibi mekanik ön-işlem gereklidir. Zımparalama geniş yüzeyleri temizlemek için iyi bir yöntemdir. Çok kalın zımpara kullanmamak kaydıyla, bu yöntemle elde edilen yüzey pürüzlüğü çok iyi yapıştırma sağlar. Zımpara izleri yüzeyde çeşitli yönlerde olmalıdır. Taşlama ile de aynı şekilde iyi bir yüzey pürüzlüğü elde edilir. Bu yöntemde yüzey pürüzlüğünü iyi seçmek önemlidir. Taşlama, zımparalama veya fırçalama işlemi öncesi ve sonrası tüm kalıntıların temizlenmesi için parçalara yağ alma işlemi uygulanmalıdır.

Alüminyum ve alaşımlarının yüzeyindeki oksit tabakası yüzeye çok iyi tutunmadığı için, yapıştırma işleminden önce yüzeyden uzaklaştırılmalıdır. Bunun en basit yolu mekanik aşındırmadır. Pratikte mekanik ön-işlem metotlarının uygulanması kolaydır ve genellikle bu işlem sonrası yeterli yapışma kuvveti sağlanabilir.

4.4.3. Yüzeylerin aşındırılması

Yüzeyleri aşındırmada aşındırıcı olan kimyasallar kullanılır. Yüzeye bağlı olarak çok asidik veya kuvvetli alkalın ürünler tercih edilir. Aşındırma sonucunda, malzeme yüzeyine reaktif gruplar eklenmesi ve yapıştırıcının mekanik olarak kenetlenebileceği gözenekler açılması nedeniyle yüzeyde değişim meydana gelir. Bu işlemin sonucu malzemeden malzemeye değişiklik gösterir. Aşındırıcı çözeltilerin uygulanması ve uygulama sonrası oluşan atığın imha edilmesinin pahalı olması nedeniyle yöntemin sanayide kullanımı sınırlıdır.

4.4.4. Yüzey iyonizasyon ön-işlemi

Yüzey iyonizasyon ön-işlemi, kimyasal ön-işleme benzer biçimde yüzeylerin polaritesini ve enerjisini değiştirir.

4.4.5. Primer kullanımı

Primer, genel anlamı ile yapışma performansını artırmak amacıyla bir yüzeye yapıştırıcıdan önce uygulanan kaplamadır. Primerler genellikle solvent içerisinde seyreltilmiş reaktif kimyasallardan oluşur. Primer, malzeme yüzeyine fırça ile sürülerek veya sprey halinde sıkılarak tatbik edilir. Taşıyıcı solventin uçması için belirli süre beklenir ve geride aktif kimyasallar kalır.

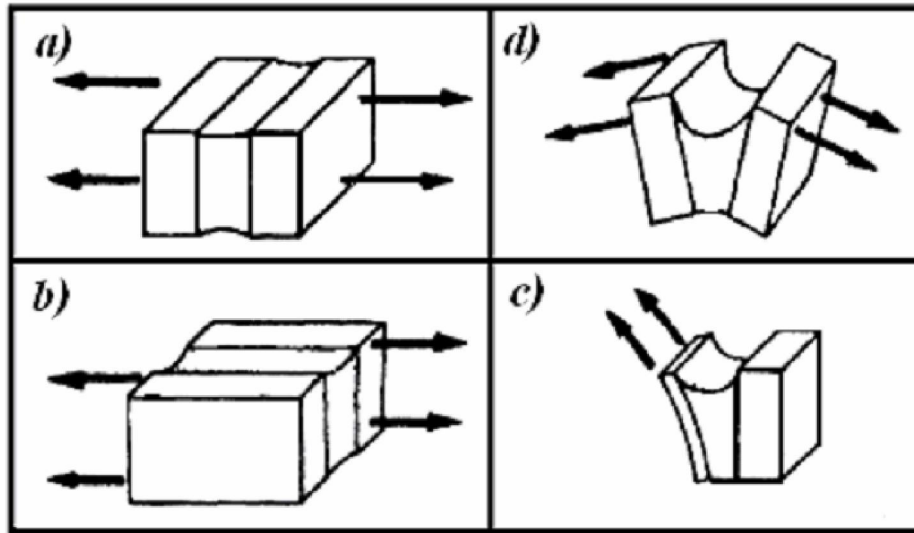
Yüzey primerleri genellikle, yüzey ile yapıştırıcı arasında kimyasal köprü oluşturarak yapışabilme özelliğini artırır. Primerdeki reaktif maddeler çok fonksiyonludur, bir dizi reaktif grup yüzey ile reaksiyona girerken ilave gruplar

yapıştırıcı ile uyumu sağlar.

Primerler, yapıştırma işleminde adhezyonun kuvvetli ve uzun ömürlü olması için kullanılırlar, fakat yapıştırıcının kürleşmesine katkıları yoktur. Malzeme yüzeyi ile yapıştırıcı arasında bir köprü olduklarından, tüm yapıştırıcılar ile kullanılacak genel bir primer yoktur (Loctite, 1998).

4.5. Yapıştırma Bağlantılarının Maruz Kaldığı Kuvvetler

Yapıştırma bağlantılarının maruz kaldığı kuvvetler Şekil 4.4'te gösterildiği gibidir.



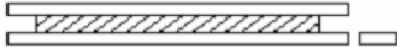
Şekil 4.4 Yapıştırma bağlantılarının maruz kaldığı kuvvetler

- a) Çekme gerilmesi, yapıştırıcının çekme mukavemeti düşük olmasından dolayı, mümkünse önlenmelidir.
- b) Kesme gerilmesi, yapıştırma bağlantıları için uygun bir yükleme şeklidir.
- c) Ayrılma, kuvvetler tek taraflı etki ettiğinden önlenmelidir.
- d) Ayırma, uygun olmadığından dolayı önlenmelidir (Rende, 2000).

4.6. Yapıştırma Ek Yerindeki Hasarın Değerlendirilmesi

Uygulanan mekanik test sonuçlarının daha iyi değerlendirilmesi veya hasarlı yapıştırma bağlantısının analizinin yapılabilmesi için yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar tiplerinin karakterize edilmesi gerekir (Şekil 4.5).

Yapıştırma bağlantılarında genelde adhezyon ve kohezyon hasarı olmak üzere iki tip hasar vardır. Adhezyon hasarı, yapıştırıcının parça yüzeylerinin birisinden komple ayrılmasıdır. Kohezyon hasarı, yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen hasardır. Bu hasar tipinde yapıştırıcı kalıntıları her iki parça yüzeyinde görülebilir.

Hasar Tipleri	
Yapıştırılan Malzeme	 Yapıştırılan malzemelerin biri veya ikisinde de hasarın olması
	 Kohesiv yapıştırılan malzeme hasarı
	 Kalkma (Deleminasyon) yoluyla hasar
Yapıştırıcı	 Kohezyon hasarı
	
	
	 Adhezyon hasarı

Şekil 4.5 Temel hasar tipleri (TS EN ISO 10365, 2001)

Hasarlanmış bir yapıştırma bağlantısının yüzeylerinin göz ile kontrolü sonucunda, hasarın, yapıştırıcı malzemeden (adhezyon veya kohezyon hasarı) veya yapıştırılan parçalardan kaynaklandığı anlaşılabilir. Kopmuş ek yerinin görünümü yalnızca zayıf noktanın nerede olduğunu gösterir, fakat kopma nedeni söylenemez. Problemi ortadan kaldırmak için, kopma nedenlerini bulmak esastır. Oluşan hasar tiplerine göre yapışma kuvvetini artırmak bazı yöntemler uygulanabilir. Oluşan hasar adhezyon hasarı ise, yapışmanın zayıf noktası, yapıştırılan parça ile yapıştırıcı arasındaki temas yüzeyidir. Bu durumda malzemenin yapıştırmaya uygun olmadığı veya yapıştırma yüzeyinin kirliliği düşünülebilir. Her iki durumda da kuvvet, yüzeye uygun ön-işlem yapılmasıyla artırılabilir. Oluşan hasar kohezyon hasarı ise, yapıştırıcı dış etkiler nedeniyle aşırı gerilmeye maruz kalmıştır (gerilme yığılmaları, sıcaklık, yaşlanma vs.). Parçaların şeklinde değişiklik yapılarak ve/veya daha uygun yapıştırıcı seçilerek problem önlenir (Loctite, 1998). Normal şartlar altındaki yüklemelerde ve deneysel çalışmalarda, kohezyon kopmasının meydana gelmesi istenir. Eğer adhezyon kopması meydana geliyorsa yapıştırma prosesinde bir yanlışlık yapılmış sonucuna varılabilir (Şekercioğlu vd., 2008).

4.7. Yapıştırıcı Çeşitleri

Yapıştırıcılar genellikle üretici firmaların verdikleri isimler ile bilinirler. Bunun haricinde yapıştırıcılar genel olarak aşağıda gösterildiği gibi gruplandırılabilirler.

4.7.1. Kürleşme mekanizmalarına göre yapıştırıcılar

4.7.1.1. Anerobik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar

Anaerobik yapıştırıcılar, oksijenle temaları kesildiğinde oda sıcaklığında kürleşen tek-bileşenli malzemelerdir. Sıvı haldeki yapıştırıcının içinde bulunan kürleştirici bileşen, havadaki oksijenle temasta olduğu sürece etkisiz kalır. Eğer yapıştırıcının oksijen ile teması kesilirse, örneğin yapıştırılacak yüzeyler arasında hapsoldüğünde, kürleşme hızla gerçekleşir. Aynı zamanda yapıştırıcının metalle teması olması durumunda kürleşme daha da hızlanır.

Anaerobik reaksiyon ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme mukavemeti,
- Yüksek sıcaklık dayanımı (-55 °C ile +230 °C),
- Hızlı kürleşme,
- Tek bileşenli olmaları nedeniyle otomatik makinalarla tatbik kolaylığı,
- Yapıştırma için parça yüzeylerinin parlatılması gerekmez, 8-40 µm. (Ra) arası yüzey pürüzlülüğü kabul edilebilir,
- Yapıştırmanın yanında sızdırmazlık ve mükemmel kimyasal dayanım,
- Yüksek titreşim mukavemeti,
- Yüksek dinamik yük mukavemeti (Loctite, 1998).

4.7.1.2. Ultraviyole (UV) ışığı ile kürleşen yapıştırıcılar

Bu yapıştırıcılar ultraviyole (UV) ışığı ile kürleşirler ve kürleşme süresi UV ışığının şiddetine ve dalga boyuna bağlıdır. Polimerizasyon UV ışığı tarafından başlatıldığından uygun ışık kaynağı ve yöntemin doğru uygulanması önemlidir.

UV ışığı ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Yüksek kesme mukavemeti,
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti,
- Kısa ilk kürleşme süresi,
- Ortam şartlarına karşı dayanımının iyi olması,
- Tek bileşenli oldukları için otomatik tatbik sistemlerine uygunluk (Loctite, 1998).

4.7.1.3. Aniyonik reaksiyonla kürleşen yapıştırıcılar (siyanoakrilatlar)

Tek bileşenli siyanoakrilat yapıştırıcılar, düşük alkalın özellik gösteren yüzeyler ile temas ettiklerinde kürleşirler. Genellikle havadaki ve yapıştırılacak yüzeydeki ortam nemi, kürleşmeyi birkaç saniye içinde başlatmak için yeterlidir. En hızlı ilk kürleşmeyi elde etmek için yapıştırılacak yüzeyler arasında boşluk olmaması gerekir. Çalışma ortamında, oda sıcaklığında %40 ila %60 bağıl nem bulunması halinde en iyi netice elde edilir. Düşük nem kürleşmeyi yavaşlatır, yüksek nem ise hızlandırır fakat yapıştırıcının tutma kuvvetini olumsuz etkiler.

Siyanoakrilat yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti,
- Yüksek kürleşme hızı,
- Çeşitli malzemelerin yapıştırılabilmesi,
- Yaşlanmaya dayanıklılık (Loctite, 1998).

4.7.1.4. Aktivatör ile kürleşen yapıştırıcılar (modifiye akrilikler)

Bu yapıştırıcılar oda sıcaklığında aktivatör ile kürleşir. Yapıştırıcının türüne göre, yapıştırıcı ve aktivatör yapıştırılacak yüzeylere ayrı ayrı uygulanabilir veya uygulamadan hemen önce karıştırılabilirler.

Modifiye akrilik yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Çok yüksek kesme ve çekme mukavemeti,
- Yüksek darbe mukavemeti,
- Geniş çalışma sıcaklık aralığı (-55 °C ile +120 °C),
- Çeşitli malzemelerin yapıştırılabilmesi,
- Yüksek boşluk doldurma kabiliyeti,
- Ortam şartlarına karşın dayanımının iyi olması (Loctite, 1998).

4.7.1.5. Ortam nemi ile kürleşen yapıştırıcılar

Bu yapıştırıcı ürünleri genellikle ortam nemi ile reaksiyonu içeren bir kondenzasyon reaksiyonu ile kürleşirler.

Bu gruba giren iki tip genel kimyasal vardır:

- Silikonlar
- Poliüretanlar

Ortam nemi ile kürleşen yapıştırıcıların genel özellikleri şunlardır:

- Mükemmel dayanıklılık,
- Esneklik, yüksek uzama yeteneği,
- Mükemmel boşluk doldurma kapasitesi.

4.7.1.6. Isı ile kürleşen yapıştırıcılar

Isı ile kürleşen yapıştırıcılar genellikle tek bileşenli yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılara verilebilecek en genel örnek, epoksilerdir. Kürleşme sıcaklığı yapıştırıcıya göre değişir, minimum kürleşme sıcaklığı 100 °C'dir. Kürleşme süresi kürleşme sıcaklığına bağlıdır ve kürleşme sıcaklığı yükseldikçe süre kısalmır.

Yalnızca ısı ile kürleşen yapıştırıcıların yanında, ısıyı ilave kürleşme yöntemi olarak kullanan başka yapıştırıcılar da vardır. Anaerobik yapıştırıcılar da yaklaşık 120 °C' de ısı ile kürleştirilebilir. Isı ile kürleşen yapıştırıcıların özellikleri yapıştırıcının kimyasal yapısı ile ilgilidir ve farklılıklar gösterebilirler.

Isı ile kürleşen epoksilerin genel özellikleri şunlardır :

- Orta ile yüksek seviyede kesme dayanımı,
- Birçok yüzeye iyi yapışma,
- İyi boşluk doldurma kapasitesi,
- Ortam şartlarına karşı yüksek dayanım (Loctite, 1998).

4.7.2. Formları açısından yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar uygulamadan önce çok çeşitli formlarda olabilirler. Formları açısından yapıştırıcılar:

- Macun tipi,
- Film tipi,
- Düşük viskoziteli,
- Reçine tipi,
- Köpük tipi,

yapıştırıcılar olarak gruplandırılabilir.

4.7.3. Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırıcılar

Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırma işlemi olarak, iki temel yapıştırıcı ile birleştirme tipi vardır. Yapısal yapıştırma, tasarım sınırları içinde yapının sürekliliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile birleştirme sistemidir. Yapısal yapıştırıcılar, yük taşıyabilen yapıştırıcılardır. Birleştirilecek elemanlara dayanım katarlar. Bu yapıştırıcılar uzay sanayi, otomotiv endüstrisi, gemicilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır (Şekercioğlu vd., 2008). Yapısal yapıştırıcılardan önemli olanlar;

- Epoksiler,
- Akrilikler,
- Metakrilatlar'dır.

4.7.3.1. Epoksiler

Epoksi yapıştırıcılar termoset (sıcakta sertleşen) reçinelerdir. Reçine ve sertleştiriciden oluşan iki bileşenli sistemler karıştırma sonrası sertleşir. Tek bileşenli epoksilerde bu iki bileşen karıştırılır ve sertleştirmek için sadece ısıtılır.

Epoksi reçineleri tek başlarına kullanılmazlar, formülasyona katılan başka maddelerle polimerize olarak veya çapraz bağlanarak değişik özelliklere sahip termoset yapıda plastik madde oluştururlar. Epoksi reçinesinden yapılan yapıştırıcılar, metallere, ahşap, cam ve seramiğe kolayca yapışırlar. Çok asidik bir ortam olmadıkça, kimyasal olarak değişik şartlara karşı oldukça dayanıklılık gösterirler (Şekercioğlu vd., 2008).

Diğer yapıştırıcılarla karşılaştırıldığında epoksiler, mükemmel sürünme özellikleri ve yüksek kesme (makaslama) dayanımlı birleştirmeler oluşturur. Soyulma ve darbe dayanımı nispeten düşüktür ancak sertleştirici olarak adlandırılan yapıştırıcıların kullanımı ile bu özellikleri iyileştirilebilir. Çalışma sıcaklıkları genelde iki bileşenli yapıştırıcılarda -50 °C ile +80 °C arası, tek bileşenli epoksilerde ise -50 °C ile +120 °C arasındır.

4.7.3.2. Akrilikler

Bu yapıştırıcılar genellikle daha kirli ve daha az yüzey hazırlığını tolere edebilecek kimyasal içeriğe sahiptirler. Kayma dayanımları epoksiler kadar iyidir. Soyulma ve darbe dayanımları iyidir. Esnek bağlantı oluştururlar. Akrilikler iki bileşenli yapıştırıcılardır ve her yüzeye bir bileşen uygulanır. Yüzeylerin birleştirilmesinden hemen birkaç dakika sonra tutunma dayanımı sağlanır. İşlem oda sıcaklığında uygulanabilir. (Şekercioğlu vd., 2008)

4.7.3.3. Metakrilatlar

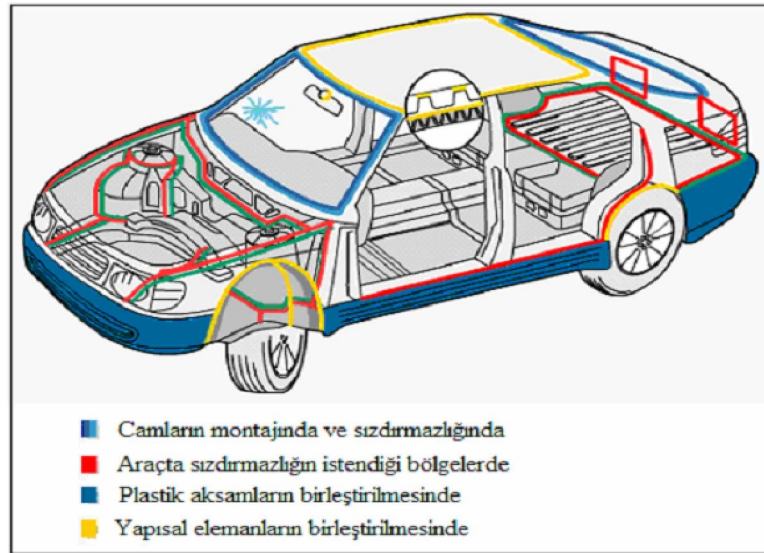
Geniş sıcaklık aralığında şoka, gerilmelere ve darbelere dirençli, yüksek çekme, kesme ve sıyrılıp ayrılma dayanımlarını çok iyi bir şekilde dengelemek için metakrilat yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Metakrilat yapıştırıcılar, plastikler, metaller ve kompozit malzemeler birleştirilirken yüzey hazırlamaksızın kullanılabilmektedirler. Suya dirençlidirler ve sağlam bir birleştirme oluştururlar.

4.8. Yapıştırıcıların Kullanım Alanları

Yapıştırıcıların özelliklerindeki gelişmeler ile birlikte kullanım alanları giderek artmaktadır. Yapıştırma işleminde metal malzemelerde kaynak, lehim gibi birleştirme yöntemlerine nazaran, malzemelerin ısıya maruz kalması nedeniyle meydana gelen kusurlar (molekül yapısındaki değişimler, gerilme yığılmaları, mukavemet azalması, çekmeler ve çarpılmalar gibi) oluşmaz ve düşük işletme maliyetleri gibi önemli avantajları vardır. Ayrıca yapıştırma bağlantılarında birleştirilen geometri için sınırlama yoktur, uygulanmaları kolaydır. Yapıştırma bağlantılarının otomotiv endüstrisinde, uzay

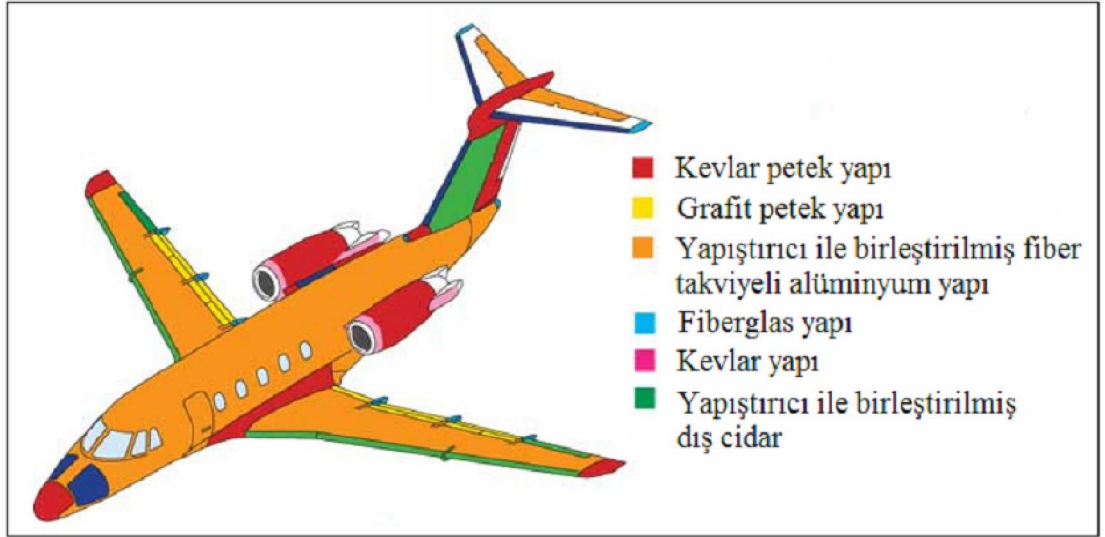
ve uçak sanayinde, petek yapıların oluşturulmasında, farklı iki malzemenin birleştirilmesinde kullanılmaları gün geçtikçe artmaktadır. Yapıştırıcılar ayrıca elektronik sanayinde, demiryolu ve deniz araçlarının yapımında da kullanılmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde yapıştırıcıların oldukça geniş kullanım alanları bulunmaktadır (Şekil 4.6). Mil göbek bağlantılarının emniyete alınmasında, rulmanlı yatakların montaj işlemlerinde, motor bloğu-kapak sızdırmazlıklarının sağlanmasında sıvı conta olarak, kapı panellerinin oluşturulmasında ve birçok cam, plastik parçaların birleştirilmesinde yapıştırıcılar kullanılmaktadır (Şekercioğlu vd., 2008).

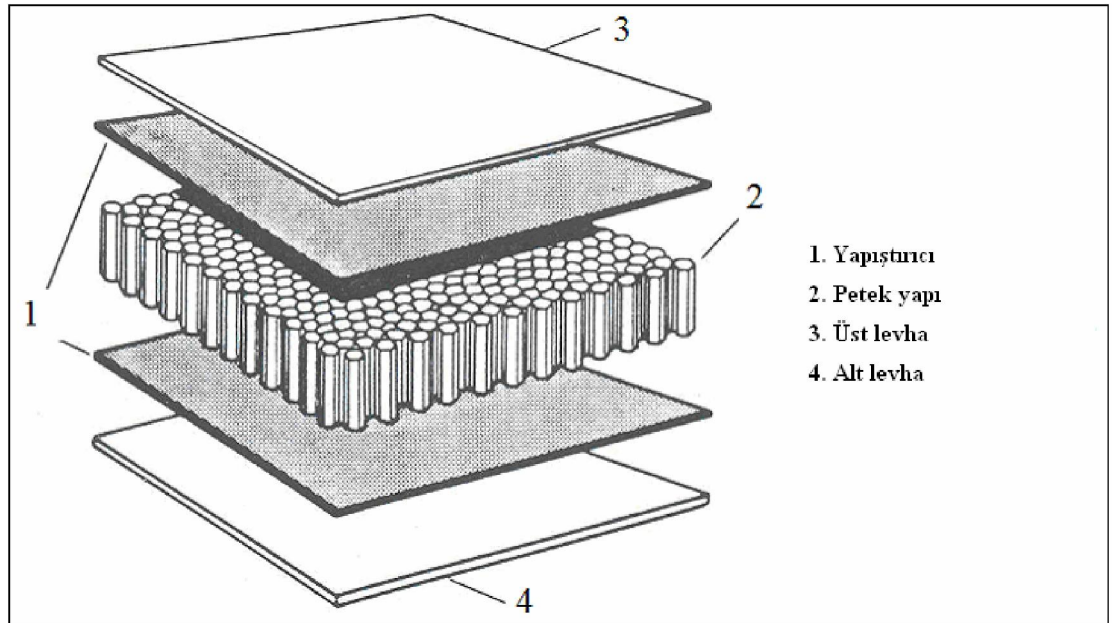


Şekil 4.6 Otomotivde yapıştırıcı kullanımı (<http://www.omnexus4adhesives.com>)

Uçakların gövdelerinde ve kanatlarında büyük miktarda yapıştırıcı kullanılmaktadır (Şekil 4.7). Uçak gövdelerinde kullanılan sandviç yapı da yapıştırıcı kullanılarak üretilir. Sandviç yapıyı petek yapıya birleştirilen levhalar (genellikle alüminyum) yapıştırıcı ile birleştirilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.7 Uçak imalatında yapıştırıcı kullanımı (<http://www.omnexus4adhesives.com>)



Şekil 4.8 Sandviç panellerde yapıştırıcı kullanımı (ASM, 1990)

4.9. Yapıştırma Bağlantılarının Avantaj ve Dezavantajları

4.9.1. Yapıştırma bağlantılarının avantajları

- Lehim ve kaynak gibi ısı açığa çıkan birleştirme yöntemlerinde esas malzemede ortaya çıkan (malzemenin moleköl yapısının değişimi, çatlak, gerilme, vb.) hasarlar yoktur,
- Esas malzemelerde özellik değişimi olmaz,
- Değişik ve karmaşık geometrili parçalar birleştirilebilir,
- Cıvata, perçin, kaynak gibi birleştirme yöntemlerine nazaran bağlantının görüntüsü iyidir,
- Diğer birleştirme yöntemlerine nazaran bağlantıda düzgün bir gerilme dağılımı vardır,
- Hassas bağlantılar yapılabilir,
- Gerekli durumlarda malzemelere hasar verilmeden demontaj yapılabilir,
- Farklı malzemeler birleştirilebilir (metal, cam, ahşap, vb.),
- Değişik kalınlıklara sahip malzemeler birleştirilebilir,
- Isı ve elektrik iletkenliğine karşı yapıştırma bağlantısı yalıtkan olarak kullanılabilir,
- Sızdırmazlık elemanı olarak kullanılabilir,
- Diğer birleştirme yöntemlerine nazaran uygulaması kolay ve maliyeti azdır,
- Yapıya daha düşük ağırlık getirir,
- Dayanım / ağırlık oranı iyidir,
- Darbe ve titreşim sönümleme yeteneği vardır,
- Yorulmaya ve tekrarlı yüklere karşı dayanımı iyidir.

4.9.2. Yapıştırma bağlantılarının dezavantajları

- Yapıştırma esnasında yapıştırma yüzeyleri tam olarak yapıştırıcı ile kaplanamaz ise birleştirmenin mukavemeti azalır,
- Kimyasal ve nemli ortamlara karşı hassas olan yapıştırıcılar böyle ortamlarda kullanılır ise birleştirme mukavemeti uzun süre korunamaz,
- Bazı yapıştırıcılar sürekli yükleme durumunda sürünme gösterebilirler,
- Bazı yapıştırıcıların kürlenme süreleri uzun olduğu için optimum birleşme hemen gerçekleşmez,
- Bazı durumlarda yapıştırma öncesi iyi bir yüzey hazırlığı gerektirmesi ekstra zaman, maliyet ve işgücü kaybı oluşturur,
- Yapıştırıcıların mukavemeti sıcaklığa bağlıdır,
- Çalışma şartlarında yapıştırma bağlantısının mukavemetini ne kadar koruyacağı tam olarak bilinemez,
- Bazı yapıştırıcıların uygulaması sağlık için zararlı olabilir, gerekli koruyucu tedbirler alınmalıdır.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Metal köpük malzemeler, metalleri yapıştırmak için kullanılan yapıştırıcılar ile yapıştırılabilir. Yapıştırıcı birleşme yeri genellikle köpüğün kendisinden daha güçlüdür. Yapıştırma bağlantılarında, düşük ısıl kararlılık, ısıl genleşme katsayısı uyumsuzluğu, termal ve elektriksel izolasyon bariyeri oluşması gibi bazı dezavantajlar vardır. Tasarım için bu olumsuzluklar kritik değil ise yapıştırıcılar (özellikle epoksiler) düşünülmesi gereken basit ve etkili bağlayıcılardır (Ashby vd., 2000).

T. Bernard ve arkadaşları (2001) yaptıkları çalışmada, köpük kesme numunelerini ve sandviç yapıları yapıştırmak için otomotiv endüstrisinde kullanılan ısı ile sertleşen (termoset) yapısal yapıştırıcı kullanmışlardır. Yapıştırıcı 50 °C sıcaklıkta uygulanmış, bu işlemi takriben 190 °C sıcaklıkta 30 dakika kür edilmiştir.

Hücre duvarlı metallerin yapıştırılmasında kullanılan her tip yapıştırıcı, metal köpüklerin yapıştırılması içinde tavsiye edilir. Bu birleştirmeler hızlı ve kolay şekilde yapılır, birleştirmenin dayanımı genelde temel köpük yapının dayanımını aşar. Basitliği ve esnekliği nedeni ile yapıştırma bağlantıları kalıcı bağlantılar hazırlamak için tavsiye edilir (Degischer vd., 2002).

Alüminyum köpükler için yapıştırma uygulanabilir bir birleştirme teknolojisi olarak tanımlanmıştır. Uygulamada tek veya çift bileşenli yapıştırıcılar kullanılabilir. Yüksek sıcaklık ile kürleştirilebilen yapıştırıcılar, kür boyunca katodik elektrolitik kaplanabildiğinden daha fazla işlem basamağı gerektirmez ve otomobil üretiminde çok kullanışlı hale gelirler. Epoksi bazlı sistemlerde geleneksel veya genişleyen yapıştırıcılar mevcuttur. Genişleyen yapıştırıcılar içi boş çekilmiş profil içine entegre köpük gövdeleri yüksek toleransla bağlamak için çok uygundur. Isıl kür işlemi istenmez ise, oda sıcaklığında kür olabilen iki bileşenli yapıştırıcılar kullanılabilir. Yapıştırıcının kür olma süresi boyunca perçinleme ve yapıştırma kombinasyonu ile yapının içindeki köpük gövdeyi kolayca yamamak mümkündür. Ayrıca, bu şekilde kompozit özellikleri gelişmiş güvenilir yük kutuları da geliştirilebilir Birleştirme teknolojileri grubunun üyesi olan yapıştırma, malzeme-şekil birleştirme mekanizması oluşturur. Birleşmenin

nedeni malzeme yüzeyi ile yapıştırıcı arasındaki adhezyon kuvvetleridir. İyi bir yapıştırma işleminde, yapışma bağlantısı ara yüzeyinde bozulmamalıdır, yapıştırıcı ile malzeme arasındaki adhezyon kuvveti, yapıştırıcı içindeki kohezyon kuvvetinden fazla olmalıdır (Degischer vd., 2002).

H.J. Chung ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada alüminyum köpükleri ve alüminyum levhaları yapıştırıcı ile birleştirmişler, birleştirme dayanımını iyileştirmek için yüzeylere nitrojen gazı kullanılan plazma işlemi uygulamışlardır. Alüminyum köpük/alüminyum, alüminyum köpük/plazma işlemi uygulanmış alüminyum, plazma işlemi uygulanmış köpük/alüminyum olmak üzere üç tip test numunesi üretmişlerdir. Yapıştırmada % 67 epoksi, % 33 sertleştiricili epoksi bazlı yapıştırıcı kullanmışlar ve yapıştırılan numuneleri 5 kg/cm² basınç altında oda sıcaklığında 24 saat kür etmişlerdir. Yapıştırmada yüzeyler arasında 0.2 mm kalınlığında yapıştırıcı kullanmışlardır. Yapıştırma işleminden önce yüzeyleri ultrason ile aseton içinde 10 dakika süre ile temizlemişlerdir. Bu numunelere kesme ve eğme testi uygulamışlar ve kırılmış olan yüzeyleri incelemişlerdir. Yüzeyine plazma işlemi uygulanmış alüminyumun yüzey işlemi uygulanmamış alüminyuma göre eğme dayanımının %13, kesme dayanımının % 30 arttığını belirtmişlerdir. Ancak plazma işlemi uygulanan köpük ile plazma işlemi uygulanmamış köpüğün benzer dayanım verdiklerini ifade etmişlerdir. Plazma işleminin yüzeylerde fiziksel değişime neden olmadığını fakat yüzeyin hidrofilikliğini (bağlanabilme özelliğini) arttırdığını vurgulamışlardır. Yaptıkları yüzey incelemelerinde yüzey işlemi uygulanmamış alüminyum ile köpüğün yapıştırılmasında yapıştırıcının alüminyum yüzeyinden kalktığını, buna sebep olarak köpükte yapıştırıcının gözeneklerin içine girdiği ve alüminyum levhaya göre daha fazla yapıştırıcı temas alanı oluştuğunu tespit etmişlerdir ayrıca daha fazla yapışma alanının daha fazla birleşme dayanımına neden olduğunu vurgulamışlardır. Plazma işlemi uygulanmamış köpük ile plazma işlemi uygulanmış alüminyum bağlantısında ise alüminyum yüzeyinde yapıştırıcılara rastlamışlar ve bunu da plazma işlemi ile alüminyum yüzeyinin hidrofilikliğin artmasına bağlamışlardır. Böylece yapıştırıcı alüminyum levhaya daha kuvvetli tutunabilmiştir. Sonuç olarak; alüminyum köpük levhalar ile alüminyum levhaların yapıştırıcı ile birleştirilmelerinde alüminyuma plazma işlemi uygulanmasının köpük levhaya uygulanmasından daha etkili olduğunu vurgulamışlardır.

O.B. Olurin ve arkadaşları (2000) yaptıkları çalışmada mekanik bağlantı elemanlarına yapıştırıcı sürerek köpükleri birleştirmişlerdir. Dört çeşit bağlantı elemanı kullanmışlar; bunları kuru olarak ve yapıştırıcı ile test etmişlerdir. Deneylerde yapıştırma malzemesi olarak epoksi kullanmışlar ve işlemiden sonra yapıştırıcıyı oda sıcaklığında 24 saat kür etmişlerdir. Yaptıkları deneylerde yapıştırıcı bağlantı noktalarını çekme ve eğme yüklerine maruz bırakmışlar ve epoksi yapıştırıcı birleşim yerinin köpük yapısından daha güçlü olduğunu, hasarın genelde bağlantı yerinden uzakta medyana geldiğini belirtmişlerdir. Cıvata, somun ve vida bağlantılarının montajında köpüğün çöktüğünden ve bağlantıların kolayca çözüldüğünü tespit etmişlerdir. Epoksi yapıştırıcı ile birleştirilen mekanik bağlantı elemanlarının çekme dayanımlarında önemli derecede artış olduğunu vurgulamışlardır. Yapıştırıcıların tasarımın diğer gereksinimleri ile uygun olması şartı ile ekonomik ve mekanik olarak etkili olduğunu vurgulamışlardır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar beş aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada köpük metal malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada köpük metal malzemeden ve alüminyum levhalardan numuneler çıkarılmıştır. Üçüncü aşamada numune yüzeyleri yapıştırma işlemi için hazırlanmış ve yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü aşamada yapıştırılmış numuneler oda sıcaklığında ve 200 °C sıcaklıkta farklı süreler bekletilmiş ve beşinci aşamada ise numuneler kesme deneyine tabi tutulmuşlardır.

6.1. Köpük Metal Üretimi

6.1.1. Malzeme seçimi

Köpük metal üretimi için matris malzemesi olarak AlMg4.5Mn0.7 (EN AW 5083) alüminyum alaşımı kullanılmıştır. AlMg4.5Mn0.7 alüminyum alaşımı çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Gemicilik sektöründe kaynaklanmış parçalar halinde gemi yapımında, gemi direği ve platformlarda yapısal eleman ve ekipman olarak, depolama tankı ve basınçlı kapların yapımında kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe, raylı ulaşım ve yapısal eleman olarak, askeri araç gövde ve ekipmanlarında, zırh tabakaları ve portatif köprülerde, makina gövde ve aksamalarında, bina, yol yapımında ve yapı iskelelerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

AlMg4.5Mn0.7 alaşımı çok iyi kaynak edilebilme özelliğine sahiptir. Tuzlu su ve deniz atmosferine karşı korozyon direnci çok yüksektir. Yorulma dayanımı yüksektir ve soğuk şekillendirilebilirliği iyidir. İnce veya karmaşık şekillerde üretilmesi zordur ancak artık gerilmesiz kalın plakalar halinde üretilbilirler. Üretim formları plaka, levha, çubuk, tel, tüp ve profil şeklinde olabilir (<http://aluminium.matter.org.uk>).

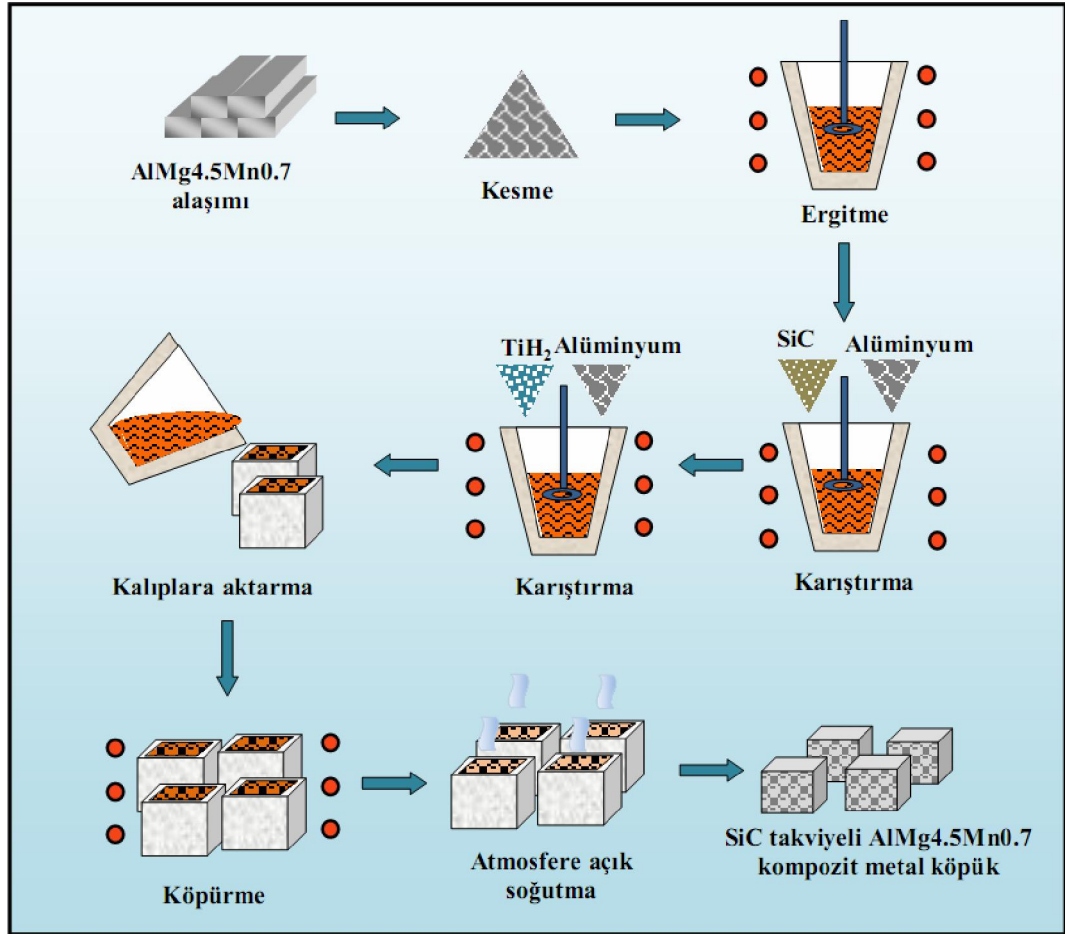
Takviye malzemesi olarak SiC_p tozları kullanılmıştır. SiC_p tozları herhangi bir ısıtıl işleme tabi tutulmamıştır. Köpük yapıcı toz olarak TiH_2 tozları kullanılmıştır.

6.1.2. Köpük metal üretimi

Fırın iç sıcaklığı 750°C 'ye ayarlanmış ve üretim boyunca bu sıcaklıkta tutulmuştur. Köpük üretimi azot gazı koruyucu atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Alüminyum alaşımı yarı katı sıcaklık aralığına gelinceye kadar ısıtılmış ve malzeme yarı katı aralıkta tutulmuştur. Uygun viskozite sağlandığında yarı katı haldeki malzeme içine SiC_p tozları eklenmiştir. SiC_p tozlarının malzeme içinde homojen dağılımı sağlanıncaya kadar yaklaşık 4–6 dakika karıştırma işlemi yapılmış ve istenen dağılım sağlandığında köpük yapıcı toz olarak kullanılan TiH_2 ilave edilmiştir. Köpük yapıcı toz ilave edilmesinden sonra karıştırma işlemi yapılmış ve malzeme kalıplara alınmıştır. Köpük yapıcı tozun H_2 gazını serbest bırakması ve malzeme içinde gözenek oluşumunun gerçekleşmesi için kalıplar 750°C sıcaklıkta bekletilmiş ve daha sonra fırından dışarı alınarak atmosfere açık halde soğumaya bırakılmıştır. Üretim süreci Şekil 6.1'de gösterilen aşamaları içermektedir (Demirhan, 2010).

6.2. Alüminyum Levha Malzeme Seçimi

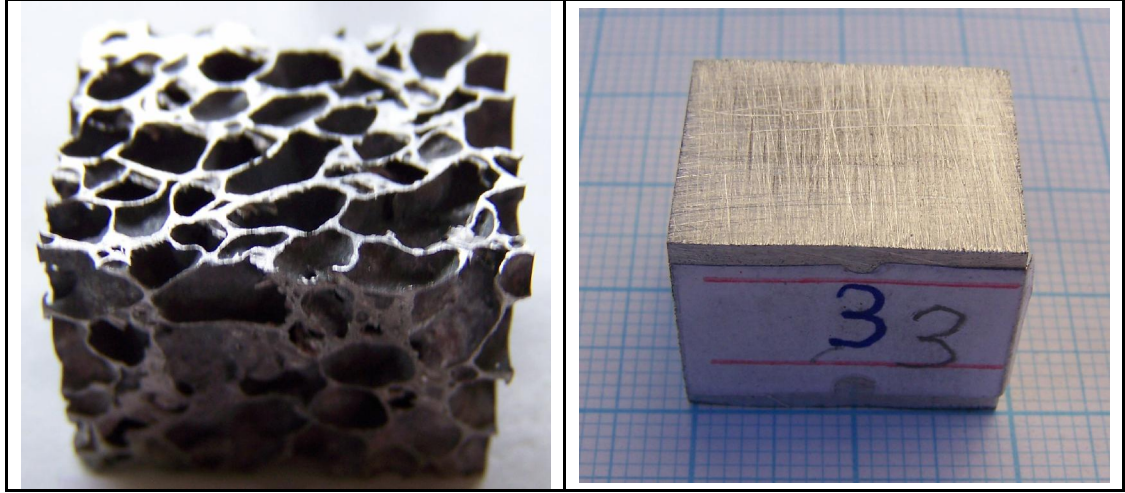
Deneylerde metal köpük malzemenin yapıştırılacağı levha malzemesi olarak, köpük metal malzeme üretiminde matris malzemesi olarak kullanılan AlMg4.5Mn0.7 (EN AW 5083) alüminyum alaşımı kullanılmıştır.



Şekil 6.1 Kompozit metal köpük üretim aşamaları (Demirhan, 2010)

6.3. Numune Hazırlama

Yapıştırma numuneleri Metkon Micracut-200 hassas numune hazırlama cihazında hazırlanmıştır. Köpük metal ve alüminyum numune boyutları (15x15x20) mm' dir. Hazırlanan alüminyum köpük ve alüminyum numuneler Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Deney numuneleri

6.4. Yapıştırma İşlemi

6.4.1. Yapıştırma işlemi için malzeme seçimi

Deneylerde yapıştırma yüzeylerinin hazırlanması için yüzey temizleyici, yapışma işlemini iyileştirmek için yüzey düzenleyici primer ve yapıştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin genel özellikleri aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

6.4.1.1. Yüzey temizleyicisinin özellikleri

Deneylerde LPS marka Presolve cinsi yüksek performanslı doğal içerikli yüzey temizleyici, yağ sökücü kullanılmıştır. Yağ, gres, balmumu, katran, kir-çamur ve diğer artıkları hızlı ve etkili bir biçimde söker, artık bırakmadan yüzeyden buharlaşır. Üretici firma tarafından verilen ürün bilgileri Tablo 6.1’de verilmiştir.

TEKNİK ÖZELLİKLER	
Özgül Ağırlığı	0.803 gr/cm ³ (25 °C’de)
Parlama Noktası	40 °C
KB Değeri	53
İtici Gaz	Karbon Dioksit
Ozon Delme Riski	Yok

Tablo 6.1 LPS Presolve ürün özellikleri

6.4.1.2. Primerin özellikleri

Deneylerde Devcon marka Metal Prep 90 ticari adlı primer kullanılmıştır. Bu primer, alüminyum ve paslanmaz çelik yüzeylerde metakrilat bazlı yapıştırıcıların daha uzun süreli ve kalıcı yapışmasını sağlayan kimyasal bir primer ve yüzey düzenleyicisidir. İçinde isopropyl alkol taşıyan kırmızı bir boyadır. Metal Prep 90 oda sıcaklığında hızlı kuruma yapar, yüzeylere uygulandıktan sonra en az 3 dakika en çok 7 gün içinde yapıştırma işlemi tamamlanmalıdır. Primer özelliğinin yanı sıra yüzeylere sürülüp silindiğinde yüzeyden her türlü kirliliği de uzaklaştırır. Üretici firma tarafından verilen ürün bilgileri Tablo 6.2’de verilmiştir.

TEKNİK ÖZELLİKLER	
Katı Madde	%5
İçerik	Isopropyl Alkol
Renk	Şeffaf kırmızı boya
Yoğunluk	0.977 gr/cm ³
Kuruma Süresi, 24 °C’ de	1–3 dakika, yüzeye tatbik edildikten sonra
Alev Alma Noktası	13 °C

Tablo 6.2 Devcon Metal Prep 90 ürün özellikleri

6.4.1.3. Yapıştırıcının özellikleri

Deneylerde Devcon marka Plastic Welder cinsi metakrilat bazlı yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında kürleşebilen iki bileşenli (yapıştırıcı ve aktivatör) bir yapıştırıcıdır. Yapıştırıcının boşluk doldurma kapasitesi iyidir, viskozitesi yüksektir ve ilk yapıştırma anından sonra 15 dakika içinde ilk tutunma gerçekleşir. Birbirinden farklı yüzeylerin, metallerin, seramik, ahşap, beton ve standart termoset plastiklerin yapıştırılması için uygundur. Sertleştikten sonra geniş bir sıcaklık aralığında basınç, yük, hava şartlarına, solventlere ve hidrokarbon bazlı yakıtlara (gaz, jet yakıtı, motor yağı, vb.) karşı iyi dayanım sağlamaktadır. Oda sıcaklığında 24 saat içinde tam olarak kürleşir. Üretici firma tarafından verilen ürün bilgileri Tablo 6.3'te verilmiştir.

TEKNİK ÖZELLİKLER		
Kürleşme Öncesi		
	Yapıştırıcı	Aktivatör
Viskozite TB @ 10 rpm	55.000 cps	50.000 cps
Ağırlık (kg/litre)	1.011	972
Renk	Kırık beyaz	Kırık sarı
Karışım viskozitesi	50.000 cps (Sarkma- Düşme yapmayan jel)	
Karışım Yoğunluğu	0.98 gr/cm ³	
Alev Alma Noktası	11 °C	
Karışım Oranı (hacim)	1:1	
Karışım Oranı (ağırlık)	1:1	
Karışım Sonrası Çalışma Süresi (22 °C’de)	4–6 dakika	
İlk Kuruma Süresi (22 °C’de)	10–15 dakika	
Fonksiyonel Kürleşme Süresi	45 dakika–1 saat	
Tam Kürleşme Süresi	24 saat	
Safılık	%100	
Çalışma Isı Aralığı	-55 °C ile 12 °C	
Performans Değerleri (24 °C’de 7 gün kürlendikten sonra)		
Yapışma Mukavemeti (ASTM D1002)		
Polycarbonate ve alaşımları	98 kg/cm ²	
ABS	91 kg/cm ²	
Kumlanmış Çelik	210 kg/cm ²	
T – Soyulma Mukavemeti (ASTM D1876, 25.4 cm/1.5 mm, 6061 Al)	3–40 pli	
Darbe Direnci (ASTM D950–61T kumlanmış çelik)	22 ft.lb./in. ²	
Shore Sertliği	78 Sertlik D	
Gerilmede Esneme Kabiliyeti	%15–25	
Hacimce Katılma Oranı %	100	
Boşluk Doldurma, tek katta tavsiye edilen	3.2 mm	

Tablo 6.3 Devcon Plastic Welder ürün özellikleri

6.4.2. Numunelerin yapıştırılması

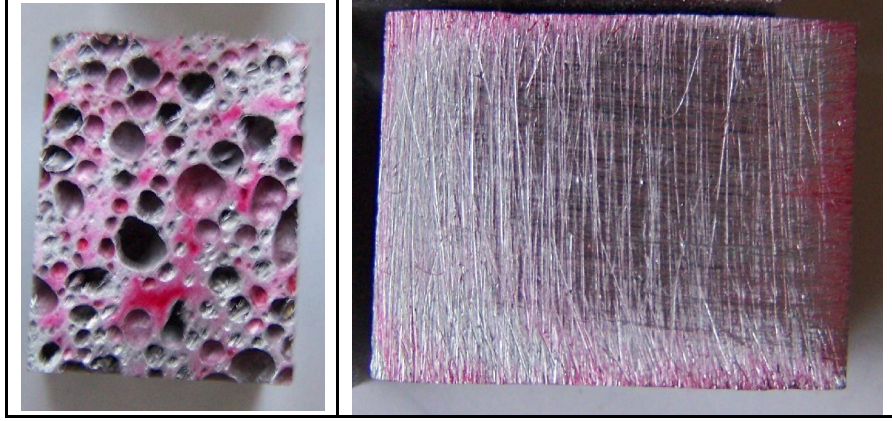
Yapıştırma işlemi beş aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada yapıştırma yüzeyleri temizlenmiş, ikinci aşamada yüzeyler aşındırılmış, üçüncü aşamada yüzeyler tekrar temizlenmiş, dördüncü aşamada yüzeylere primer uygulanmış ve beşinci aşamada yapıştırma işlemi yapılmıştır.

Birinci aşama; yüzeyler, kesme sırasında numune yüzeylerine dağılan soğutucu sıvıdan ve genel kirlere yüzey temizleyicisi kullanılarak arındırılmıştır. Bu işlemin amacı yüzeylerin zımpara ile aşındırılması esnasında, kirlerin yüzeye dağılmasını ve yüzeyde bulunan gözenekleri doldurmasını önlemektir.

İkinci aşama; yüzeyler zımpara ile daha iyi yapışma dayanımı elde edebilmek için pürüzlendirilmiştir. Alüminyum numunelerin yüzeyini pürüzlendirmek için P80D numaralı silikon karbid zımpara kağıdı kullanılmıştır. Köpük numunelerin yüzeylerini oksit tabakasından arındırmak ve pürüzlendirmek için P220C numaralı silikon karbid zımpara kağıdı kullanılmıştır.

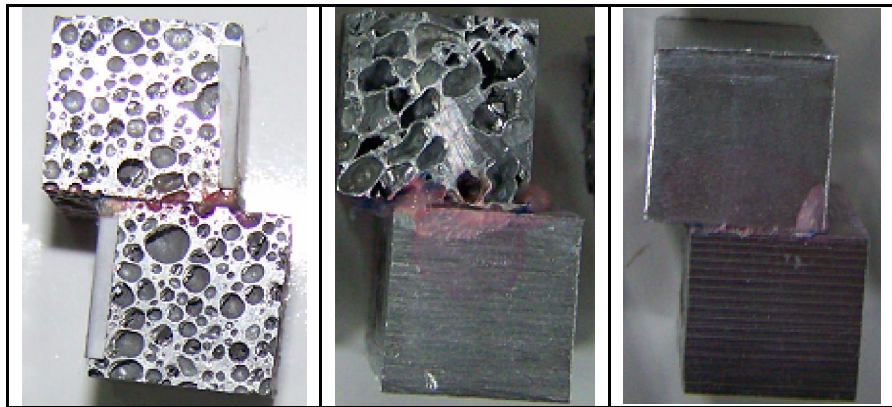
Üçüncü aşama; yüzeylerde aşındırma işleminde oluşan metal tozlarını ve kiri temizlemek için yeniden yüzey temizleyicisi uygulanmıştır. Yüzey temizleyicisinin buharlaşmasını sağlamak için üretici tarafından belirtilen zaman (60 saniye) beklenmiştir. Daha sonra yüzeylerde kalan tozların uzaklaştırılması için yapıştırma işleminin gerçekleştirileceği yüzeylere basınçlı hava tutularak yüzey temizleme işlemi tamamlanmıştır.

Dördüncü aşama; yüzeylere, yapıştırıcının uygulama kılavuzunda alüminyum yüzeyler için önerilen Devcon Metal Prep 90 primeri uygulanmıştır. Primer kullanımı ile alüminyum yüzeylerde yapışma dayanımının % 30– 40 oranında arttığı belirtilmiştir. Primer, alüminyum ve köpük yüzeylere fırça yardımı ile ince bir katman halinde uygulanmış, kuruması için yeterli süre beklenmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Primer uygulanmış köpük ve alüminyum numune yüzeyleri

Beşinci aşama; yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapıştırma yüzey ölçüleri ASTM D1002 standardında belirtilen $\frac{1}{2}$ oranına uygun olarak (10x20) mm olarak belirlenmiştir. Yapıştırma işlemi ile köpük-köpük, köpük-alüminyum ve alüminyum-alüminyum yüzeyler birleştirilmiş ve üç farklı numune türü elde edilmiştir. Yapıştırma işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. İki bileşenli olan yapıştırıcı homojen bir karışım elde edilinceye kadar (yaklaşık bir dakika) karıştırılmıştır. Yapıştırıcı karıştırıldıktan sonra maksimum üç dakika içinde ince katman halinde yüzeylere uygulanmış, yüzeylerin tamamen ıslanmış olmasına dikkat edilmiş ve köpük numunelerde yüzeydeki gözenek boşluklarının da yapıştırıcı ile dolması sağlanmıştır (Şekil 6.4). Yapıştırıcının yüzeylere uygulanmasından sonra yüzeyler bastırılarak birleştirilmiştir. Yapıştırıcının kürleşmesi için numuneler oda sıcaklığında 24 saat bekletilmişlerdir. Belirli numuneler daha sonra sıcak ortamda farklı süreler bekletilmişlerdir.



Şekil 6.4 Yapıştırılmış köpük-köpük, köpük-alüminyum, alüminyum-alüminyum numuneler

6.5. Numunelerin 200 °C Sıcaklıkta Bekletilmesi

Numunelerin 200 °C sıcaklıkta bekletilmelerinin nedeni sıcaklık ve zaman faktörünün yapışma dayanımına etkisini inceleyebilmektir. Sıcaklık ve bekletme süreleri otomobil imalatına göre belirlenmiştir. Köpük metallerin otomobil yapılarında yapıştırma bağlantısı ile kullanılması durumunda, yapıştırma bağlantısı sadece otomobilin fırın boya ile boyanması esnasında sıcaklık etkisine maruz kalacaktır. Yapılan araştırmada fırın boyama işleminde çeşitli sıcaklıkların kullanıldığı, bu sıcaklığın maksimum 200 °C olduğu görülmüş ve bu yüzden numuneler 200 °C sıcaklıkta, farklı sürelerde (15, 30, 45, 60 dakika) bekletilmiştir (Şekil 6.5).

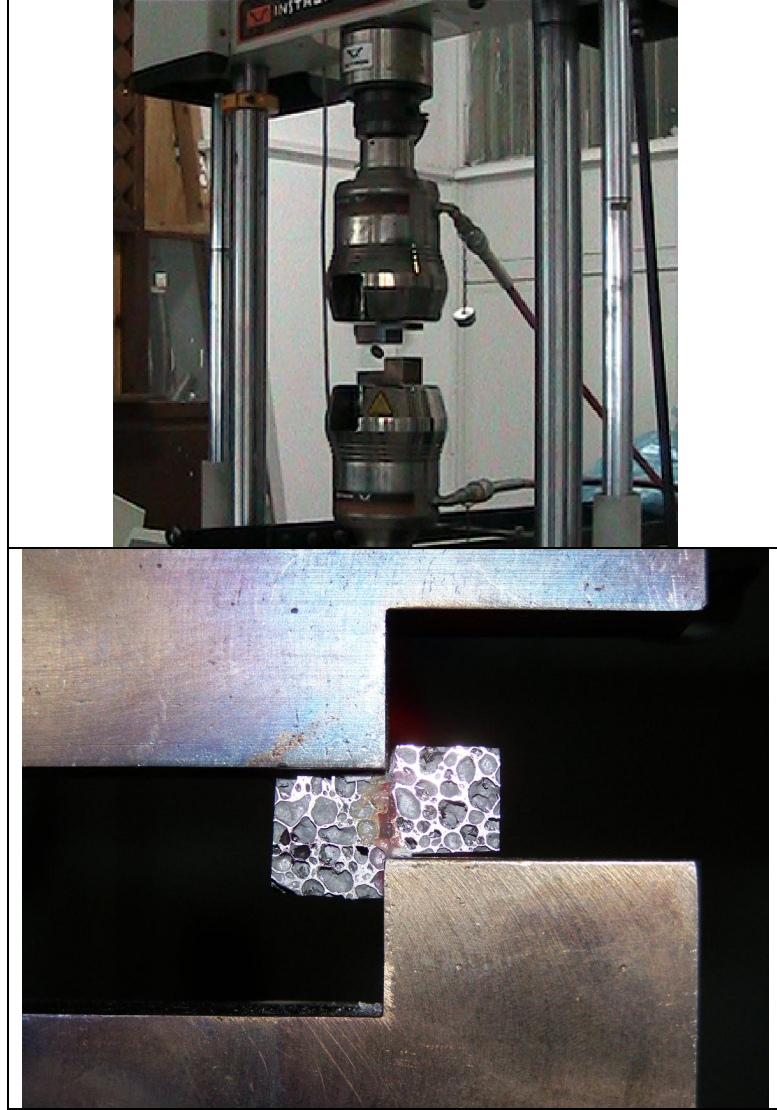


Şekil 6.5 Numunelerin 200 °C sıcaklıkta bekletilmesi

Numuneler önceden 200 °C sıcaklığa getirilmiş fırında belirtilen süreler kadar bekletilmiş, fırından çıkarılan numunelerin oda sıcaklığında soğumaları beklenmiştir. Daha sonra tüm numunelere kesme deneyi uygulanmıştır.

6.6. Kesme Deneyleri

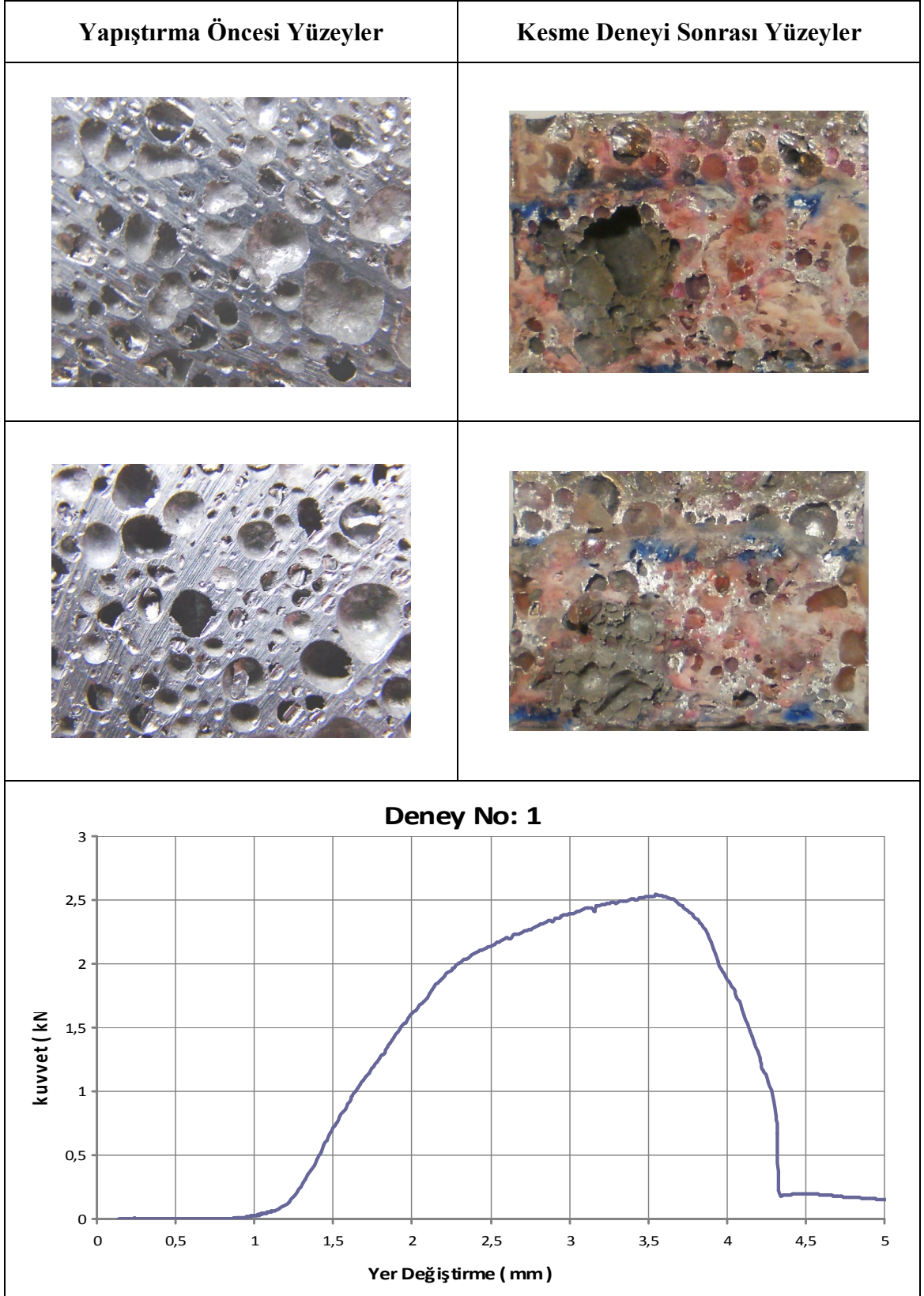
Kesme deneyleri Instron 8501 üniversal test cihazında (Şekil 6.6) gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler 2 mm/dk ilerleme hızında uygulanmıştır.



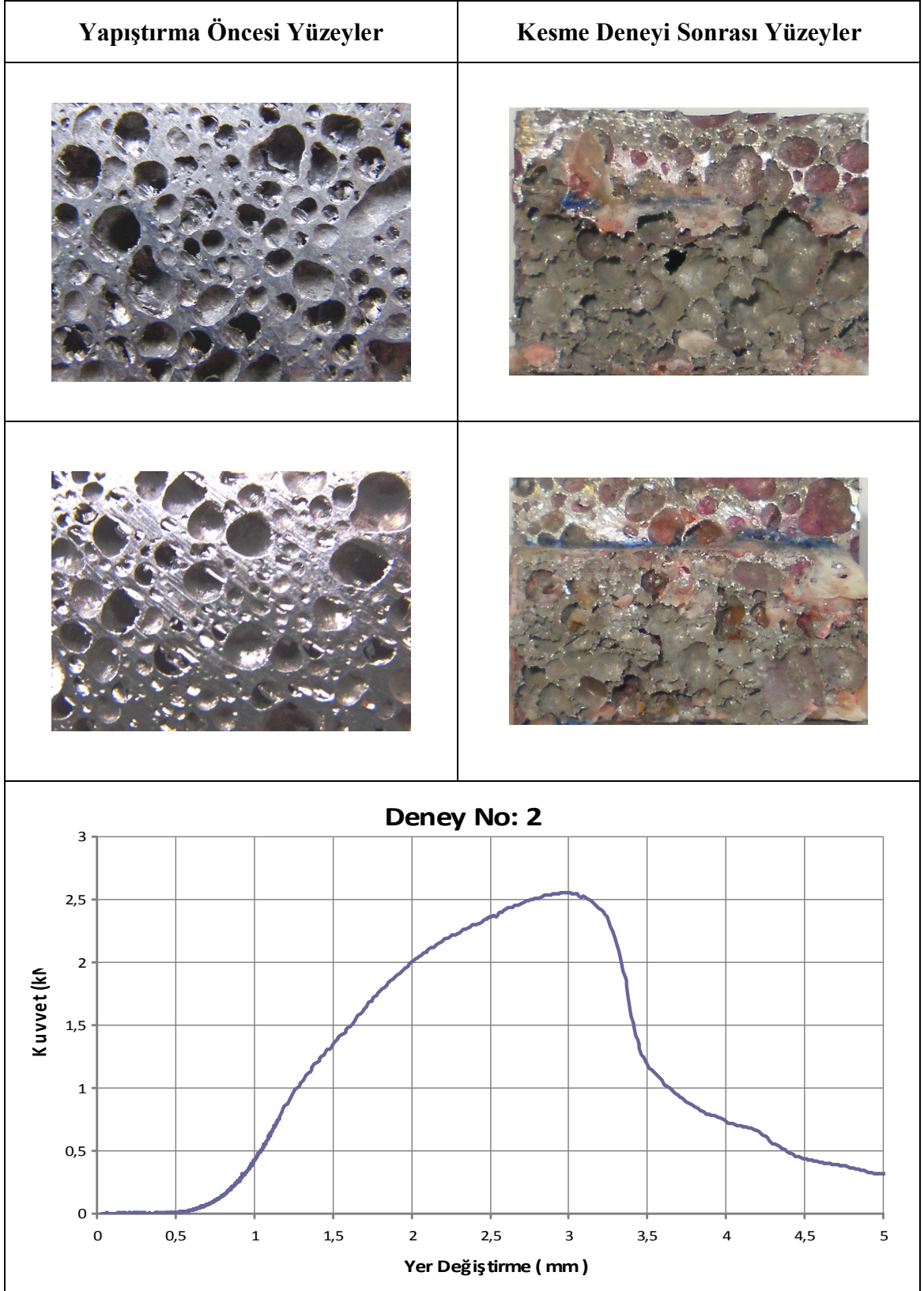
Şekil 6.6 Kesme deneyi

7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

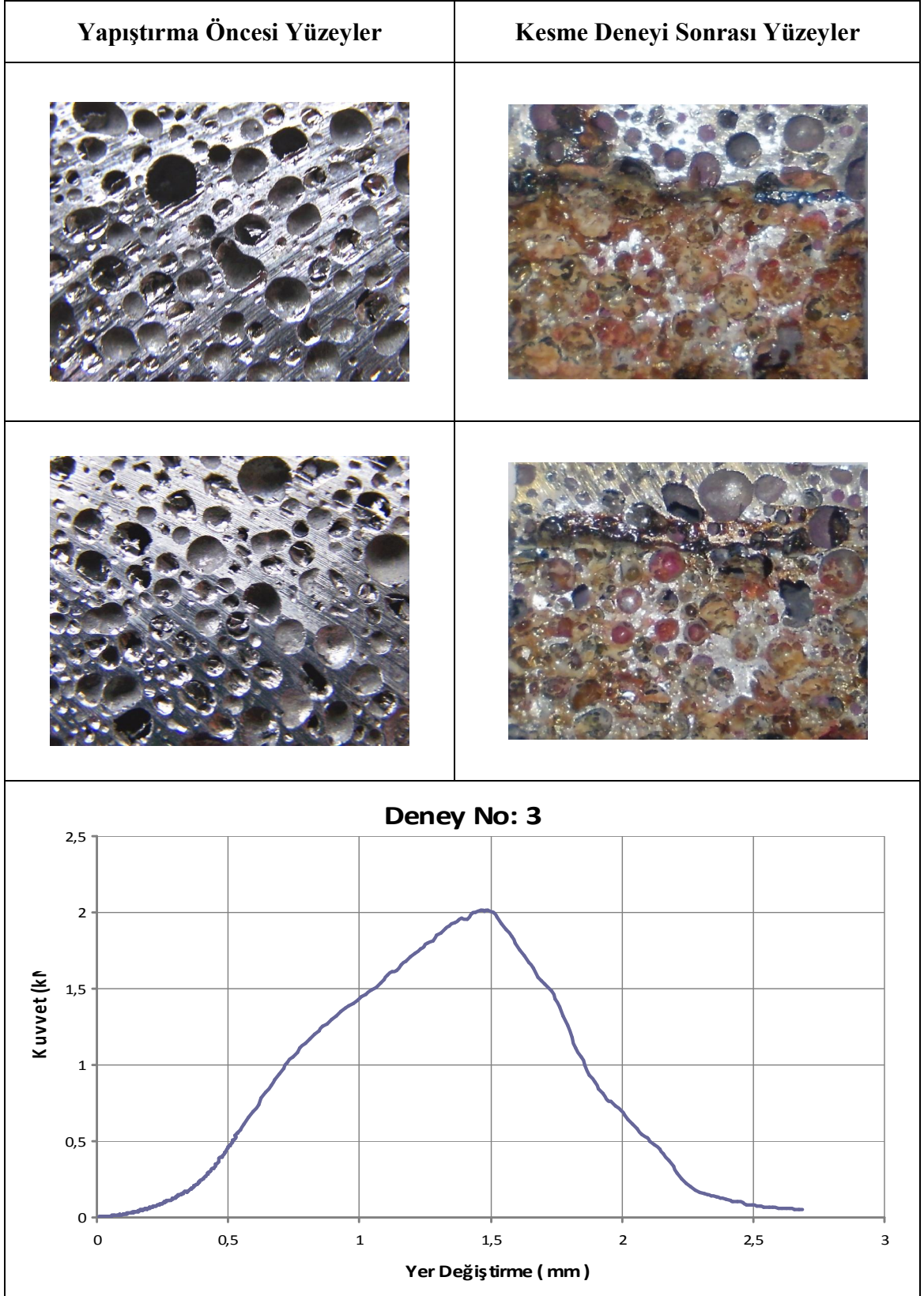
Yapıştırılmış tüm numunelere kesme deneyi uygulanmıştır. Kesme deneyleri sonucu deney cihazından kuvvet (kN)–yer değiştirme (mm) değerleri elde edilmiştir. Bu değerler yardımı ile kesme kuvveti (kN)–yer değiştirme (mm) eğrileri çizilmiştir. Yapıştırılan numunelerin, yapıştırma işleminden önce ve kesme deneyinden sonra yapışma yüzeyleri incelenmiştir. Tüm deneylere ait kesme kuvveti (kN)–yer değiştirme (mm) eğrileri, numunelere ait yapışma öncesi ve kesme deneyi sonrası yüzey fotoğrafları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.



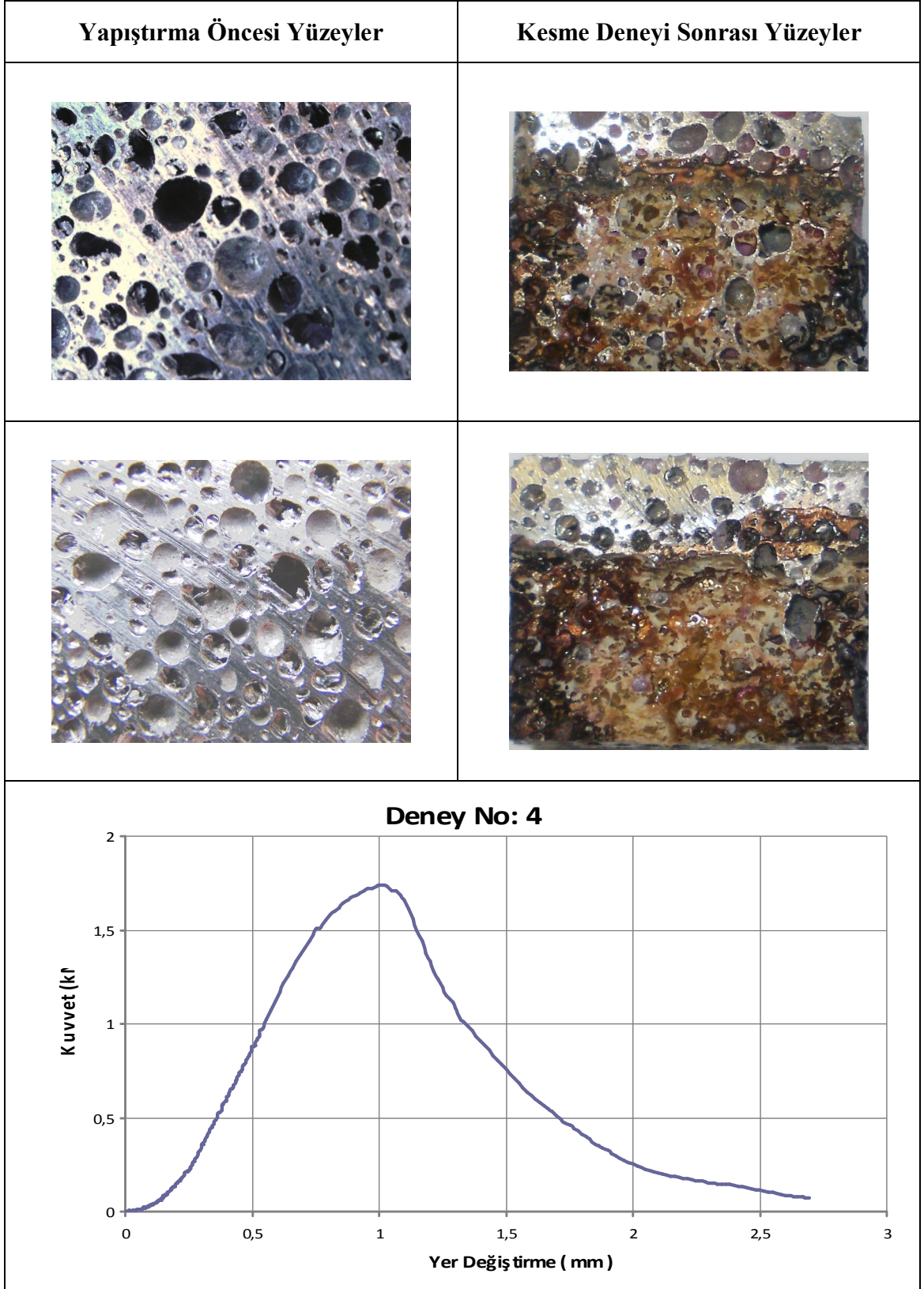
Tablo 7.1 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



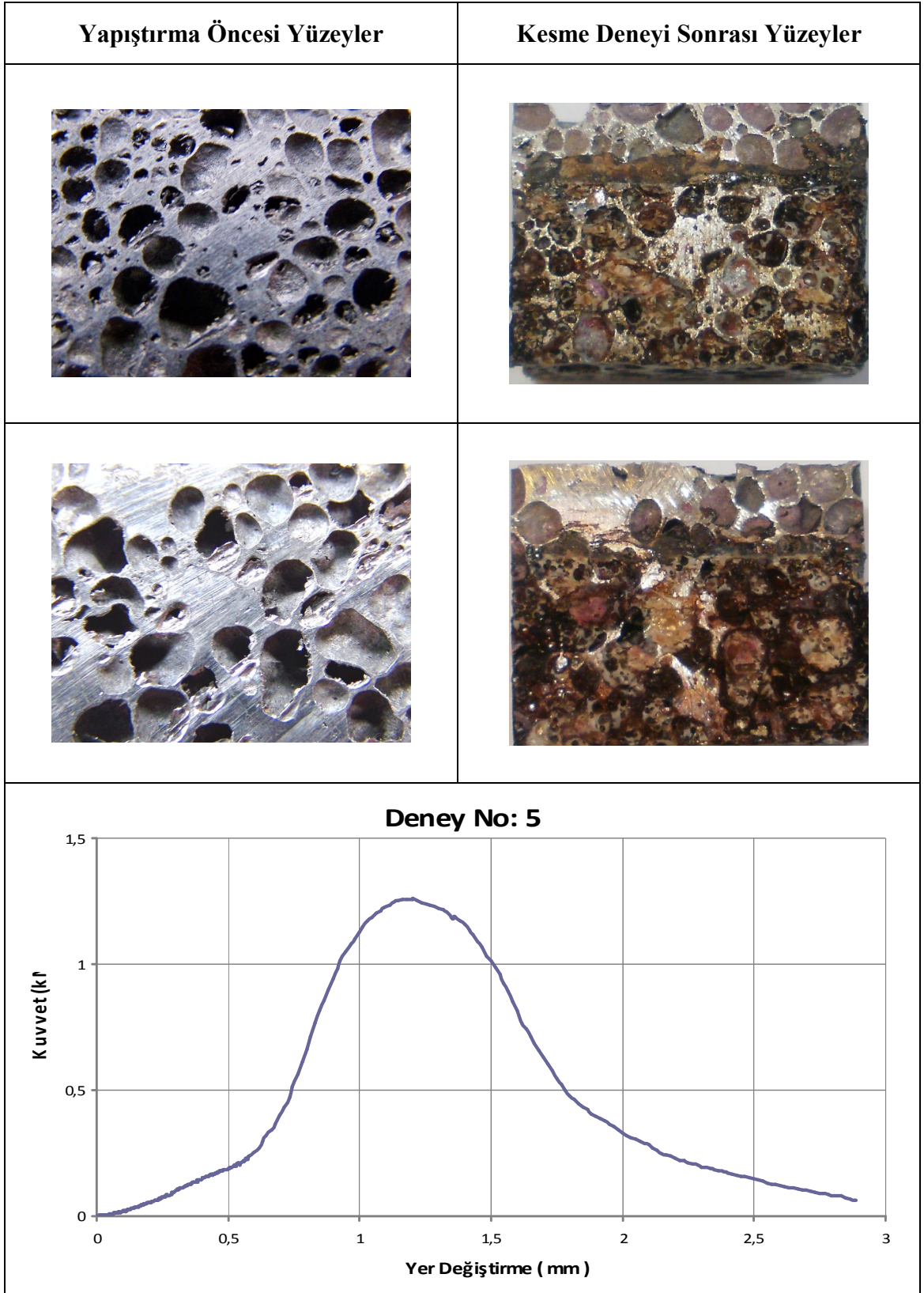
Tablo 7.2 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



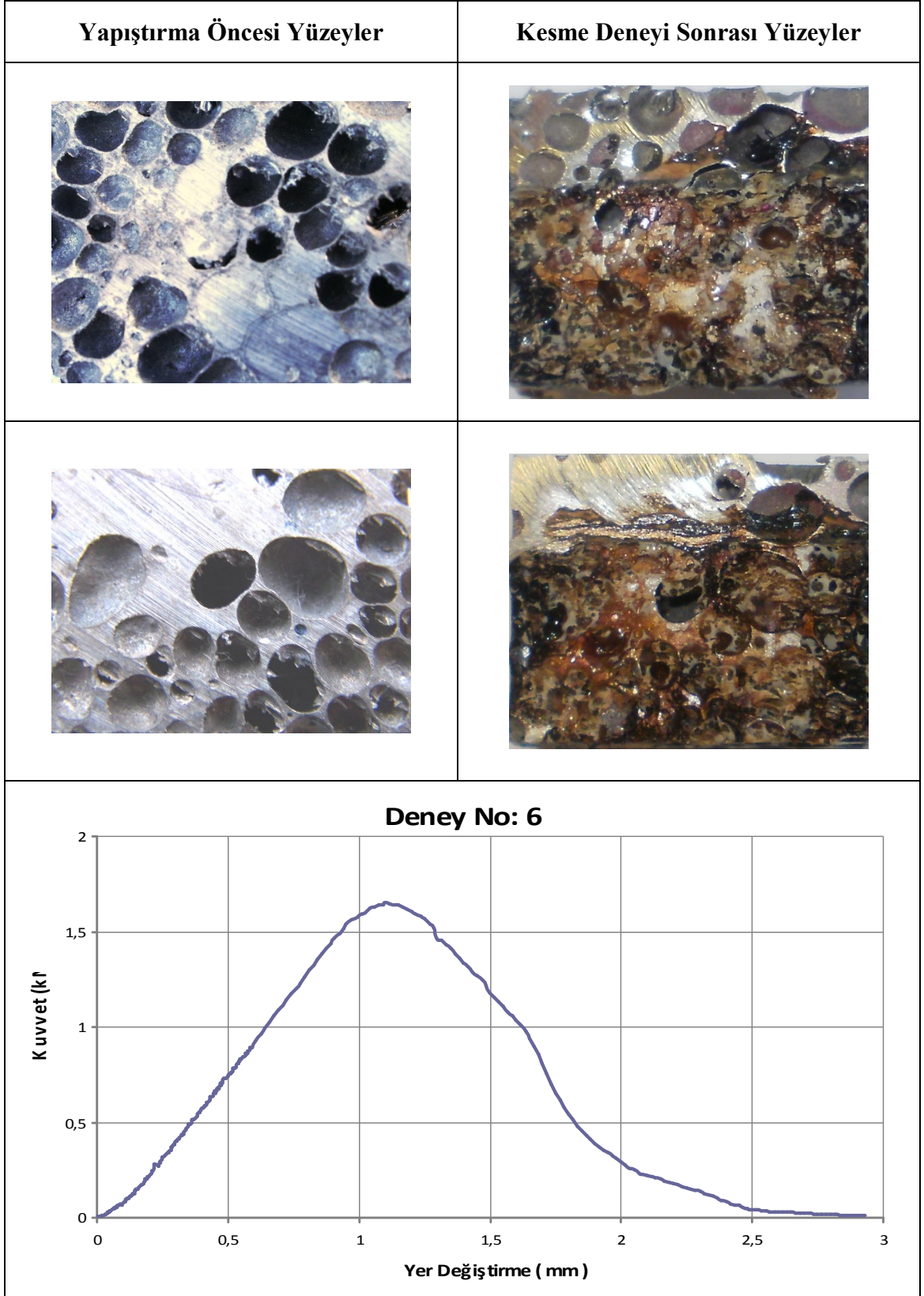
Tablo 7.3 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika)



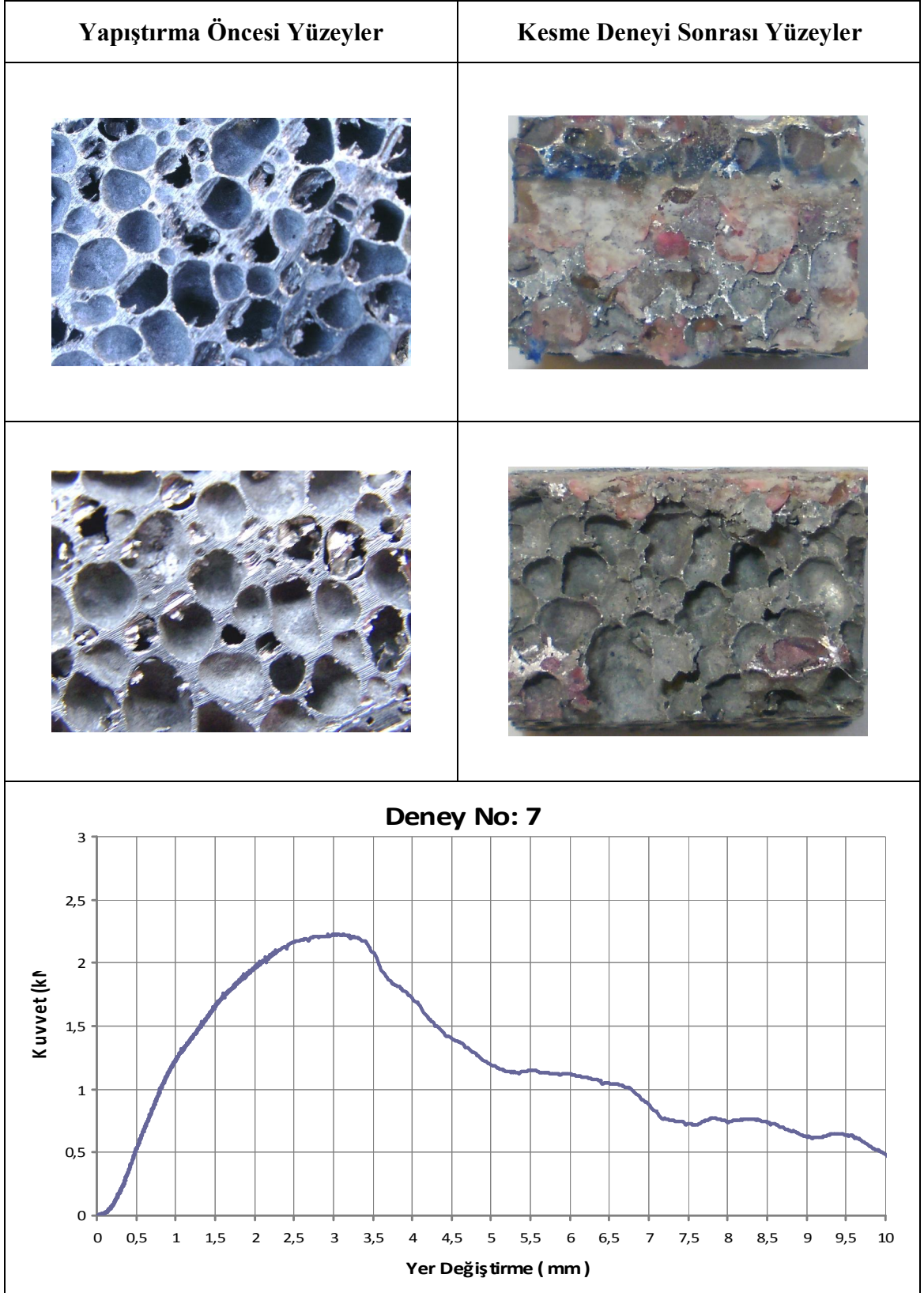
Tablo 7.4 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika)



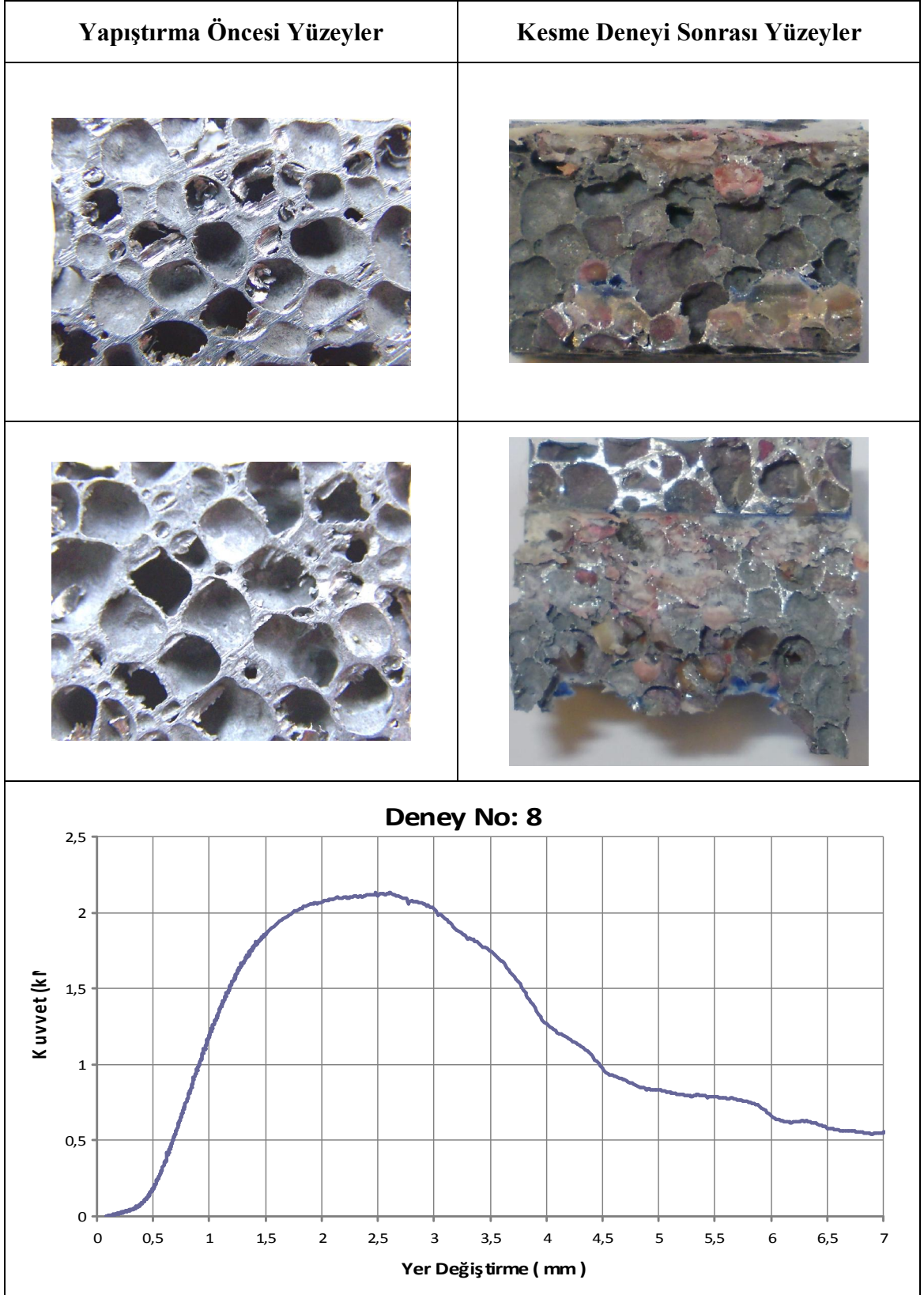
Tablo 7.5 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika)



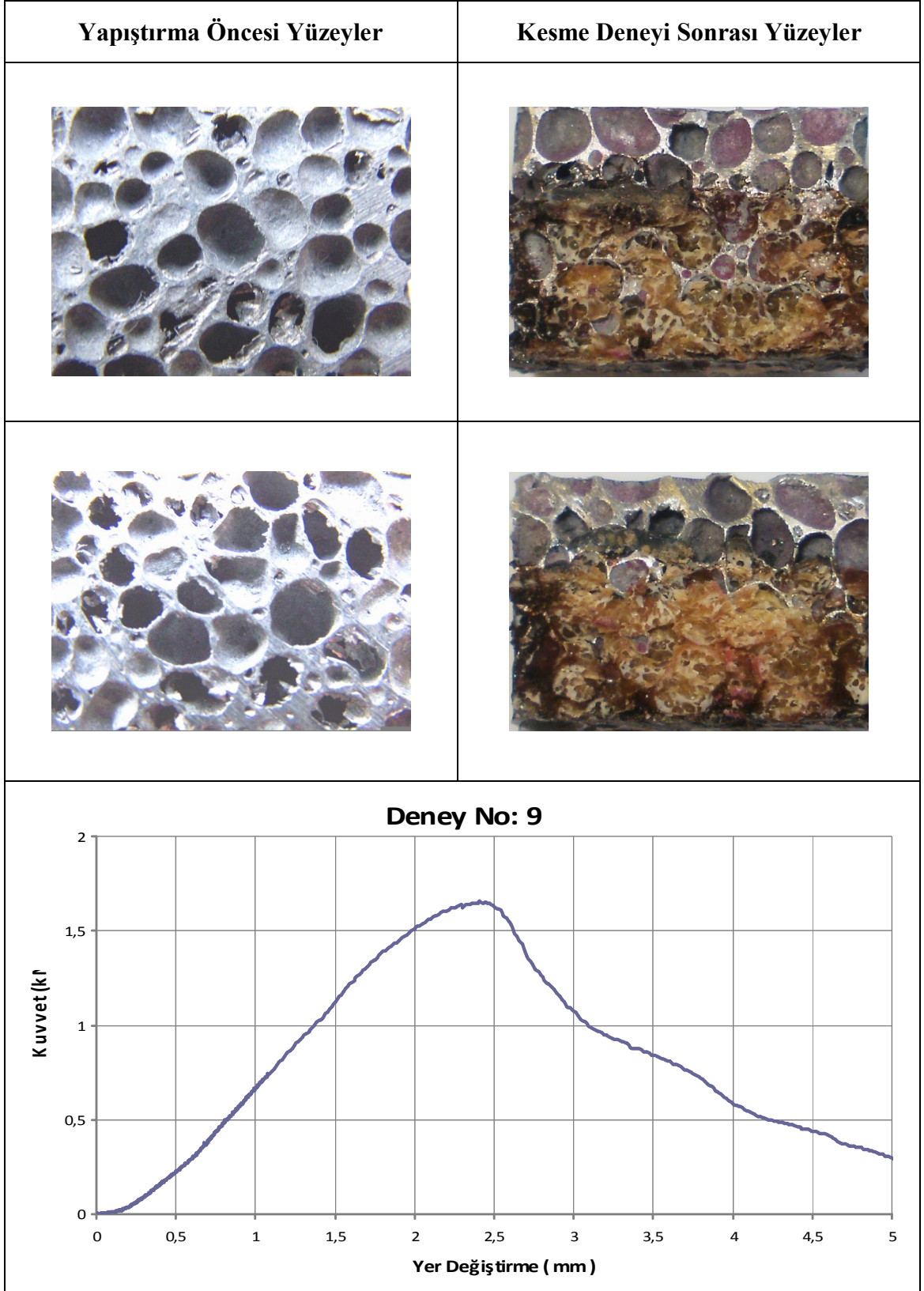
Tablo 7.6 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika)



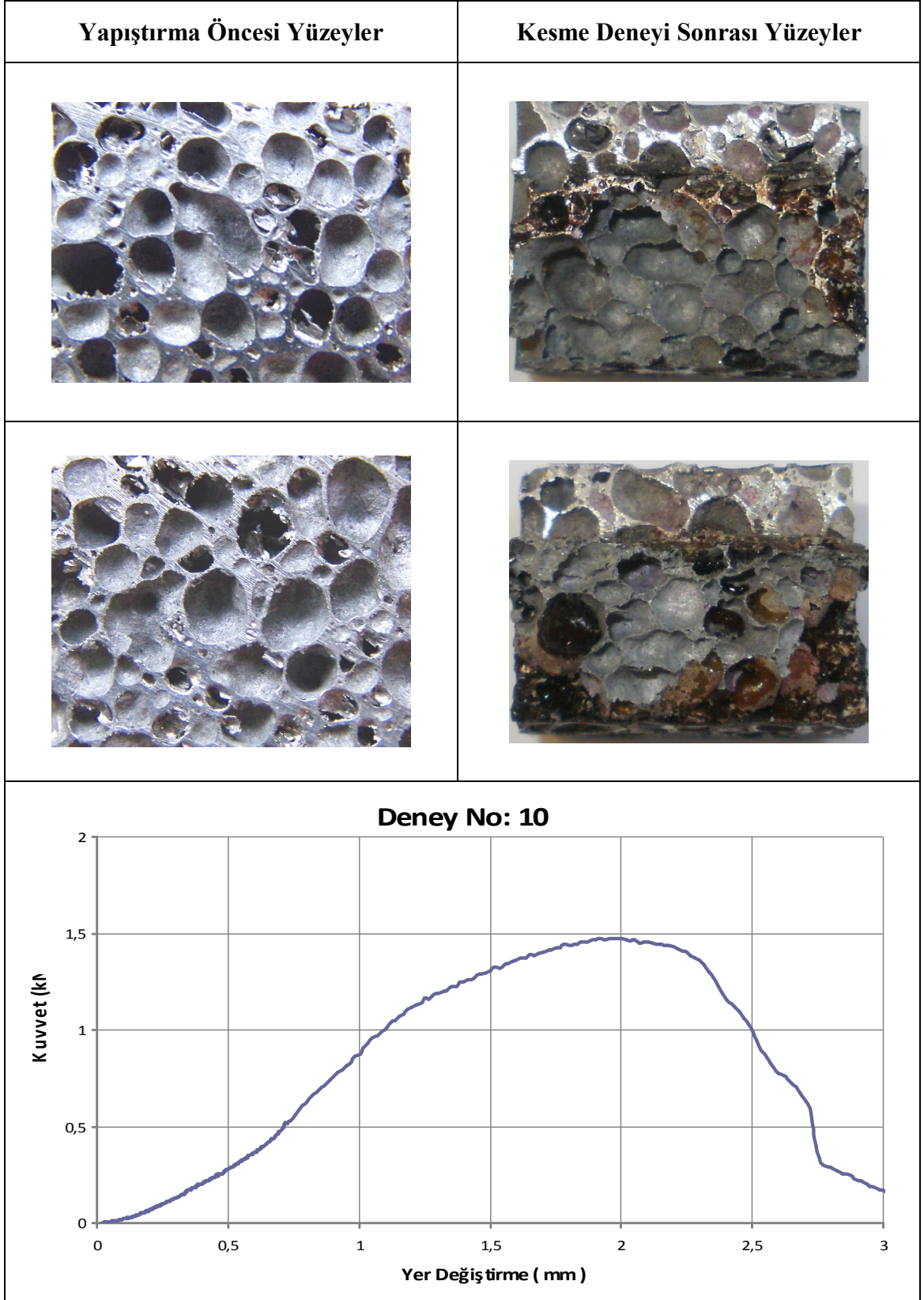
Tablo 7.7 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



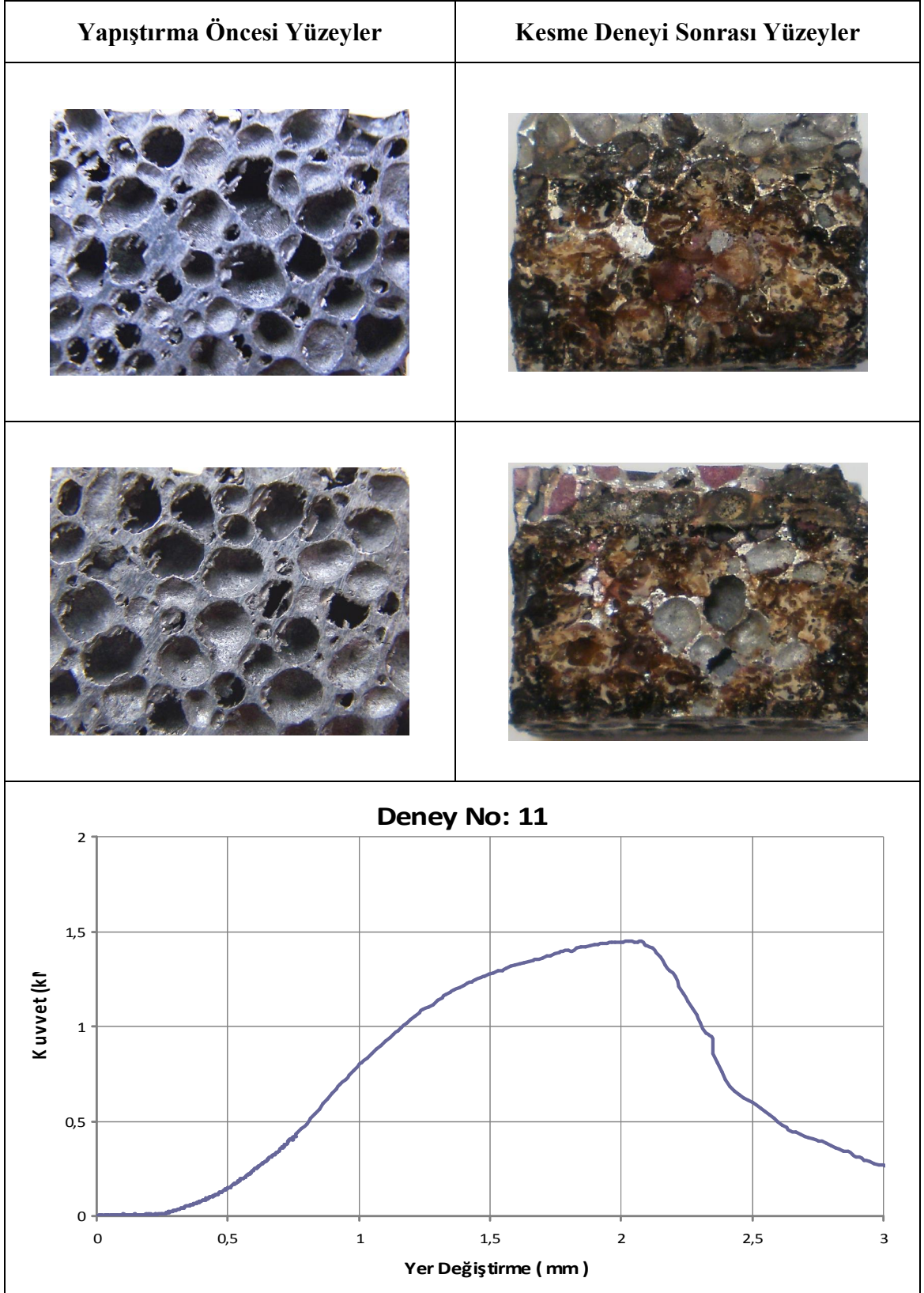
Tablo 7.8 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



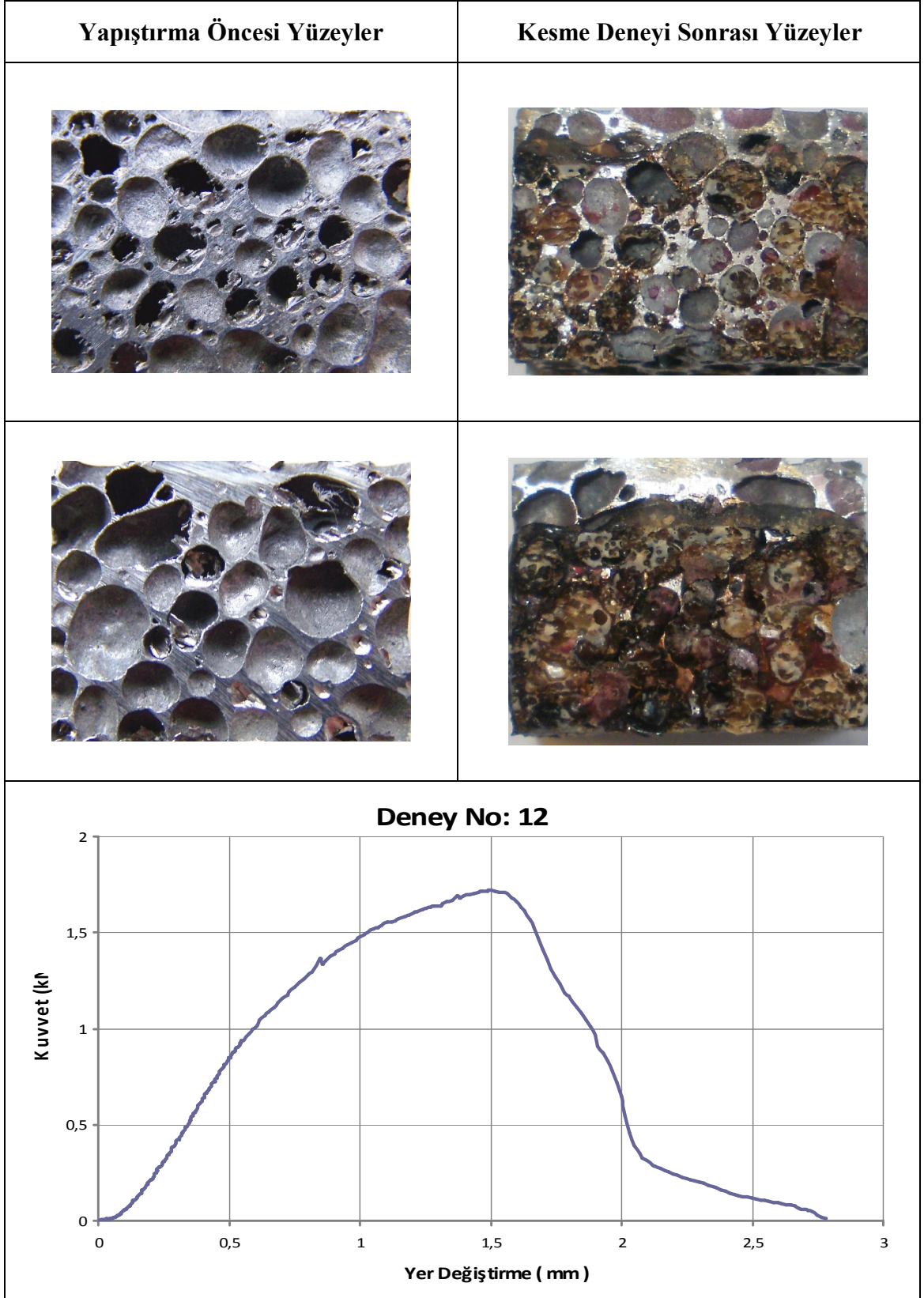
Tablo 7.9 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika)



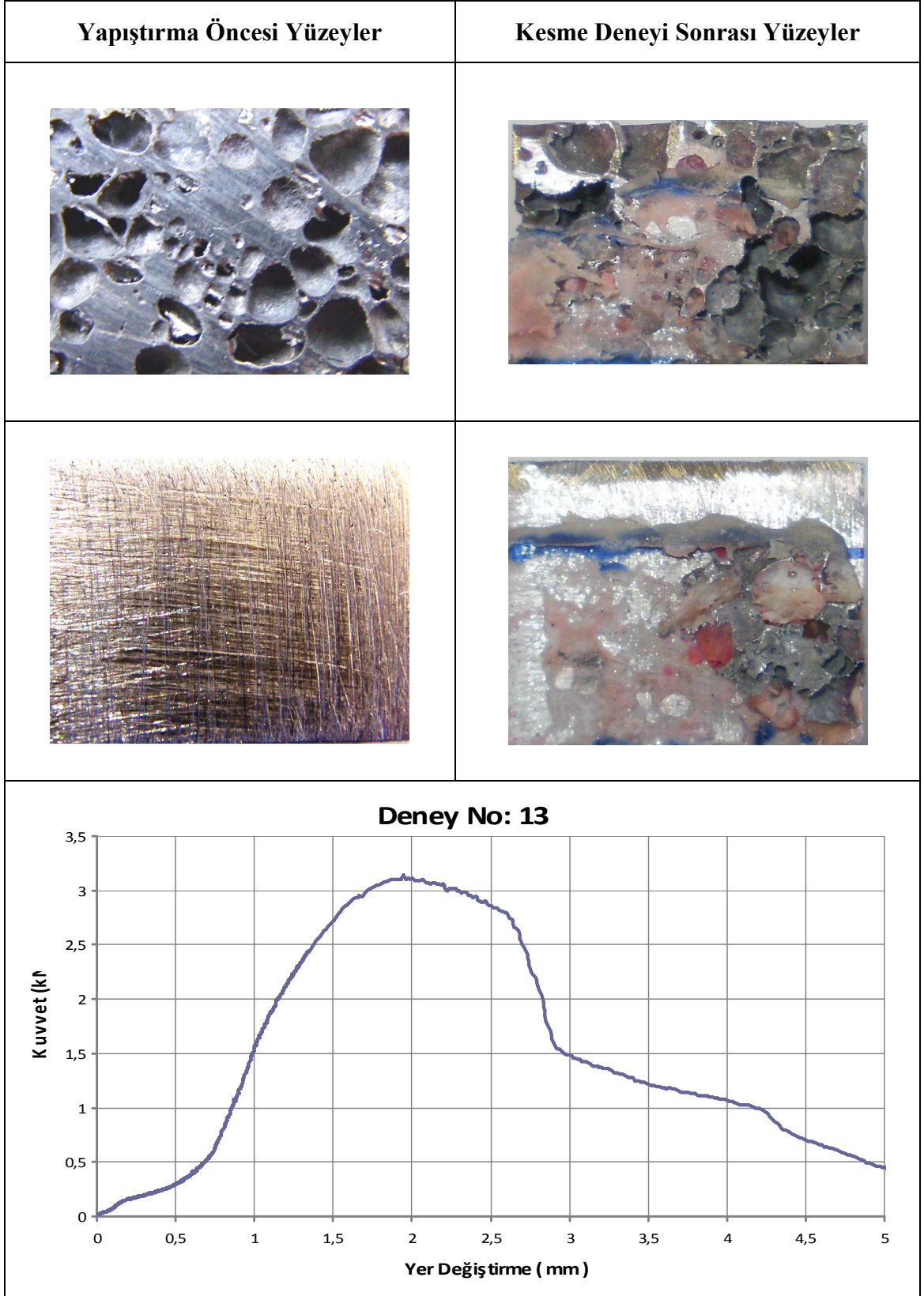
Tablo 7.10 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika)



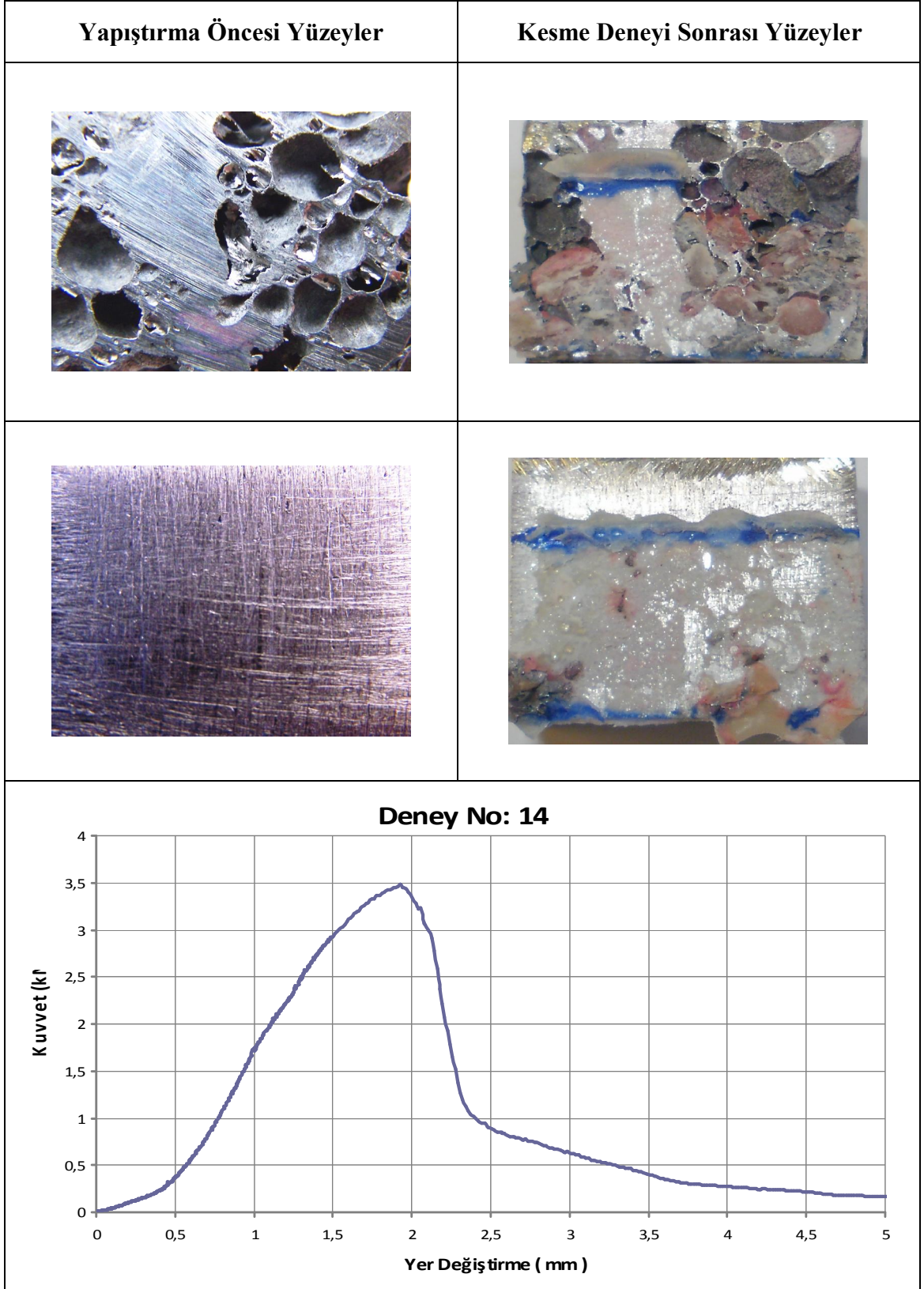
Tablo 7.11 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika)



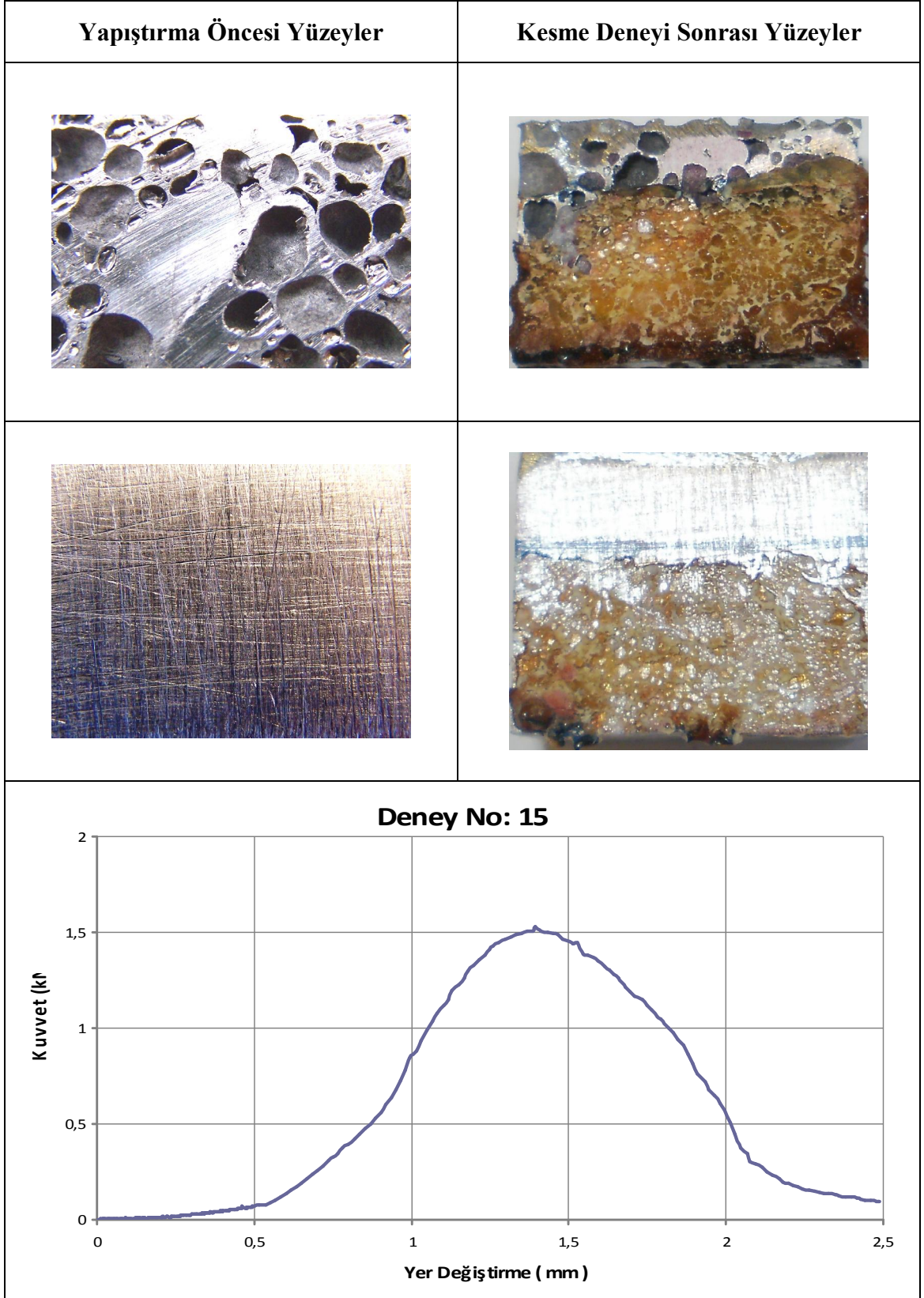
Tablo 7.12 Köpük-köpük yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika)



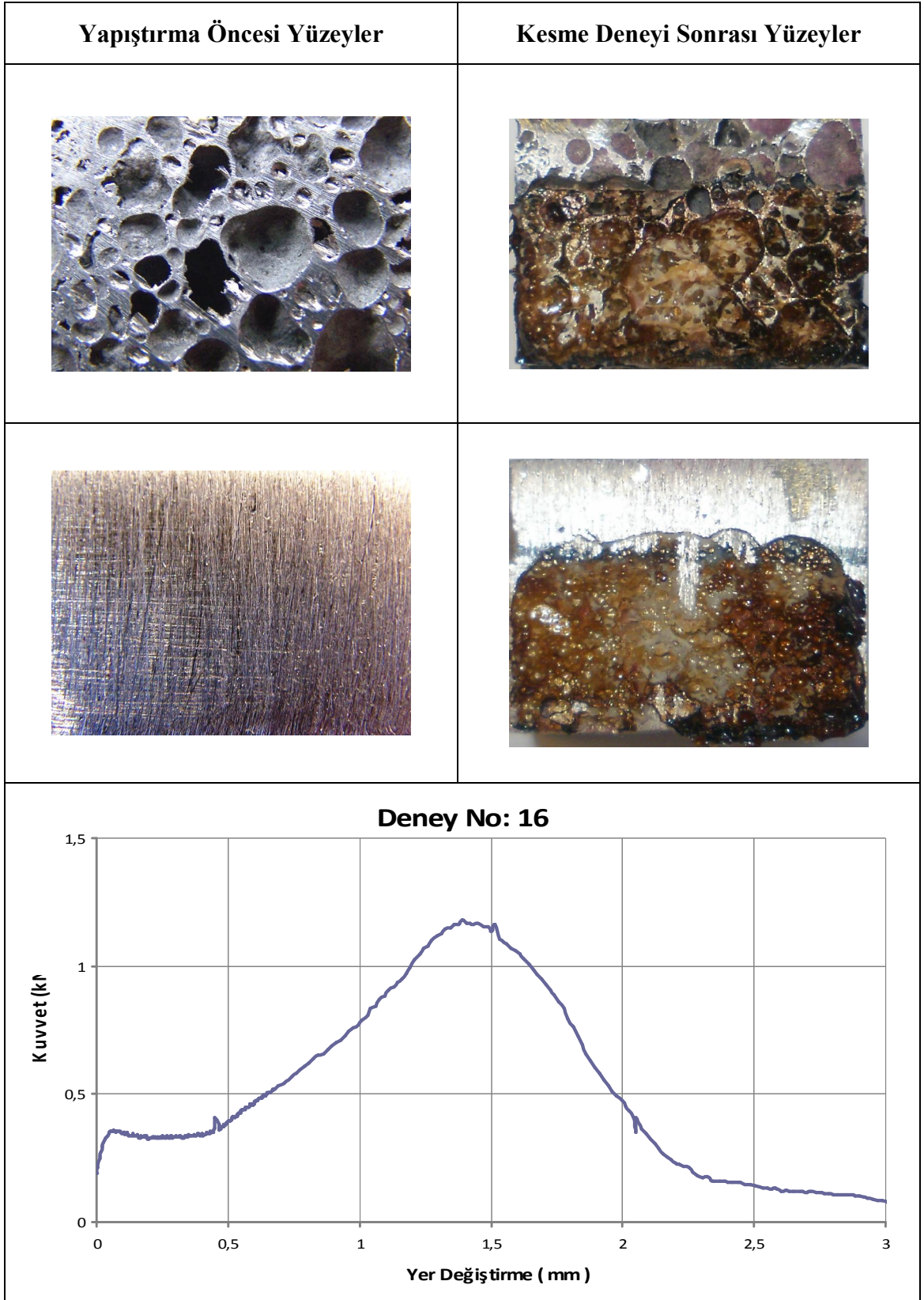
Tablo 7.13 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



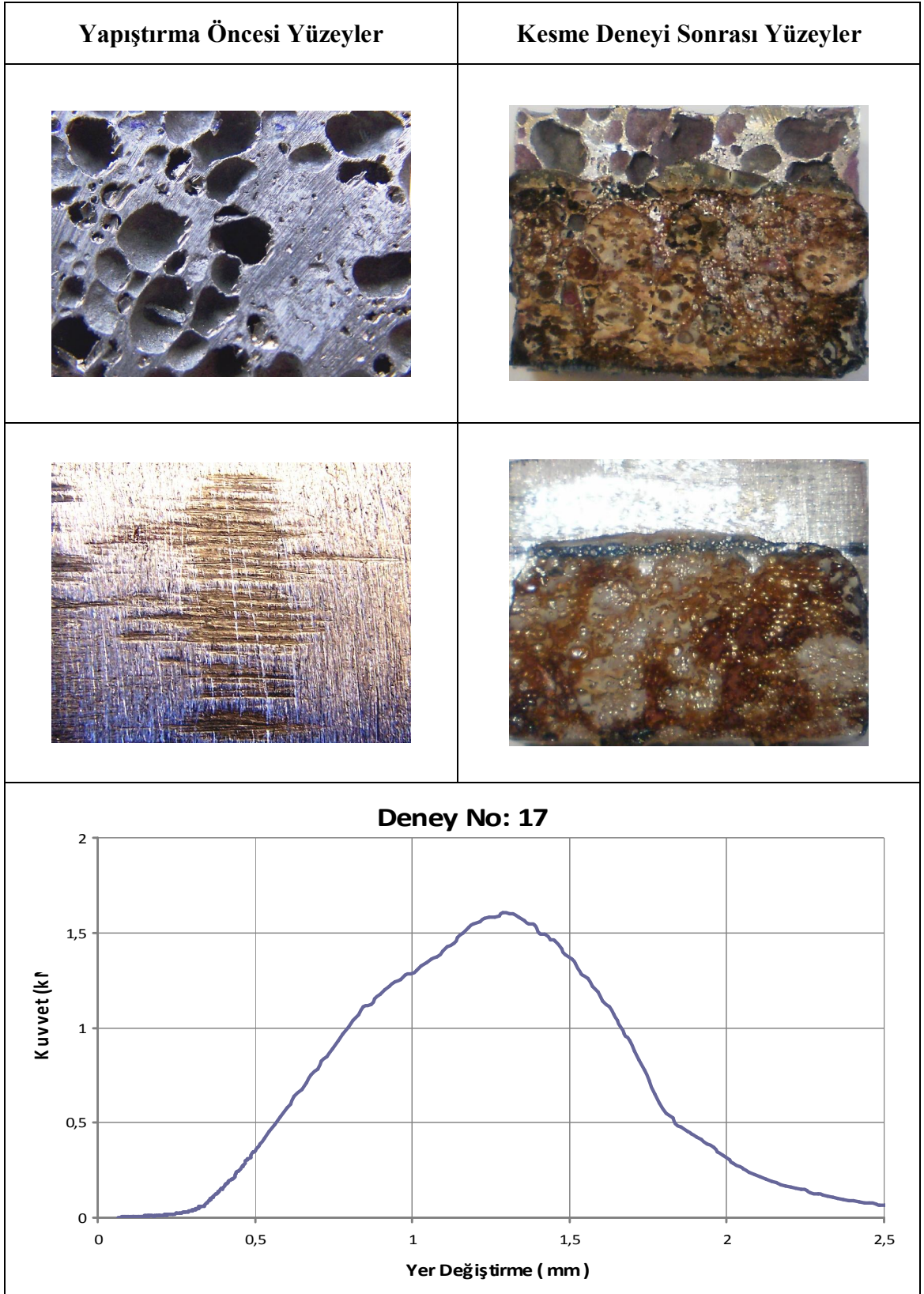
Tablo 7.14 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



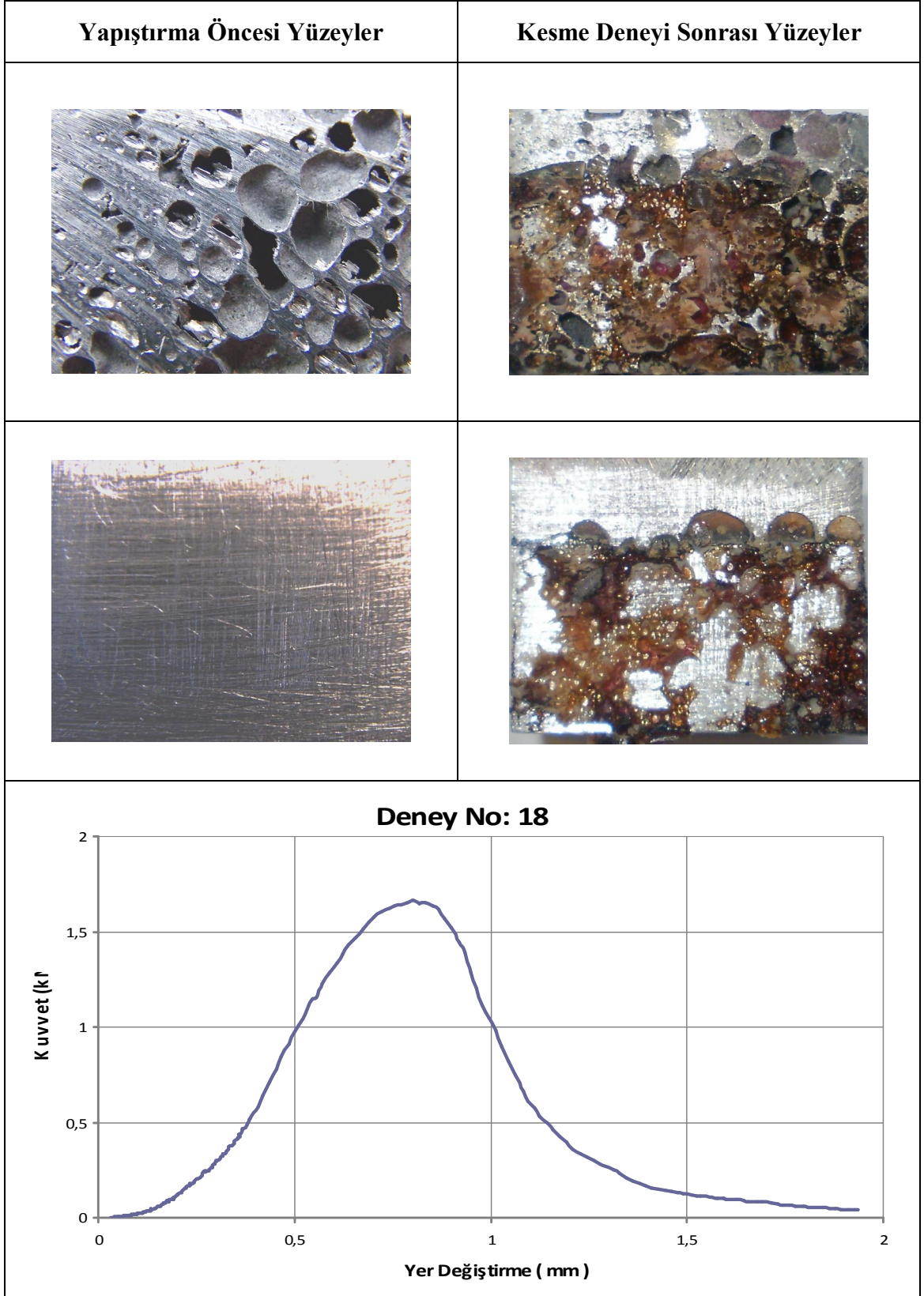
Tablo 7.15 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika)



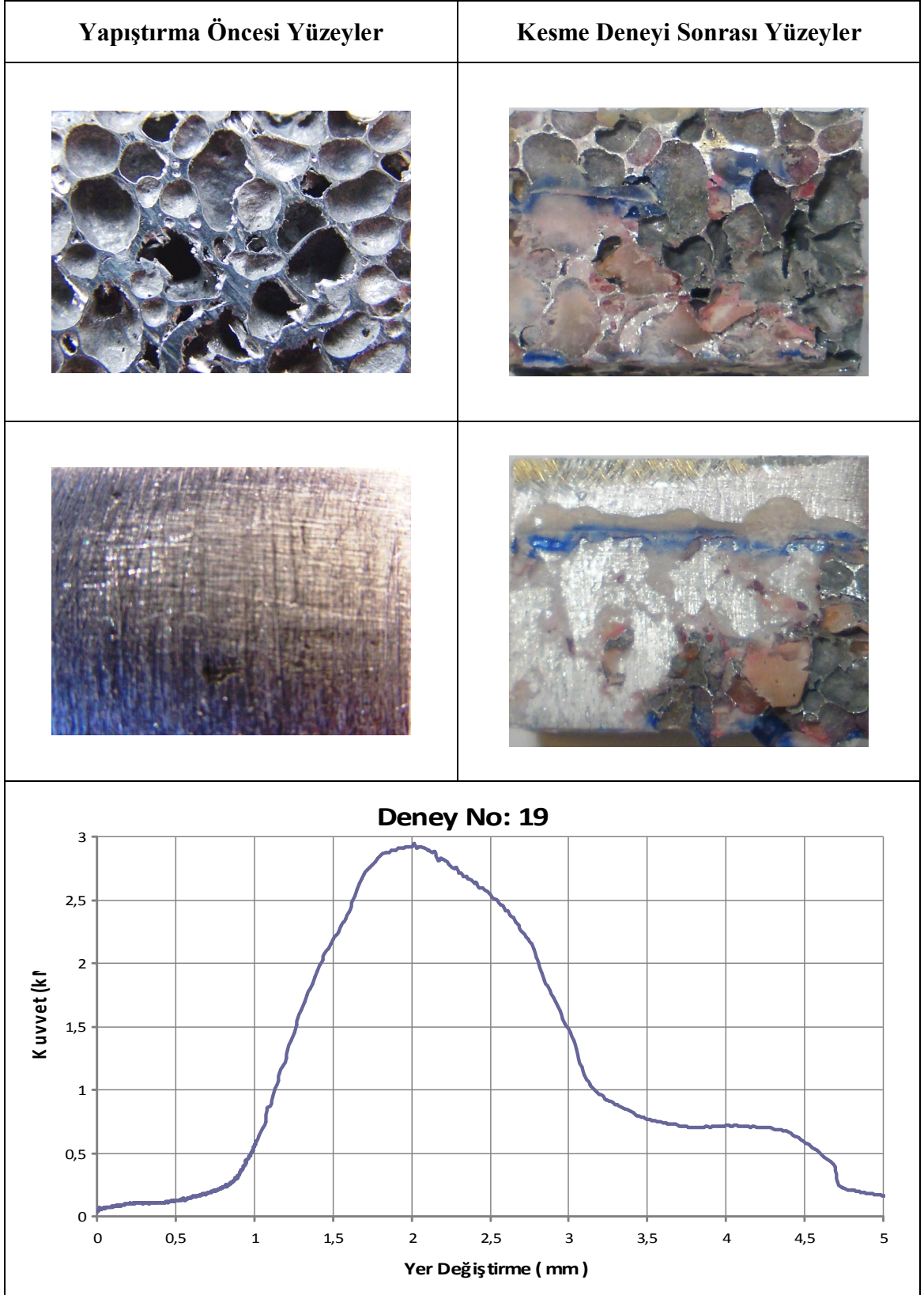
Tablo 7.16 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika)



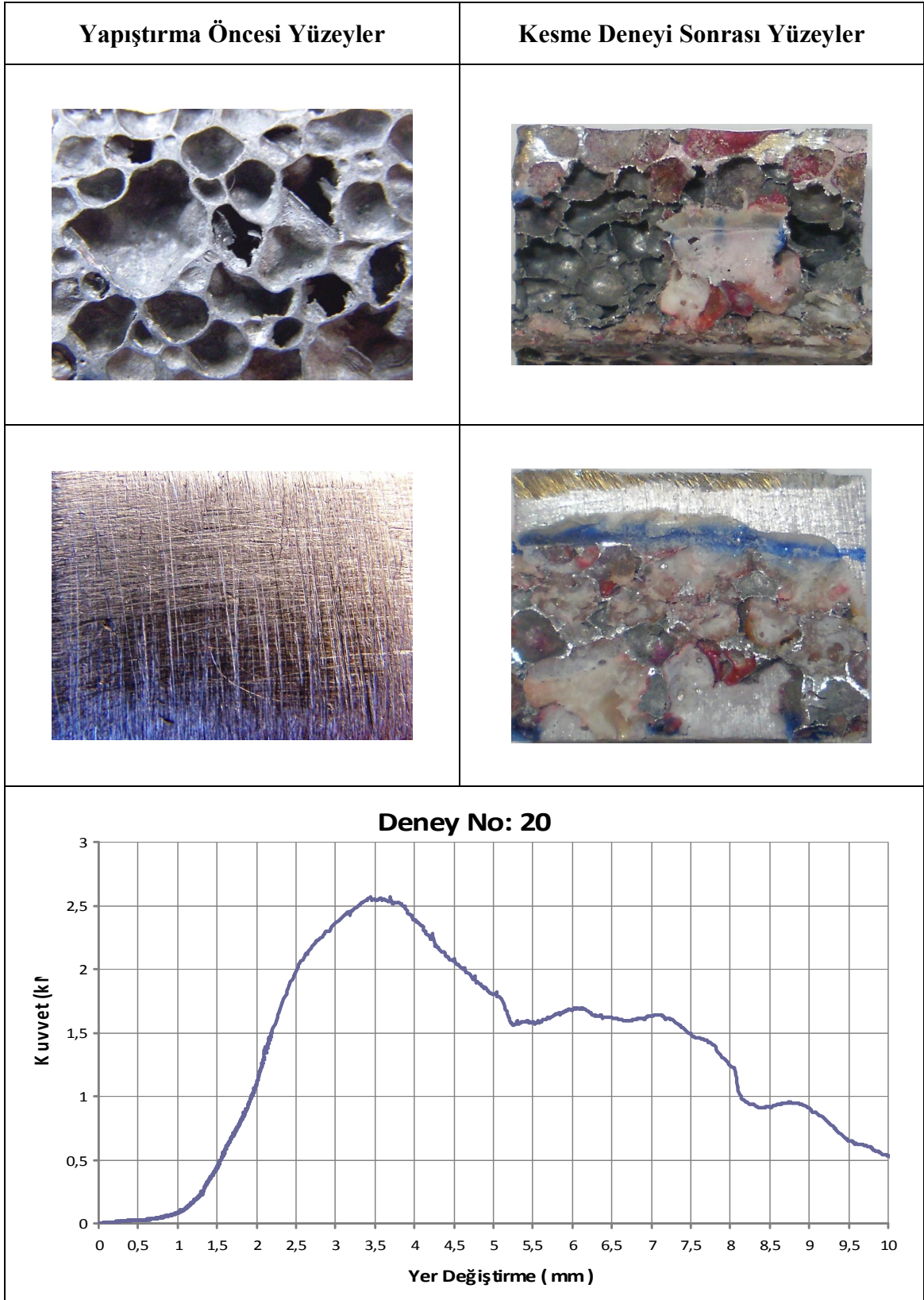
Tablo 7.17 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika)



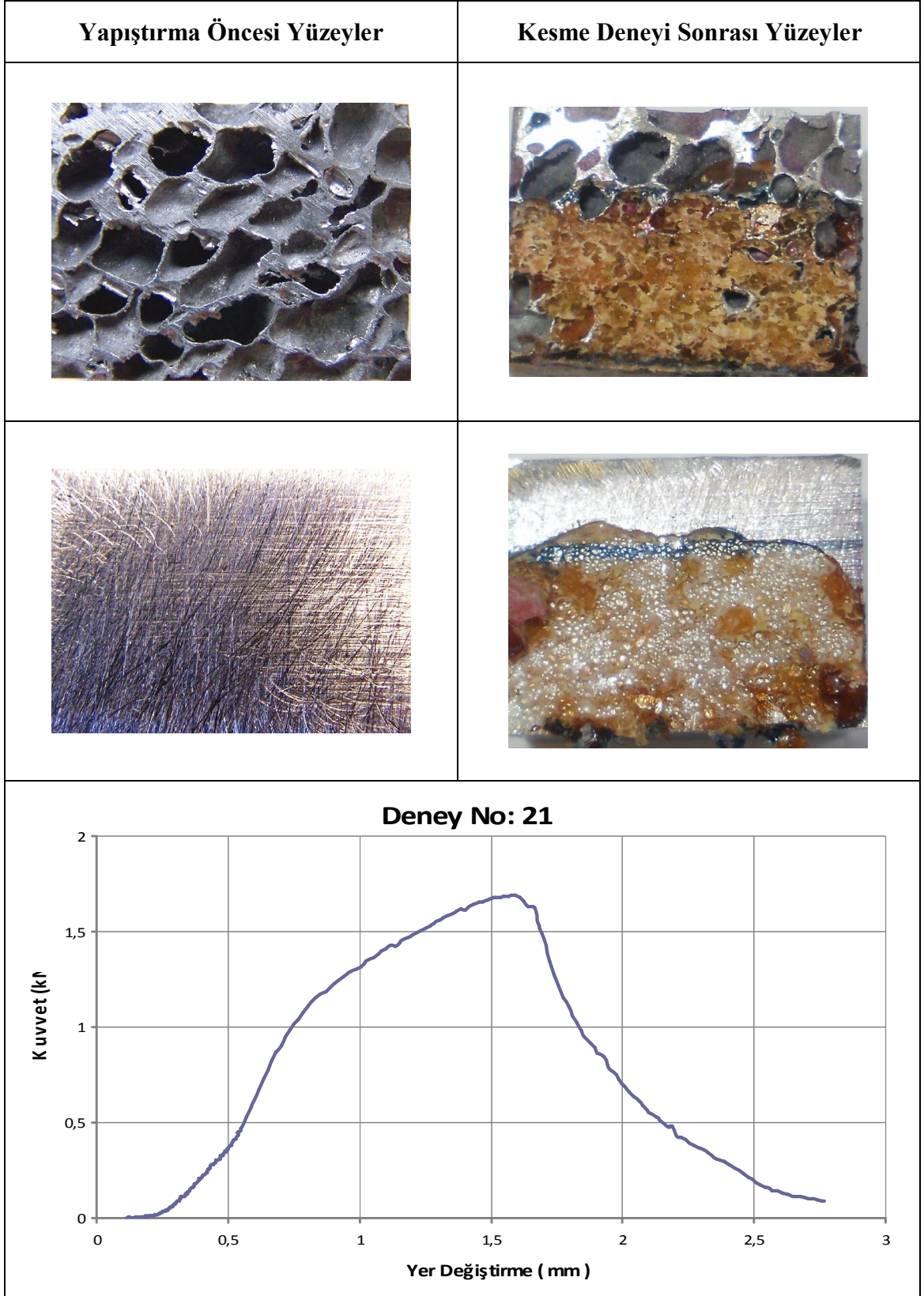
Tablo 7.18 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika)



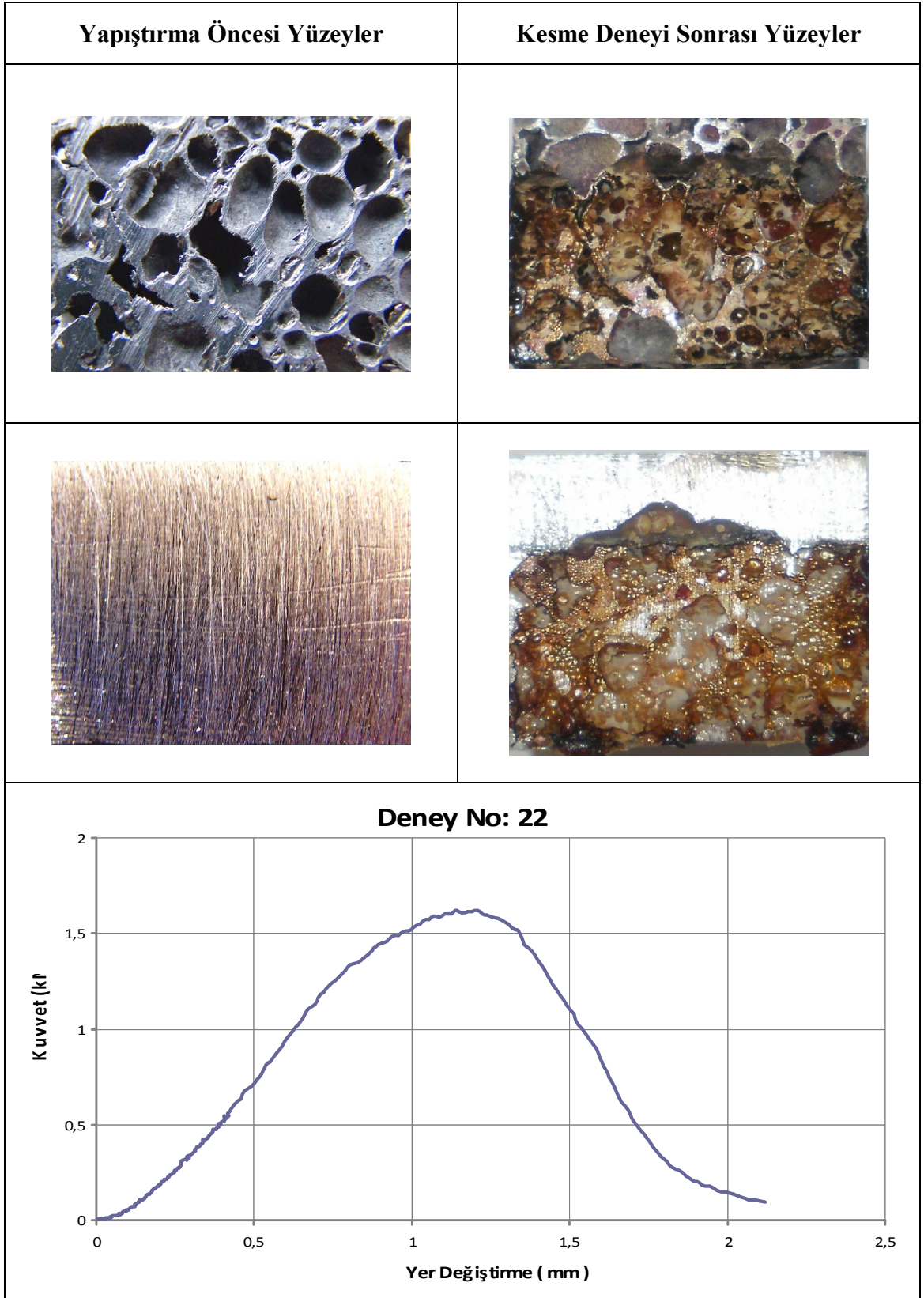
Tablo 7.19 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



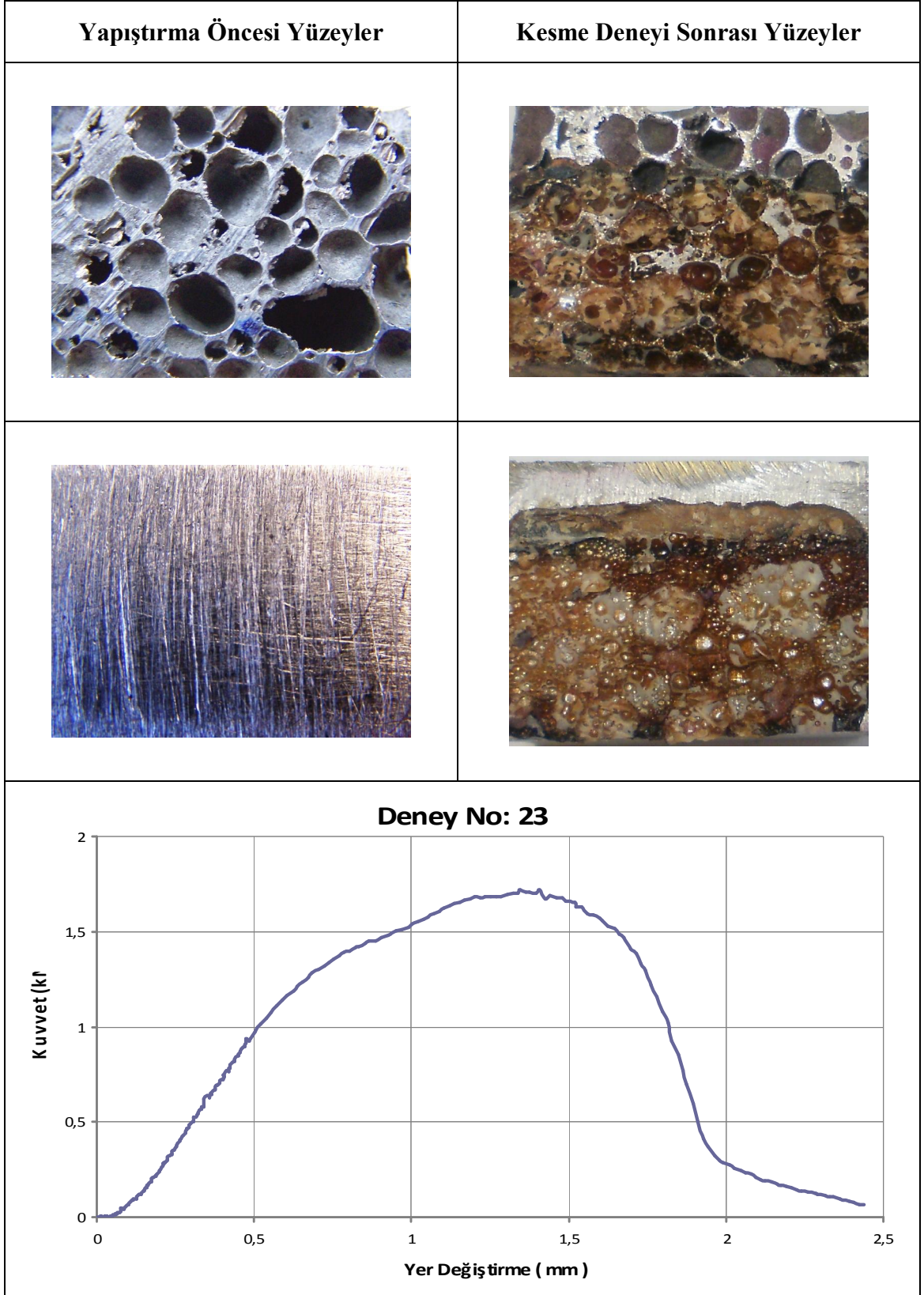
Tablo 7.20 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



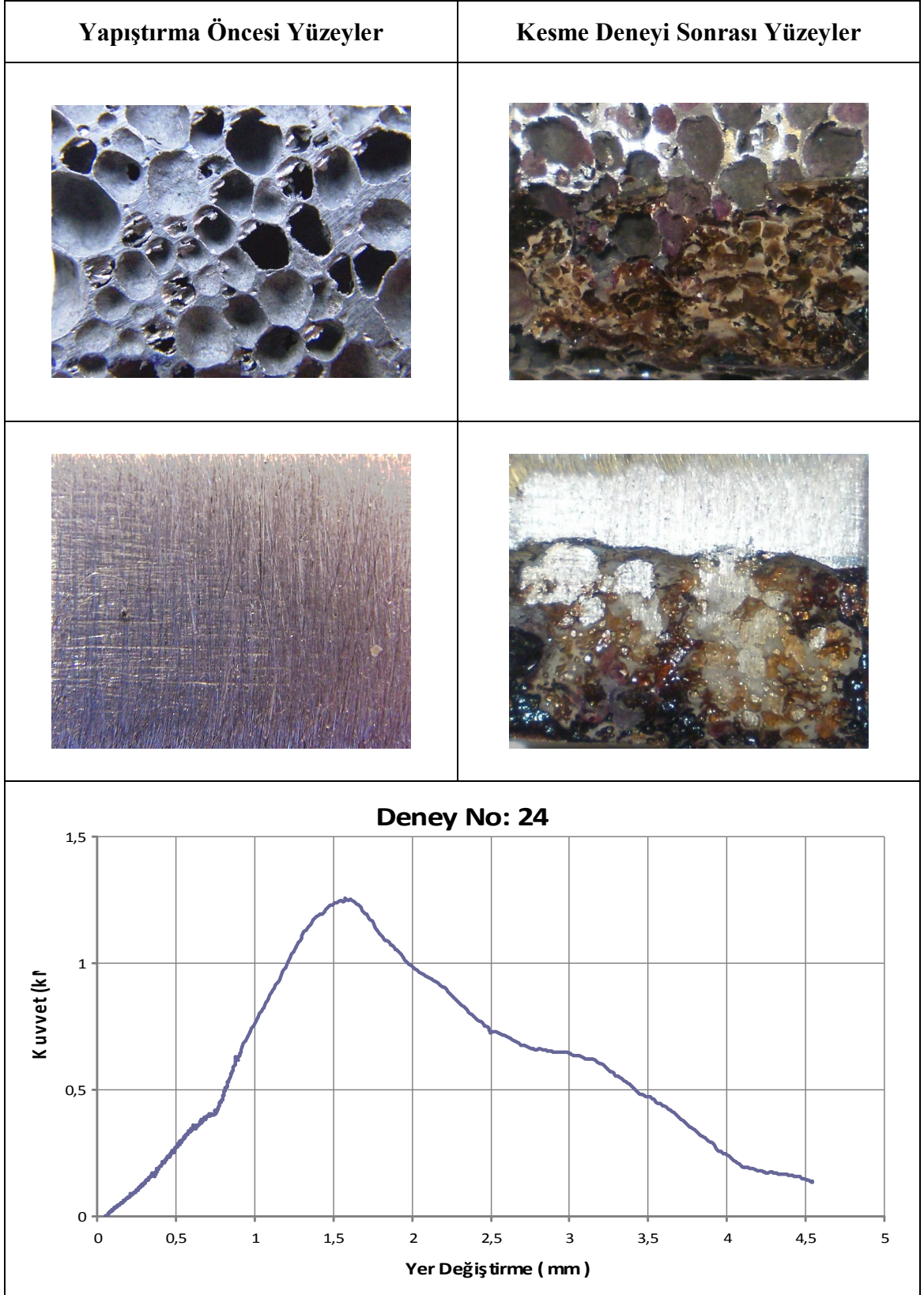
Tablo 7.21 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika)



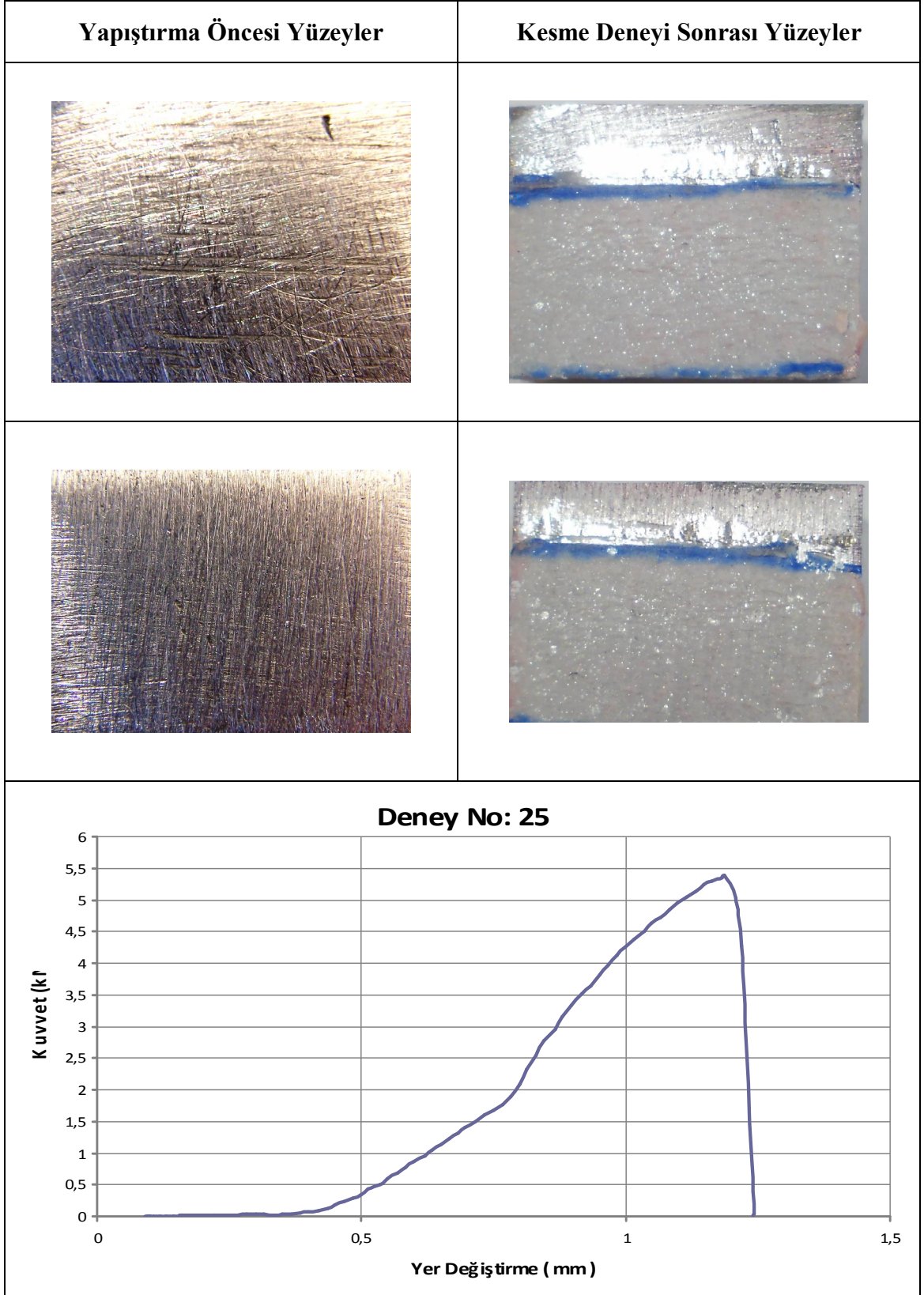
Tablo 7.22 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika)



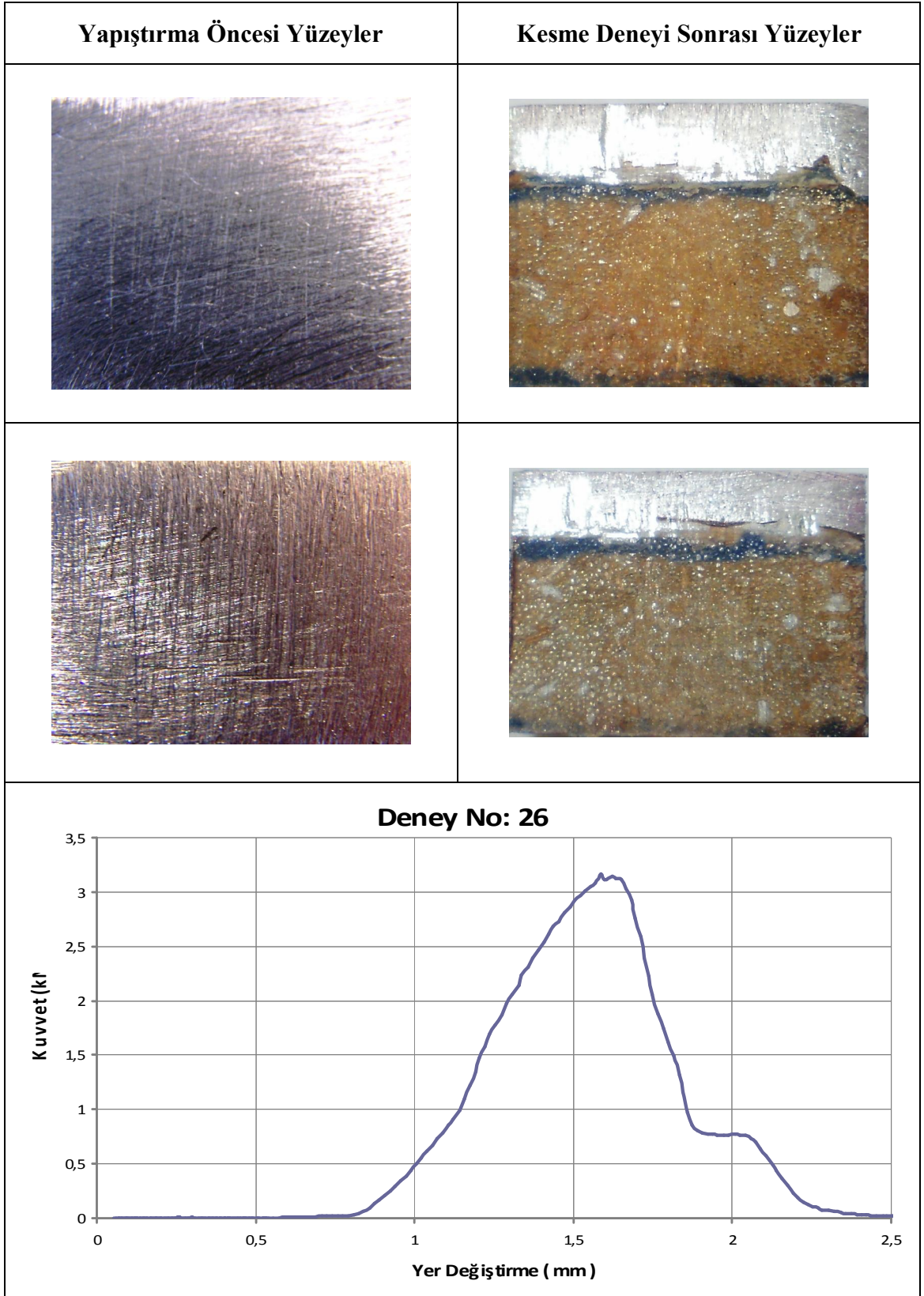
Tablo 7.23 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika)



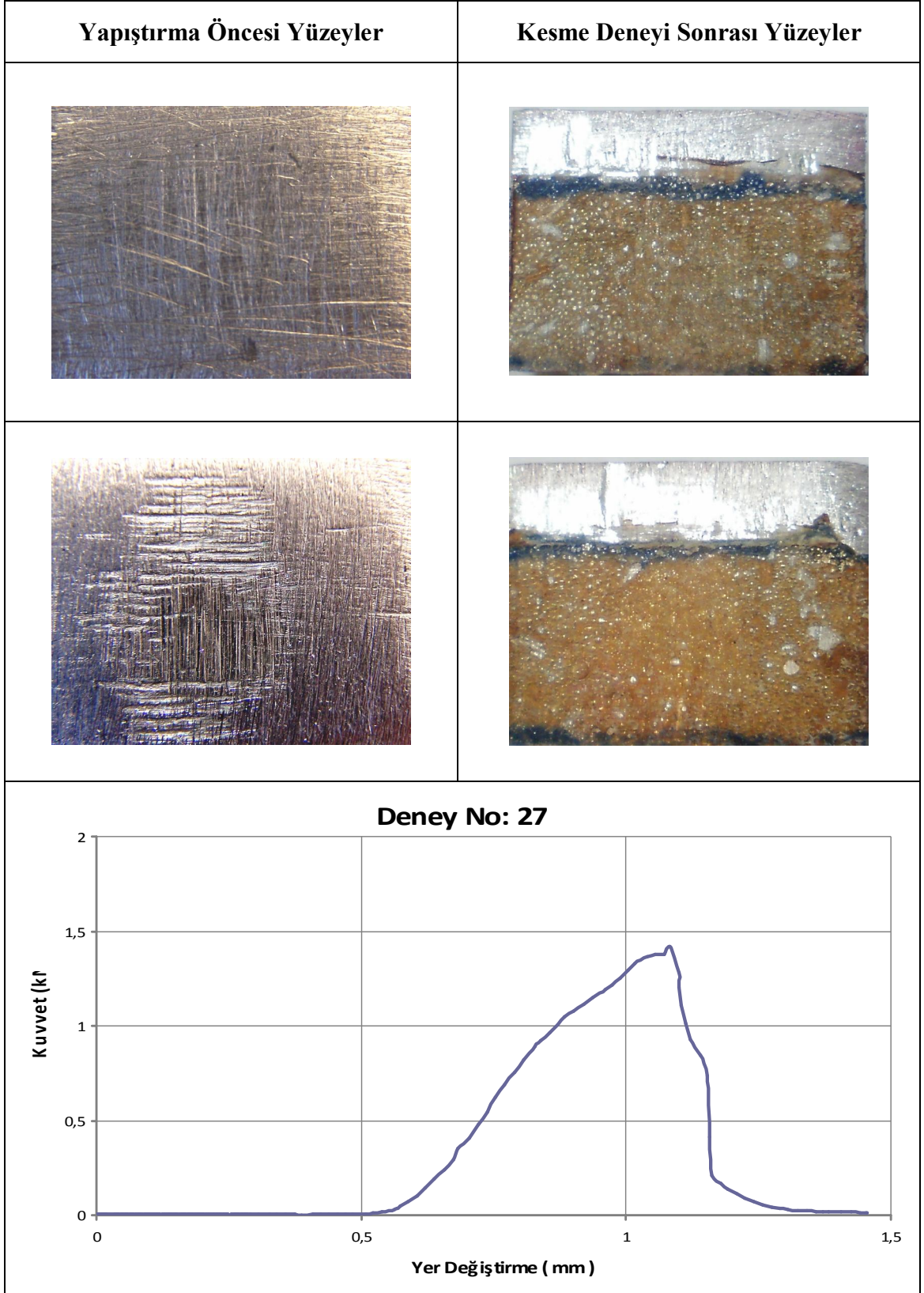
Tablo 7.24 Köpük-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika)



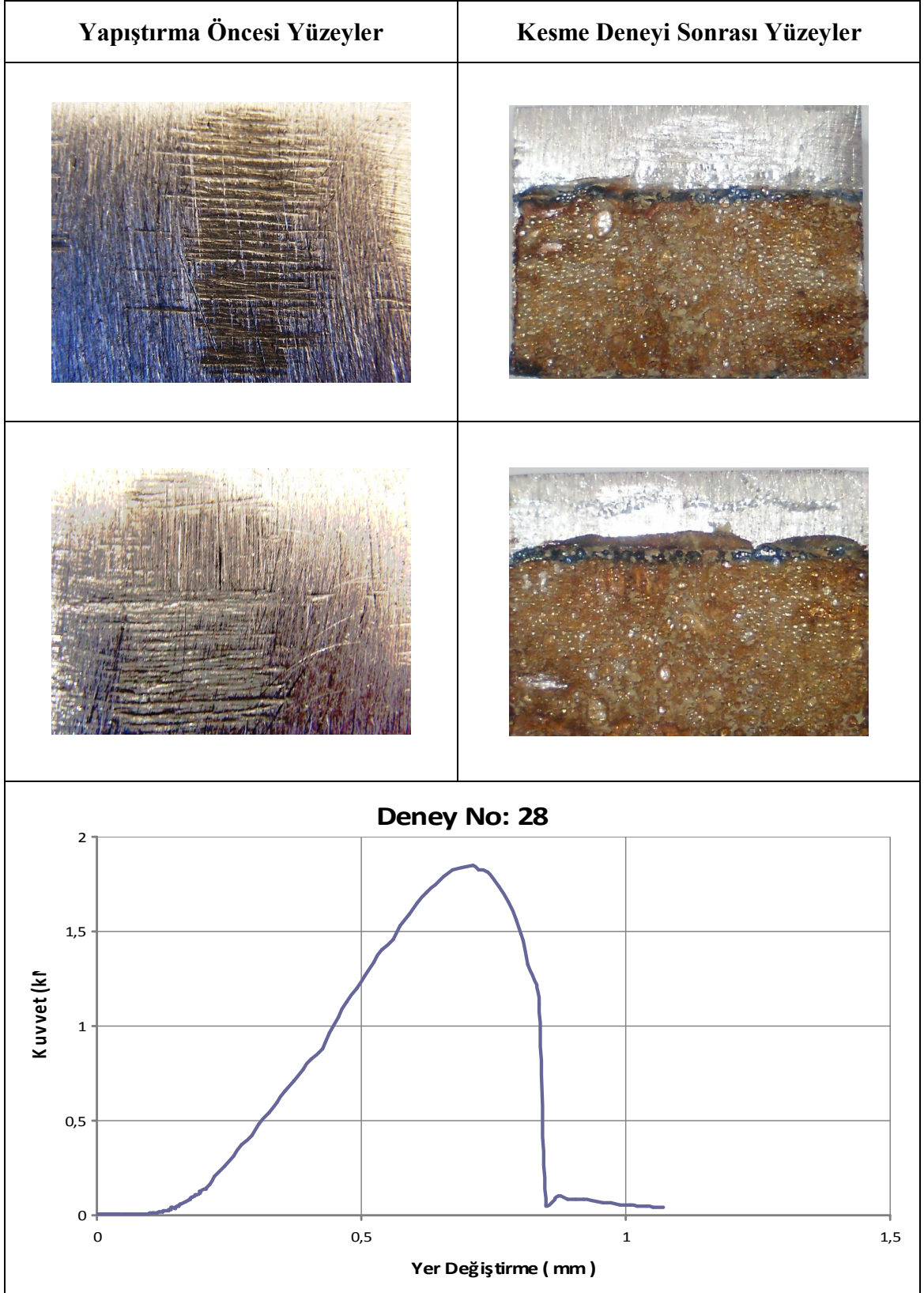
Tablo 7.25 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (ortam sıcaklığında)



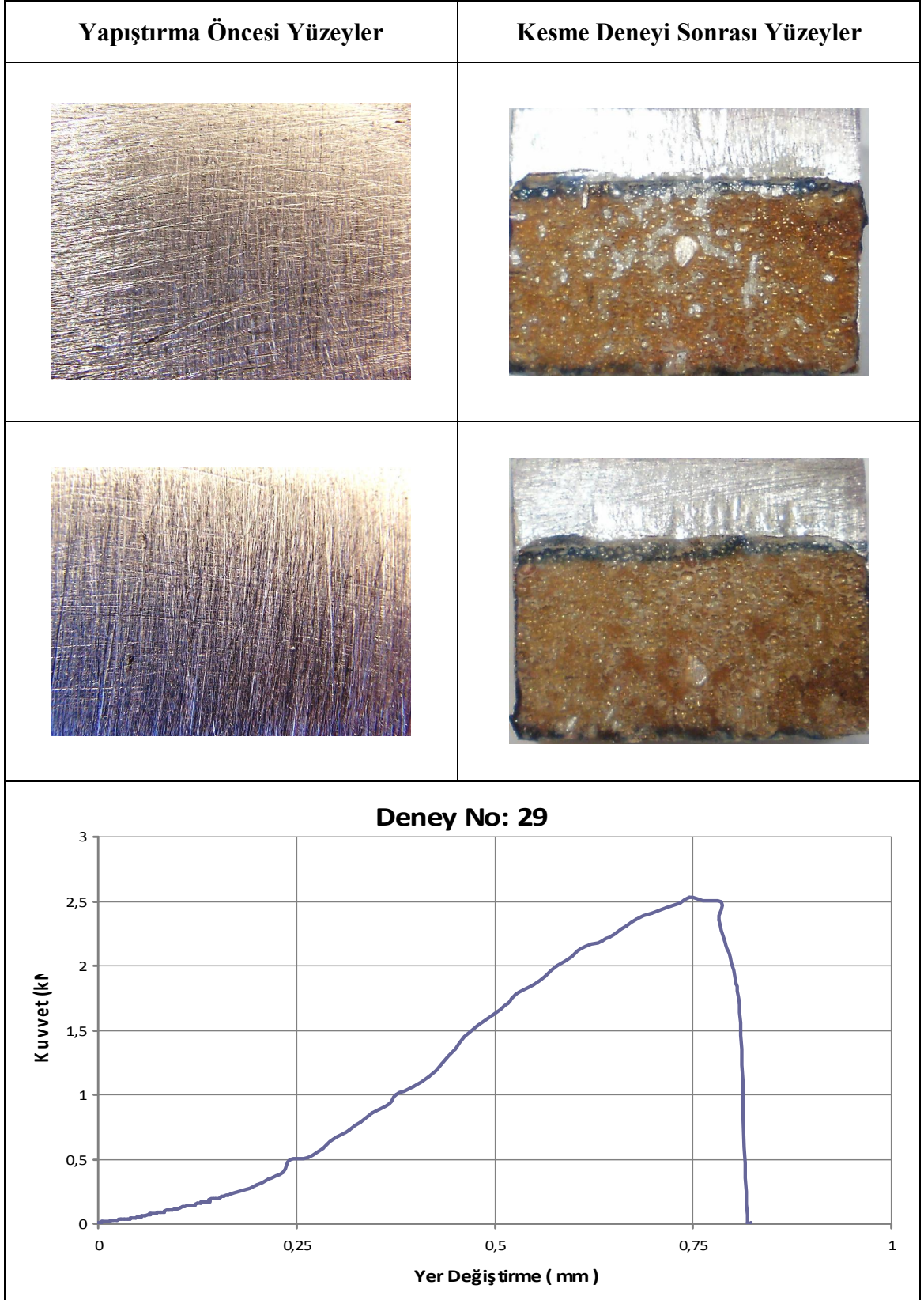
Tablo 7.26 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:15 dakika)



Tablo 7.27 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:30 dakika)



Tablo 7.28 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:45 dakika)

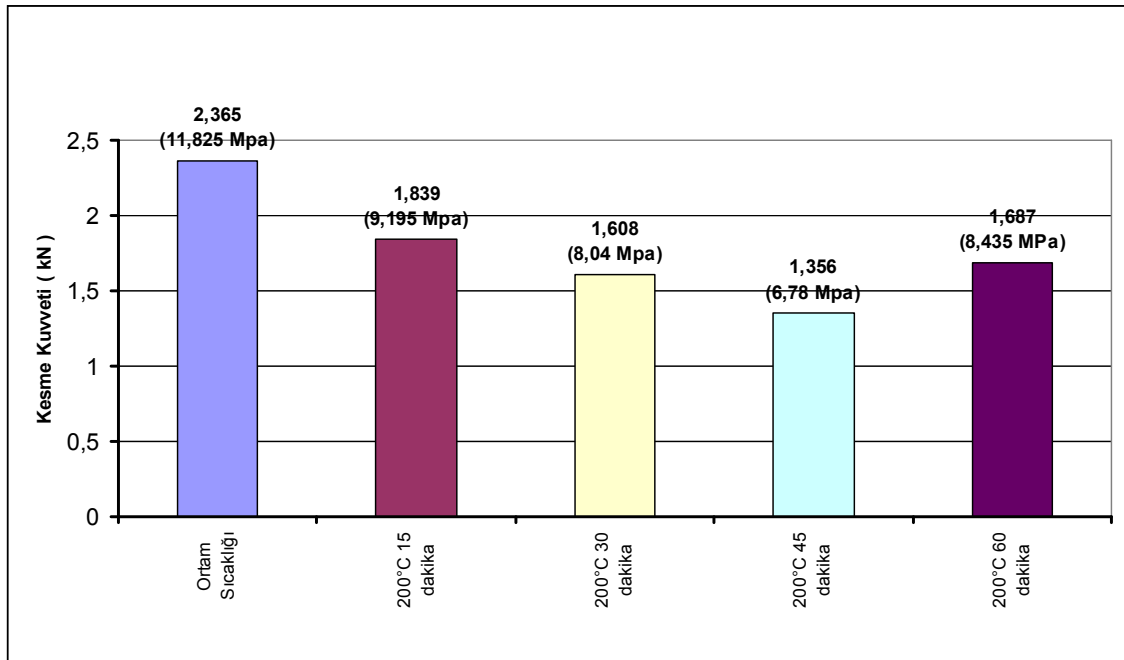


Tablo 7.29 Alüminyum-Alüminyum yapıştırma deney sonuçları (bekleme süresi:60 dakika)

Bu çalışmada; sonuçları verilen deneylerin öncesinde farklı şartlarda yapıştırma denemeleri yapılmıştır. Bu denemelerde genellikle farklı yapıştırıcılar, özellikle literatürde belirtilen genel amaçlı epoksi yapıştırıcılar denenmiştir. Çeşitli markalara ait denenilen genel amaçlı epoksilerde düşük yapışma dayanımları elde edilmiştir.

Yapılan diğer bir ön denemede viskozitesi düşük güçlendirilmiş epoksi yapıştırıcı denenmiştir. Yapıştırma işleminin ardından oda sıcaklığında belirtilen sürede yapıştırıcının kurlenmesi beklenmiştir. Kurlleşme süresi sonunda köpük malzemenin yüzeyindeki gözeneklere dolan yapıştırıcının kuruyamadığı ve halen akışkan olduğu görülmüştür. Bu nedenle yapılan deneylerde düşük viskoziteli yapıştırıcıların kullanılması uygun bulunmamıştır.

7.1. Köpük–Köpük Yapıştırma Bağlantılarının Değerlendirilmesi



Şekil 7.1 Köpük–köpük yapıştırma numunelerinin kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Oda sıcaklığındaki ve 200 °C sıcaklıkta bekletilmiş köpük–köpük yapıştırma numunelerinde kesme deneyi sonrası genellikle kohezyon hasarı görülmüştür. Bazı

numunelerin yüzeylerinde küçük alanlar şeklinde adhezyon hasarları oluşmuştur. Kesme deneyi sonrasında ait numune fotoğrafları incelendiğinde yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar tipleri daha iyi görülebilmektedir. Yapıştırılmış numunelerde adhezyon hasarından dolayı bağlantılarda kopmalar oluşmadığından, yapılan yapıştırma bağlantısının uygun olduğu söylenebilir. Bu da uygulanan yüzey işlemlerinin, yüzeyin aşındırılmasının, primerin ve seçilen yapıştırıcının uygun olduğu anlamına gelmektedir.

Oda sıcaklığındaki numuneler incelendiğinde, oluşan kohezyon hasarında numune yüzeylerinden birinde malzeme hasarı oluşmuştur. Kopma yapıştırıcıdan değil malzemenin iç yüzeyinden gerçekleşmiştir. Bu yüzden maksimum kesme kuvvetinin oluşmasında yapıştırıcının yanında malzemenin dayanımı da rol oynamıştır. Kopma yapışma ara yüzeyinden değil de malzemenin yapısından meydana geldiği için, iki numune yüzeyi arasında oluşan yapışma dayanımı malzemenin dayanımından daha büyüktür.

200 °C sıcaklıkta bekletilmiş numunelerde yapıştırma kuvveti düştüğü için yapıştırılan malzemede hasar oluşmamış, hasar yapıştırıcı ara yüzeyinde kohezyon hasarı olarak meydana gelmiştir. Bazı numunelerde küçük alanlar şeklinde adhezyon hasarı oluşmuş ve yapıştırıcı sıcaklık altında bekletildikten sonra yüzeyin belirli bölgelerinden sıyrılmıştır (Tablo 3).

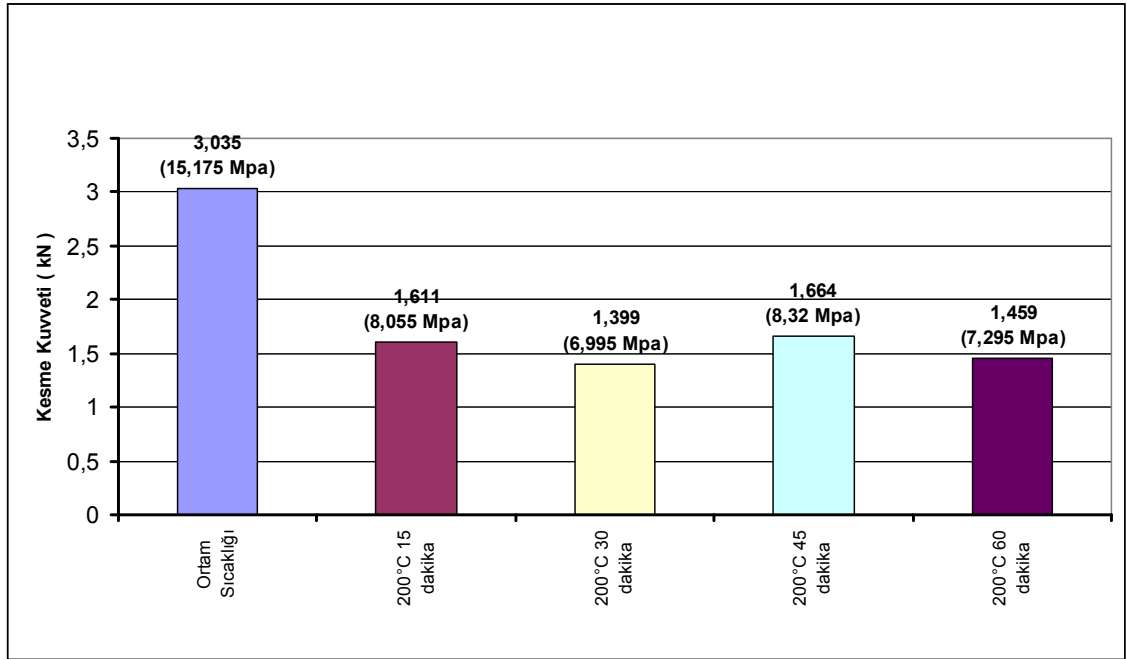
Köpük-köpük yapıştırma numunelerine ait grafik (Şekil 7.1) incelendiğinde, 200 °C sıcaklıkta bekletilmiş numunelerde yapıştırma mukavemetinin azaldığı görülmüştür (yaklaşık %40). Yapıştırma bağlantısının mukavemetinin azalmasıyla ilgili olarak, 200 °C sıcaklıkta yapıştırıcı içindeki bazı bileşenlerin yanmaya başlaması (fotoğraflarda yapıştırıcıda sıcaklık nedeniyle oluşan renk değişimi görülmektedir) ve kürleme sırasında yapıştırıcının bünyesinden atılamayan nemin buharlaşarak yapıştırıcı dayanımını düşürmesi söylenebilir. Yapıştırıcıyı oluşturan kimyasal maddeler sıcaklık etkisiyle bozunmaya uğrarlar. 200 °C sıcaklıkta 60 dakika bekletilen numunelerin mukavemeti, 45 dakika bekletilen numunelere göre tekrar artmıştır. Bu mukavemet artışına neden olarak, yapıştırıcıda oluşan su buharının tamamen yapıştırıcıyı terk etmesi, nemden dolayı kürleme sırasında polimere tam dönüşemeyen monomerlerinde

polimerleştigi ve yapıştırma mukavemetini arttırdığı söylenebilir. Ayrıca uzun süre sıcaklık etkisinde kalan yapıştırıcı malzemesi sertleşir ve gevrek bir hal alır. Yapıştırıcı bağlantısının bu şekilde gevrekleşmesi, bağlantının dayanımını ve esnekliğini azaltır.

7.2. Köpük–Alüminyum Yapıştırma Bağlantılarının Değerlendirilmesi

Köpük–alüminyum yapıştırma bağlantıları incelendiğinde ortam sıcaklığındaki ve 200 °C sıcaklıkta bekletilmiş numunelerde genellikle kohezyon hasarı görülmüştür. Adhezyon hasarı, az sayıda 200 °C sıcaklıkta bekletilmiş numunede yüzeylerin belirli bölgelerinde görülmüştür. Köpük–köpük bağlantılarının değerlendirilmesinde belirtildiği üzere uygulanan yapıştırma işlem prosedürünün ve kullanılan malzemelerin uygun olduğu söylenebilir.

Ortam sıcaklığındaki yapıştırma numuneleri incelendiğinde hasarın malzeme yüzeyinden parça kopması ile oluştuğu görülmektedir. Kopan malzeme parçasının dışındaki yüzey incelendiğinde ise yapıştırıcının iki malzeme yüzeyinde de olduğu görülecektir (Tablo 13). Bu da bize yapıştırıcıda meydana gelen hasarın kohezyon hasarı olduğunu göstermektedir.



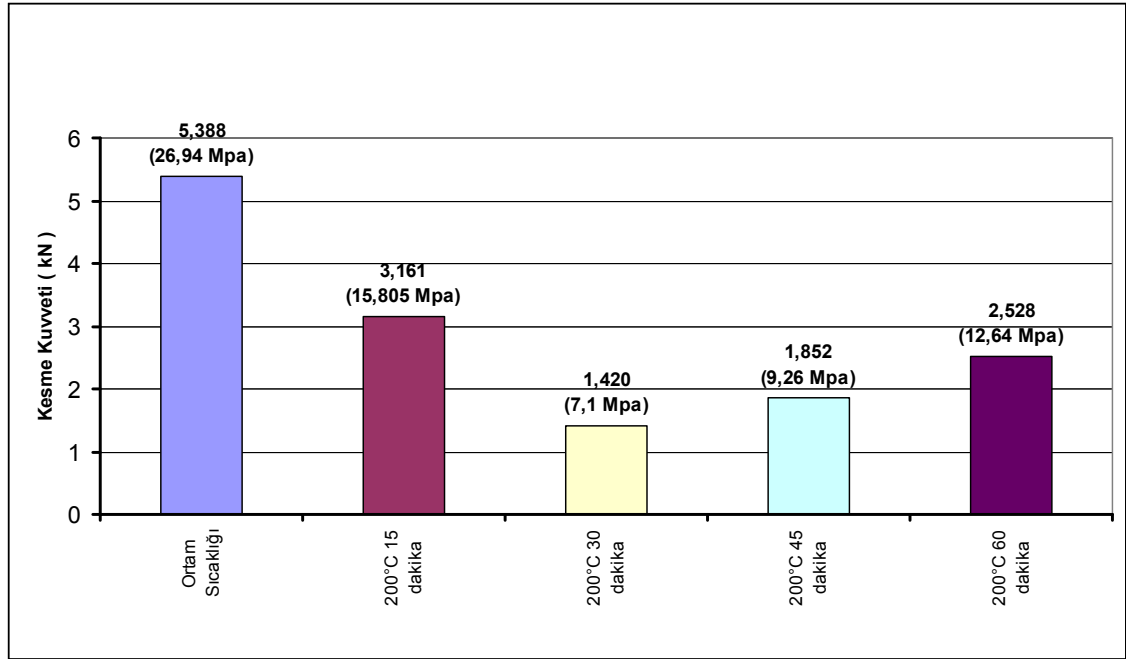
Şekil 7.2 Köpük–alüminyum yapıştırma numunelerin kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

200 °C sıcaklıkta bekletilmiş numunelerde ise yapışma mukavemetinin azalmasından dolayı oluşan hasarın sadece yapıştırıcı yapısında kohezyon hasarı şeklinde olduğu, bazı numune yüzeylerinde küçük alanlar şeklinde adhezyon hasarının veya soyulmaların olduğu görülmektedir (Tablo 18).

Köpük–alüminyum yapıştırma numunelerinin de 200 °C sıcaklıkta bekletilmesi yapışma dayanımlarını azaltmıştır. Sıcaklık sonucunda yapışma bağlantısının dayanımı yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Yapışma mukavemetinin 200 °C sıcaklıkta azalmasının nedenine köpük–köpük yapıştırma numunelerinin incelenmesinde bahsedilen aynı nedenler gösterilebilir.

Tablolardaki kuvvet (kN)–yer değiştirme (mm) eğrileri incelendiğinde aynı köpük–köpük yapıştırma numunelerinde olduğu gibi sıcak ortamda bekletilen köpük–alüminyum yapıştırma bağlantılarında esnekliğini kaybettiği söylenebilir.

7.3. Alüminyum–Alüminyum Yapıştırma Bağlantılarının Değerlendirilmesi



Şekil 7.3 Alüminyum–alüminyum yapıştırma numunelerin kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Alüminyum – alüminyum yapıştırma bağlantılarının bu çalışmada denenmesinin amacı alüminyum köpük ve alüminyum levha yapıştırma bağlantılarında sonuçların daha iyi analiz edilebilmesini sağlamaktır.

Alüminyum–alüminyum yapıştırma numuneleri incelendiğinde numune yapıştırma bağlantılarında oluşan tüm hasarların kohezyon hasarı olduğu görülmüştür. Yüzeyler incelendiğinde her iki yüzeyde de yeterli yapıştırıcı tabakasının olduğu görülmektedir (Tablo 25). Bu bize yapıştırma prosesinin uygun olduğunu ve yapıştırma bağlantısının iyi şekilde gerçekleştiğini gösterir.

200 °C sıcaklıkta bekletilen alüminyum–alüminyum yapıştırma bağlantılarının yapışma dayanımında da yaklaşık % 50 civarında düşüş gerçekleşmiştir. Tablolardaki kuvvet (kN)–yer değiştirme (mm) eğrileri incelendiğinde, alüminyum–alüminyum yapıştırma bağlantıları maksimum kuvvete ulaştıktan hemen sonra ani bir şekilde bağlantı birbirinden ayrılmıştır. Oysa köpük–köpük ve köpük–alüminyum yapıştırma bağlantılarında kesme kuvveti maksimum değere ulaştıktan sonra bağlantı belirli süre ile kuvveti taşımaya devam etmiş ve kuvvet kademeli olarak azalmıştır. Bağlantılarda

alüminyum-alüminyum yapıştırma numunelerinde olduğu gibi ani bir ayrılma gerçekleşmemiştir.

8. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada alüminyum köpüklerin, alüminyum köpükler ve alüminyum levhalar ile yapıştırılabilme yeteneği, kullanılan yapıştırıcının ve yapıştırma bağlantısına sıcaklığın etkisi incelenmiştir.

Bağlantı tipi olarak tek taraflı bindirme bağlantısı, bağlayıcı olarak ta metakrilat esaslı yapısal yapıştırıcı seçilmiştir. Kompozit köpükler, kompozit köpükler ve alüminyum plakalar ile birleştirilmiş, 200 °C sıcaklıkta 15, 30, 45, 60 dakika bekletilmişlerdir Tüm numunelere kesme deneyi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Yapıştırma bağlantı tipi; alüminyum metal köpüklerin, alüminyum metal köpükler ve alüminyum levhalar ile birleştirilmesinde uygulanabilir bir bağlantı tipi olduğu görülmüştür.
2. Alüminyum metal köpüklerin yapıştırılmasında literatürde belirtilen genel epoksi yapıştırıcıların kullanılması durumunda, yapışma bağlantısının gerçekleştiği fakat düşük yapışma mukavemetlerinin elde edildiği görülmüştür.
3. Köpük metallerin yapıştırılmasında boşluk doldurma kabiliyeti olan, viskozitesi yüksek yapısal epoksi yapıştırıcılar kullanılması gerektiği görülmüştür.
4. Metakrilat esaslı yapısal yapıştırıcılar alüminyum köpüklerin yapıştırılmasında kullanılabilir. Yapıştırma öncesi yüzeylere primer uygulaması, metakrilat esaslı yapıştırıcının yapışma dayanımını artırmaktadır.
5. Metakrilat esaslı yapıştırıcının; 200 °C sıcaklık altında yaklaşık 30 dakika süre bekletildiğinde yapışma mukavemetinin yaklaşık % 50 oranında azaldığı görülmüştür.

6. Yapıştırma bağlantısı, kullanımı esnasında sıcaklığa maruz kalacak ise, kullanılan yapıştırıcının maruz kaldığı sıcaklık değerinde yapıştırıcının yapışma mukavemetindeki değişimler önceden bilinmeli ve bu değerler tasarım aşamasında dikkate alınmalıdır.
7. Eğer kullanılan yapıştırıcı oda sıcaklığında kür edilecek ise; düşük viskoziteli yapıştırıcılar köpük metallerin birleştirilmesinde tercih edilmemelidir.
8. Alüminyumun düşük yüzey enerjisine sahip oluşu ve pasif bir metal olmasından dolayı, yapışma dayanımının yeterli olabilmesi için yapıştırma işlemi öncesi yüzey hazırlıkları yeterli biçimde yapılmalıdır.
9. Alüminyum köpüklerin alüminyum köpükler ve alüminyum levhalar ile yapıştırılmasında, yapışma dayanımını, köpük malzemenin dayanımı sınırlar. Köpük malzemenin dayanımı ne kadar yüksek ise yapışma dayanımı o derece artacaktır. Oluşan hasar köpük malzeme yapısında değil yapıştırıcı yapısında meydana gelecektir.
10. Alüminyum köpüklerin alüminyum levhalar ile yapıştırılmasında, alüminyum köpükler ile yapıştırılmasından daha iyi yapışma dayanımları elde edilmiştir.
11. Yapıştırma ile birleştirme tekniğinde harcanan zaman, yapılan yüzey hazırlıkları ve yapıştırıcının kürleşme süresi ile orantılıdır.
12. Yapıştırıcı bağlantı tipi; alüminyum köpükler için etkin, maliyeti az, her türlü bağlantı geometrisine uygulanabilen, vasıflı eleman gerektirmeyen bir bağlantı tipidir. Bu yüzden tasarımı düşünülen, metal köpüklerin kullanıldığı konstrüksiyonlar da bağlantı tipi olarak yapıştırma bağlantısı göz ardı edilmemelidir.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışması TÜBİTAK tarafından desteklenen 108M325 numaralı 1001 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Adams, R.D., Comyn, J., Wake, W.C., 1997, "Structural Adhesive Joints in Engineering", Chapman&Hall, London, 167, 359

Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W., Wadley, H.N.G., 2000, "Metal Foams: A Design Guide", Butterworth-Heinemann, 1-233

ASM, 1990, "Engineered Materials Handbook: Adhesives and Sealants", Vol: 3, 560

Babcsan, N., Banhart, J., Leitmeier, D., 2003, "Metal Foams – Manufacture and Physics of Foaming", Advanced Metallic Materials, 5-15

Babcsan, N., Banhart, J., 2006, "Metal Foams", Cambridge University Press, 445

Banhart, J., 1999, "Properties and Applications of Cast Aluminium Sponges", 1st International Conference on Metal Foams and Porous Metal Structures (MetFoam'99), Bremen, Germany, 159-162

Banhart, J., 2000, "Manufacturing Routes for Metallic Foams", Journals of Materials, 52, 22-27

Banhart, J., 2000, "Metallic foams: Challenges and Opportunities", Eurofoam 2000, MIT-Verlag Bremen, 13-20

Banhart, J., 2001, "Manufacture, Characterization and Application of Cellular Metals and Metal Foams", Progress in Materials Science, 46, 559-632

Banhart, J., 2003, "Aluminium Foams: On the Road to Real Applications", Mrs Bulletin, 290-295

Banhart, J., 2005, "Aluminium Foams for Lighter Vehicles", International Journal of Vehicle Design, 37, 114–125

Banhart, J., 2006, "Metal Foams: Production and Stability", Advanced Engineering Materials, 8, 781-794

Banhart, J., Seeliger, H.W., 2008, "Aluminium Foam Sandwich Panels: Manufacture, Metallurgy and Applications", Advanced Engineering Materials, 9, 793-802

Bernard, T., Burzer, J., Bergmann, H.W., 2001, "Mechanical Properties of Structures of Semifinished Products Joined to Aluminium Foams", Journal of Materials Processing Technology 115, 20-24

Çinici, H., 2004, "Toz Metalurjisi Yöntemi ile Alüminyum Esaslı Metalik Köpük Üretimi", Gazi Üniversitesi, 40

Davies, G.J., Zhen, S., 1983, "Metallic Foams: Their production, properties and applications", J. Material Science 18, 1899-1911

Degischer, H.P., Kriszt, B., 2002, "Handbook of Cellular Metals: Production, Processing and Applications", Wiley-VCH, Weinheim, 1-363

Demirhan, P.A., 2010, "Kompozit Metal Köpük Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Trakya Üniversitesi, 35-37

Deqing, W., Xiangjun, M., Weiwei, X., Ziyuan, S., 2006, "Effect of Processing Parameters on Cell Structure of an Aluminum Foam", Materials Science and Engineering, A420, 235-239

Drolet, J. P., 1977, "Metallic Foams", International Journal of Powder Metallurgy & Powder Technology, 35-44

Haydn, N., Wadley, G., 2002, "Cellular Metals Manufacturing", Advanced Engineering Materials, 10, 726-733

Loctite Corporation, 1998, "Loctite Worldwide Design Handbook", Second Edition, Germany, on CD, 21-48

Oka, S.H., 2009, "Alüminyum Köpük Metalinin Farklı Yükleme Koşullarındaki Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Matematik Modellemesi", Uludağ Üniversitesi, 7

Olurin, O.B., Fleck, N.A., Ashby, M.F., 2000, "Joining of Aluminium Foams with Fasteners and Adhesives", Journal of Materials Science 35, 1079-1085

Prakash, G.O., Sang, H., Embury, J.D., 1995, "Structure and properties of Al-Si foam", Materials Science Engineering, A 199, 195-203

Rende, H., 2000, "Makine Elemanları Hesap ve Konstrüksiyon Cilt I", Seç Yayın ve Dağıtım, Çağaloğlu İstanbul, 4. Bölüm, 1-9

Sedliaková, N., Simančík, F., Kováčik, j., Minár, P., 1997, "Joining of Aluminium Foams", Metallschäume: Proc. of Symposium Metallschäume, Bremen, 177-185

Song, Z., Nutt, S.R., 2007, "Rheology of Foaming Aluminum Melts", Materials Science and Engineering, A 458, 108-115

Srivastava, V. C., Sahoo, K.L., 2006, "Metallic Foams: Current Status and Future Prospects", IIM Metal News, 9, 9-13

Srivastava, V. C., Sahoo, K. L., 2007, "Processing, stabilization and applications of metallic foams. Art of science", Materials Science, 25, 733-753

Stöbener, K., Baumeister, J., Lehmhus, D., Stanzick, H., Zöllmer, V., 2003, "Composites Based on Metallic Foams: Phenomenology, Production, Properties and

Principles”, International Conference Advanced Metallic Materials, Smolenice, Slovakia, 281-286

Surace, R., Filippis, L.A.C.D., Ludovico, A.D., Boghetich, G., 2007, “Experimental Analysis of The Effect of Control Factors on Aluminium Foam Produced by Powder Metallurgy”, Proc. Estonian Acad. Science Engineering, 13, 56–167

Şekercioğlu, T., Gülsöz, A., Kovan, V., Özenç, M., 2008, “Dinamik ve Darbeli Yükler Altında Yapıştırma Bağlantılarının Mukavemetini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi”, Denizli, 11-24

TS EN ISO 10365, 2001, “Yapıştırıcılar – Başlıca Kusurların Gösterilmesi”

Yu, C.J., Eifert, H., Banhart, J., Baumeister, J., 1998, “Metal Foams”, Advanced Materials&Processes, 45-47

<http://www.frostytech.com>

<http://aluminium.matter.org.uk>

<http://www.omnexus4adhesives.com>

<http://dod.nic.in>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi:	26.11.1984
Doğum yeri:	İstanbul
İlkokul:	Tuzla Merkez İlkokulu
Ortaokul:	Tuzla Atatürk İlköğretim Okulu
Lise:	İstanbul Maltepe Anadolu Lisesi
Lisans:	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans:	Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurumlar

2006 – 2007	Kalava İnşaat Taahhüt Mühendislik San. Tic. Ltd. Şti. Proje Sorumlusu
2007 – Devam ediyor	TMMOB Makina Mühendisleri Odası Edirne Şubesi Teknik Görevli