



The effects on 42CrMo4 steel matrix white iron reinforcement composite properties of production conditions

Hasan Hasircı 

Department of Metallurgical and Materials Engineering, Gazi University, Ankara, 06500, Turkey

Highlights:

- Determination of metal / metal composite production conditions
- Control of change of layer thickness of metal / metal composite interface
- Development of metal / metal composite properties with normalization heat treatment

Keywords:

- Metal-metal composite
- Casting
- Normalization
- Mechanical Properties

Article Info:

Research Article
Received: 24.12.2018
Accepted: 27.12.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.501701

Graphical/Tabular Abstract

Composite materials are one of the most widely used materials for different purposes. For these reasons, it is necessary to produce composites with different expectations. These materials are produced by some methods such as liquid mixing and powder metallurgy and can be made to meet higher expectations by heat treatment when necessary. The production of metal-based composites has increased significantly in recent years. Metal-based composites have higher mechanical properties compared to the other materials in which they are used, thus increasing the interest in these composites. In particular; White Iron is the most preferred and most common reinforcement material, because it is particularly hard and abrasion resistant compared to other types of casting. Heat treatment; a series of heating and cooling processes applied to a material in a given temperature-time program in order to change the properties and / or internal structure of a material. Normalization heat treatment usually improves the mechanical properties of composite materials. In this paper, production of Metal-Metal Composite (both matrix and reinforcing metal) material, which is a kind of MMC materials by casting method, improvement of properties by normalization heat treatment, mechanical and structural examination in laboratory, realized (Figure A).

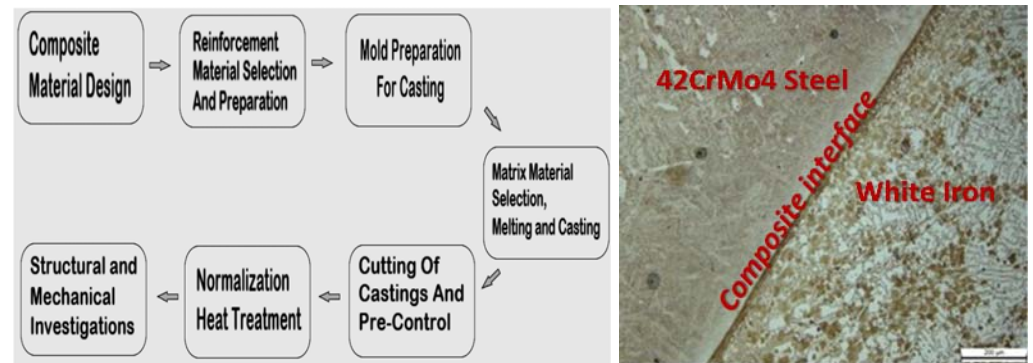


Figure A. Metal-metal composite production stages (a) matrix / reinforcement interface image (b)

Correspondence:

Author: Hasan Hasircı
e-mail: hasirci@gazi.edu.tr
phone: +90 312 202 8810

Purpose: The purpose of this study is to determine the effects of casting and normalization conditions on microstructure and mechanical properties in metal / metal composite production by using high Cr White Iron reinforcement material and steel matrix material.

Theory and Methods:

Casting method was used in composite production. Cast samples were subjected to normalization for 4 different times. Metallographic and mechanical tests were applied to the samples.

Results:

As a result of the experiments, it has been determined that metal / metal composite can be produced successfully by casting process and the composite properties are increased by normalization.

Conclusion:

When the normalization heat treatment is applied after the casting process, the production of advanced metal-metal composite properties can be performed successfully.



Üretim koşullarının 42CrMo4 Çelik matrisli beyaz dökme demir takviyeli kompozitin özelliklerine etkileri

Hasan Hasırcı*^{ID}

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Teknikokullar, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Metal / metal kompozit üretim koşullarının belirlenmesi
- Metal / metal kompozit arayüzün katman kalınlığı değişiminin kontrolü
- Normalizasyon ısı işlemiyle metal / metal kompozit özelliklerinin geliştirilmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 24.12.2018
Kabul: 27.12.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.501701

Anahtar Kelimeler:

Metal-metal kompozit,
döküm,
normalizasyon,
mekanik özellikler

ÖZET

Kompozit ürünler gün geçtikçe önemi artan malzemelerdendir. Metal-metal kompozitler ise son yıllarda önemi hızla artan kompozitlerdendir. Kompozit malzemeler çok çeşitli amaçlarla ve farklı teknikler kullanılarak üretilmektedir. Bu çalışmada metal-metal kompozit üretiminde döküm tekniğinin kullanımı, ısı işlem uygulanması ve kompozitin özelliklerine etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla katı haldeki Beyaz Dökme Demir ile sıvı haldeki 4140 (42CrMo4) Çeliği kullanılarak kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Birleştirilen malzemeler daha sonra ara yüzey bağının artırılması ve özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla 1, 2, 3 ve 4 saat normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu çalışma sonunda; döküm tekniği kullanılarak metal-metal kompozit üretiminin başarıyla yapılabildiği, normalizasyon ile ara yüzey bağının daha da artırılabilirdiği tespit edilmiştir. Bu işlemlerin sonucunda; döküm durumuna göre kompozitin mekanik özellikleri normalizasyonla 3 saate kadar artmış, 4 saate uzadığında ise tane kabalaşması nedeniyle azalmıştır.

The effects On 42CrMo4 steel matrix white iron reinforcement composite properties of production conditions

H I G H L I G H T S

- Determination of metal / metal composite production conditions
- Control of change of layer thickness of metal / metal composite interface
- Development of metal / metal composite properties with normalization heat treatment

Article Info

Research Article
Received: 24.12.2018
Accepted: 27.12.2019

DOI:

10.17341/gazimmfd.501701

Keywords:

Metal-metal composite,
casting,
normalization,
mechanical properties

ABSTRACT

Composite products are increasingly important materials. Metal-metal composites are composites that have increased rapidly in recent years. Composite materials are produced for a variety of purposes and using different techniques. In this study, the use of casting technique in metal-metal composite production, the application of heat treatment and the effects on composite properties were evaluated. For this purpose, composite production was performed by using White Cast Iron in solid state and 4140 (42CrMo4) Steel in liquid state. The combined materials were then subjected to 1, 2, 3 and 4 hours of normalization in order to increase the interfacial bonding and improve its properties. At the end of this study; it has been found that the interfacial bonding can be further increased by normalization, in which metal-metal composite production can be successfully performed using the casting technique. As a result of these processes; according to the casting situation, the mechanical properties of the composite increased up to 3 hours with normalization and decreased to 4 hours due to grain roughening.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kompozit malzemeler, farklı amaçlarla çok farklı kullanım alanlarına sahip malzemelerin başında gelmektedir. Bu nedenlerle farklı beklentilere sahip kompozitlerin üretimi gerekmektedir. Bu malzemeler sıvı karıştırma ve toz metalurjisi gibi bazı yöntemler ile üretilmekte ve gerektiğinde ısıtma işlemiyle daha üst beklentileri karşılayabilecek hale getirilebilmektedirler [1-4]. Günümüzün modern teknolojisi; uzay, uçak ve otomotiv endüstrisi gibi ileri teknoloji alanında kullanılmak üzere hafif, üstün ve kendine has özelliklere sahip yeni malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Uzay, havacılık ve otomotiv sektörlerinde, mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranları gibi malzeme özelliklerinin önemli olduğu ağırlığa duyarlı alanlarda kullanılan malzemelerin mukavemet limitlerinin zorlanması, belirli kurallar içinde farklı malzemelerin karıştırılarak özelliklerinin geliştirilmesini önemli kılmış ve bu alanda da önemli gelişmelere yol açmıştır. Sahip oldukları özelliklere rağmen, kompozit malzemelerin üretim maliyetlerinin alışılmadıkla kıyasla daha yüksek olmasından dolayı kullanımları endüstriyel olarak istenen seviyelere ulaşamamıştır. Ancak son yıllardaki gelişmelere bakarak bu malzemelerin kullanımlarının yaygınlaştığı ve bu yaygınlaşmanın giderek artacağını söylemek mümkündür [1]. Kompozit malzemeler, ana malzeme alışımına göre; metal esaslı, polimer esaslı ve seramik esaslı kompozitler olarak gruplandırılmaktadır. Polimer esaslı kompozitler; kısmen düşük sıcaklıkta (5-50°C) kullanılabilir. Üretim maliyetleri düşüktür. Seramik esaslı kompozitler; yüksek sıcaklıktaki üretimleri ve gevrek bir yapı teşkil etmeleri sebebiyle metal esaslı kompozitler daha ön plana çıkmaktadır. Metal esaslı kompozitlerin üretimleri son yıllarda önemli bir artış göstermektedir. Metal esaslı kompozitlerin gelişmesindeki önemli neden; teknolojinin sürekli yenilik istemesi ve hayati ihtiyaçların ön plana çıkmasıdır [2, 3]. Kompozit malzemeler içerisinde önemli bir yere sahip olan MMK'ler (Metal Matrisli Kompozit) üzerine son yıllarda yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Metal esaslı kompozitlerin yerlerine kullanıldıkları diğer malzemelere göre yüksek mekanik özelliklere sahip olduğundan bu kompozitlere duyulan ilgiyi artırmıştır [2]. Yüksek mekanik özelliklere sahip sürekli fiberlerle takviye edilmiş alüminyum esaslı kompozitler üzerinde çok sayıda araştırma yapılmaya devam edilmektedir. Elde edilen kompozitler dikkat çeken özellikler göstermelerine rağmen üretimlerinin zor, takviye elemanlarının pahalı ve çok masraflı olmasından dolayı ticari uygulamalarda kendine yer bulamamaktadır. Bu sınırlamalardan dolayı MMK'ların kullanımları özel alanlarla sınırlandırılmıştır [3]. Parçacık takviyeli MMK'ların özelliklerini pek çok faktör etkilemektedir. Bunlar; ana malzemenin bileşimi, takviye malzemesi, takviye boyutu, şekli ve hacimsel oranı, takviye dağılımı gibi faktörlerdir. Kompozit malzeme üretimi sırasında bunlar çok iyi kontrol edilmelidir [4]. Parçacık takviyeli MMK'ların üretimi elyaf takviyeli kompozitlere göre daha kolay ve ucuzdur. Parçacık takviyeli MMK'ların

en ucuz ve kolay üretim yolu da döküm tekniğidir, yaygın olarak sıvı karıştırma metodu kullanılmaktadır [5-7]. Sıvı hal üretim yönteminde karşılaşılan ısıtma probleminden dolayı takviye elemanlarının arzu edilen şekilde karıştırılma güçlüğünden dolayı alternatif üretim yöntemi olarak katı hal üretim yöntemi tercih edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan toz metalurjisi yönteminde ise farklı karakterlerdeki toz ve takviye elemanlarının birbirine sinter olmalarındaki yetersizlikler [5, 8, 9]. Metal Matrisli Kompozit (MMK) üzerine yapılan araştırmalar son 20 yıldır çok fazla ve etkileyici boyuttadır. MMK'lar üzerinde yapılan çalışmalar, özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılacak dayanımı yüksek, rijit malzemelerin geliştirilmesi yönünde yoğunlaşmaktadır. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak partikül, tabaka ve fiberler yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek performansı sayesinde fiberle takviye edilmiş malzemeler, oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda takviye edilmemiş yapılara göre çok iyi yüksek performans sergilemektedirler [10]. Ne var ki polimer matrisli kompozitlerin araştırma sonuçları kolaylıkla ticari uygulamalara taşınırken; metal matrisli kompozitler, bu konuda biraz yavaş kalmıştır. Bunun nedeni, metal matrisli kompozitlerin üretim zorluğu ve özellikle ara faz mukavemetinin zayıflığıdır [11]. Bununla birlikte, MMK'ler üretim güçlüğü, işleme güçlüğü, yüksek maliyet ve diğer malzemeler gibi geriye dönüşümünün (recycle) istenilen düzeyde olamaması gibi bir takım dezavantajlara da sahiptir [10, 11]. Dökme demirler, dünya da ve ülkemizde en yaygın üretilen ve kullanılan malzeme grubundandır. Özellikle, Beyaz Dökme Demir (BDD) diğer döküm türlerine göre özellikle sert ve aşınmaya dirençli olması sebebiyle, çok tercih edilen ve en yaygın malzemedir. Özellikle yüksek Cr'lu BDD malzemeler; çimento ve maden sektörü için aşınmaya dirençli silindir, hadde, öğütme topu, darbeli kırıcı ve taşıyıcı parçaların üretiminde kullanılmaktadır [2]. Isıl işlem; bir malzemenin özelliklerini ve/veya iç yapısını değiştirmek amacıyla, o malzemeye belli bir sıcaklık-zaman programı dahilinde uygulanan bir ısıtma ve soğutma işlemleri dizisidir. Isıl işlem, üç ana safhadan oluşur. Bunlar ısıtma, ısıtılan sıcaklıkta bekletme ve soğutma safhalarıdır. Bütün ısıl işlem yöntemlerinde bu üç ana safha geçerlidir. Fakat uygulanan ısıl işlem türüne göre, ısıl işlem sıcaklığı, bekletme süresi, ısıtma ve tutma hızı gibi parametreler değiştirilir. Normalizasyon ısıl işlemi de genellikle 800-950 °C sıcaklıkta 30-120 dakika bekletmenin ardından durgun havada oda sıcaklığına kadar soğutma işlemidir. Bu işlem sonunda malzemelerin mekanik özellikleri iyileştirilmektedir [12-14].

Bu çalışmanın amacı; MMK malzemelerin bir türü olan Metal-Metal Kompozit (hem matris hem de takviye metalden) malzemenin döküm yöntemiyle üretimi, normalizasyon ısıl işlemi ile özelliklerinin geliştirilmesi, laboratuvarında mekanik ve yapısal olarak incelenmesi gerçekleştirilecektir. Bu kompozit piyasada kullanılan aşınmaya dirençli plakaların ömürlerinin uzatılması ve performanslarının artırılması hedeflenmektedir. Bu araştırmada üreteceğimiz malzemenin matrisi 42CrMo4

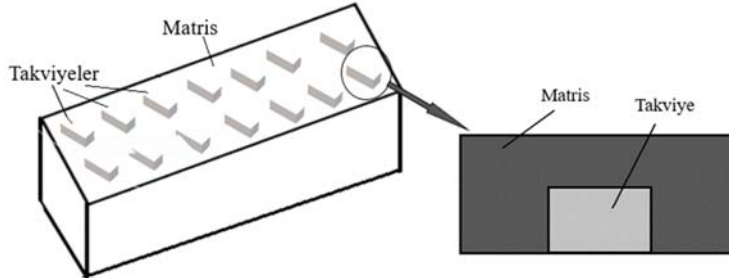
kalite çelik olup içerisinde parçalar halinde Beyaz Dökme Demir (BDD) takviyeler bulunacaktır. Çelik matris darbe dayanımı ve süneklik sağlarken, aşınmaya karşı ise BDD direnç sağlayacaktır. Çalışmanın en önemli tarafı kalıp boşluğuna yerleştirilen katı takviye üzerine sıvı matris malzemesi dökülerek en uygun kompozit malzeme üretim parametrelerinin belirlenmesidir. Aynı zamanda bu parçalara uygulanan ısıl işlemler bu çalışmada kullanılarak ısıl işlemin döküme göre avantaj ve dezavantajları da test edilecektir.

3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada Metal-Metal Kompozit malzemenin döküm yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu kompozit; matris olarak 42CrMo4 Islah Çeliği (4140), takviye ise Beyaz Dökme Demir (BDD) malzemeden üretilmiştir. Malzeme seçiminde 4140 çelik matrisin darbe dayanımı ve süneklik sağlarken, aşınmaya karşı ise BDD direnç sağlayacaktır. Üretimde takviye katı, matris ise sıvı halde malzeme kullanılmıştır. MMK malzemesinden üretilmesi hedeflenen maden kırma plakası şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada numune olarak kullanılmak üzere Şekil 1'de şematik gösterimi verilen 165x40x250 mm boyutlarındaki plaka şeklindeki kompozit parça üretilmiştir. Takviye malzemenin ölçüleri 35x35x250 mm'dir. Döküm işlemleri reçineli kum kalıp kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Hazırlanan kalıpların yüzeyleri temiz yüzey ve

düşük kalıp reaksiyonu için Zr esaslı alkol içerikli boya ile kaplanmış ve kurutulmuştur.

Döküm işleminden sonra CNC freze tezgahında MMK numunesinin tüm yüzeyleri temizlenmiştir. Daha sonra ATAS marka su soğutmalı abrasif diskli kesme cihazı kullanılarak döküm numune plakasından enine olacak şekilde 5 mm kalınlığında parçalar şeklinde numuneler alınmıştır (Şekil 3). Alınan numuneler kullanılarak yapısal ve mekanik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Piyasada kullanılan aşınma plakaları kullanılmadan önce gerilim giderme bir miktar sertleştirme amacıyla piyasadaki uygulamalara benzetilerek atmosfer kontrolsüz kamara tip fırında normalizasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Bu nedenle numuneler test edilmeden önce bazılarında 900 C'de 1, 2, 3 ve 4 saat süreyle normalizasyon işlemi uygulanmıştır (Tablo 1). Her bir şart için 3 adet numune üretilmiştir. Yapısal incelemeler için matris ve takviyeyi birlikte kapsayan numuneler hazırlanmıştır. Numuneler standart metalografik hazırlık işlemlerinden (zımparalama ve parlatma) geçirildikten sonra %2 nital ile yüzeyler dağlanmışır. Bu yüzeyler üzerinde mikro yapısal ve matris/takviye ara yüzey analizleri Leica marka mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler sertlik, çekme ve 3 nokta eğme testlerine tabi tutulmuştur (Şekil 4). Çekme testleri Instron marka cihazda 0,5 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. 3 nokta eğme testleri de Instron marka cihazda 0,5 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Sertlik testleri



Şekil 1. Maden kırma plakası ve kompozit numunenin şematik gösterimi
(Mine crushing plate and schematic representation of composite sample)

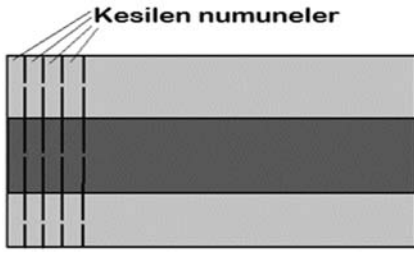


Şekil 2. Döküm işleminde kullanılan kalıpların boyanması, kurutulması ve döküm sonrası üretilen kompozit numunenin çıkarılması (Dyeing of the molds used in casting process, drying and removal of the composite sample produced after casting)

Emcotest cihazında HV₃₀ cinsinden Şekil 4'te şematik olarak gösterilen (A, B, C ve D) noktalardan alınan ölçümler yapılmıştır. Tüm test sonuçları ortalama olarak sonuçlar kısmında verilmiştir.

Tablo 1. Numunelere uygulanan işlemler
(Processes applied to samples)

Numune	Uygulanan İşlem
N1	42CrMo4 Çelik - Dökülmüş halde
N2	B.D.D. - Dökülmüş halde
N3	Dökülmüş halde kompozit
N4	1 saat normalizasyon
N5	2 saat normalizasyon
N6	3 saat normalizasyon
N7	4 saat normalizasyon



Şekil 3. Döküm plakadan numune alımının şematik gösterimi
(Schematic representation of sampling from casting plate)

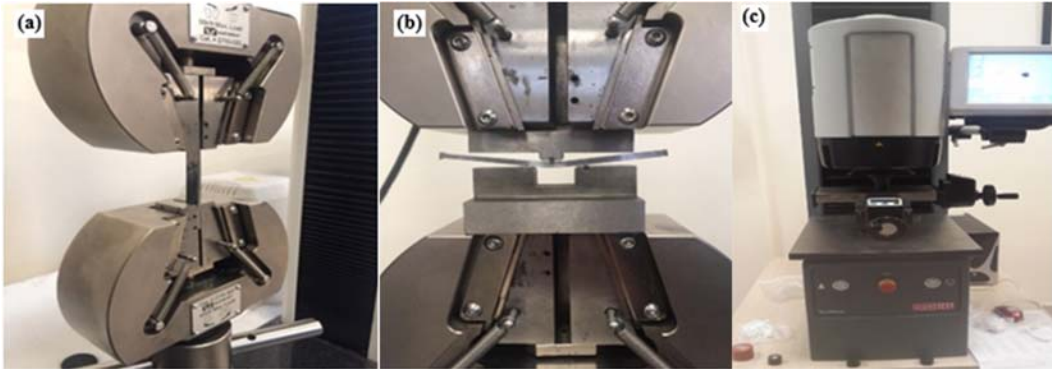
4. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF EXPERIMENTAL RESULTS)

4.1. Üretim Şartları ve Yapısal Özelliklerin Değerlendirilme (Evaluation of Production Conditions and Structural Properties)

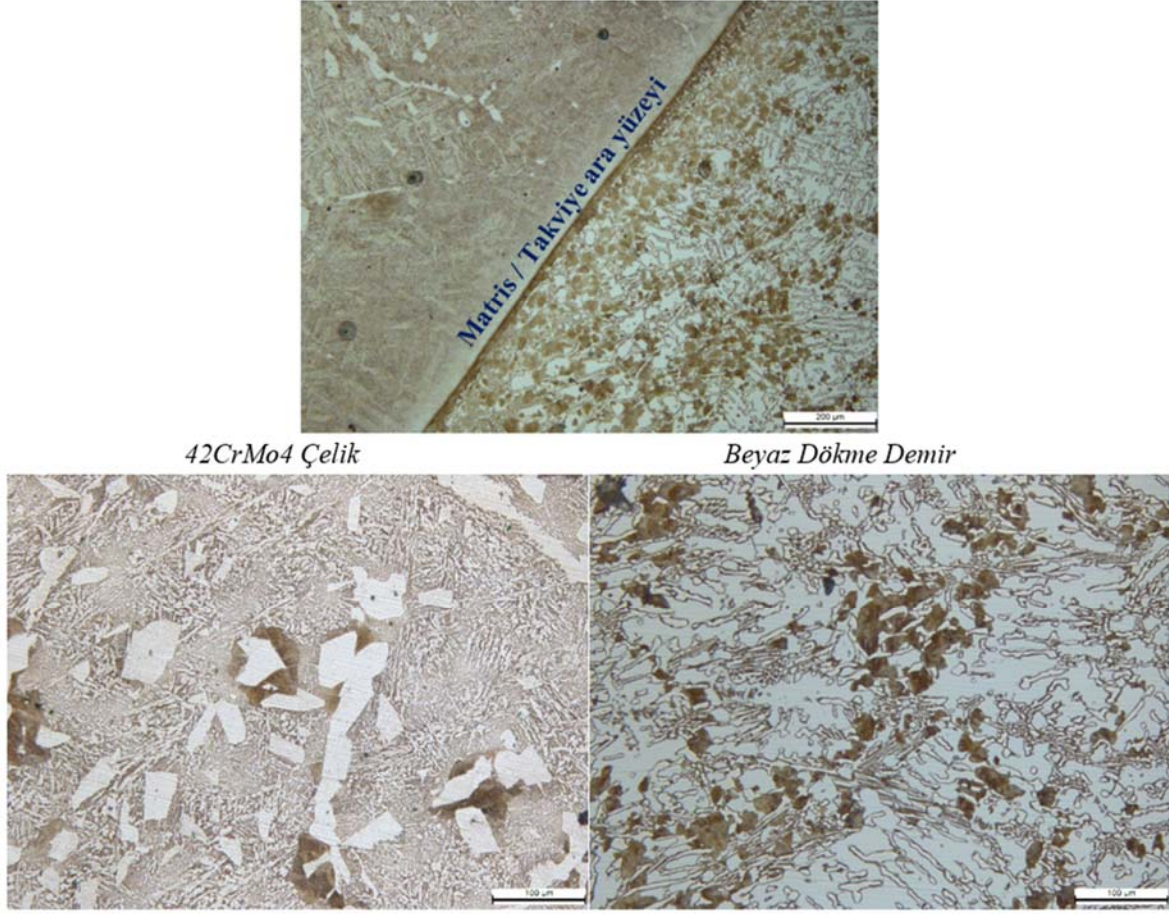
Üretilen numunelerden elde edilen matris/takviye yapısal optik mikroskop görüntüleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde döküm durumu (Şekil 5) ve gerilim giderme sonrasında (Şekil 6a) BDD takviye ve 42CrMo4 çelik matris yapıları açıkça görülmektedir. Her iki malzemenin yapısının döküm şartlarına uygun şekilde oluştuğu görülmektedir. Buna göre BDD'de metal karbürler, sementitler, ferritik yapılar ve çelikte ise küreselimsi sementitler ve perlitik yapılar bulunmaktadır. BDD/çelik

çiftinin kullanıldığı ve giydirme (çekirdek üzerini kaplayan) döküm bimaltal parçasının üretimi konusunda yapılan bir çalışmada [3] da döküm şartlarında meydana gelen benzer mikroyapısal oluşumlar tespit edilmiştir. Diğer yandan matris/takviye ara yüzeyi incelendiğinde çizgi halinde çoğunlukla aralıksız, bütünleşmiş, ancak özellikle numunenin tabanına yakın kısımlarda yüzeyden içeriye doğru 1-2 mm derinlikte tam olarak birleşmemiş (kaynaşmamış) kısımların olduğu görülmektedir. Ancak, bu tür parçalar dökümden sonra talaşlı imalata (torna, freze vb.) tabi tutulmaktadır. Bu işlem sırasında döküm şartları ve yüzey kalitesine bağlı olarak yüzeyden 1-5 mm talaş kaldırılmaktadır. Bu nedenle bu birleşmemiş kısımların talaşlı imalat sırasında yüzeyden kaldırılıp yok edilmesi ve tam bir birleşme sağlanmış matris/takviye yüzeyinin elde edilmektir. Özetle bu durum bir sorun oluşturmayacaktır. Numunelerimiz de talaşlı imalata tabi tutulduğundan bu görüntü kalmamıştır. Isıl işlem malzeme yapısında difüzyon meydana getiren bir işlemdir. Normalizasyon işleminde de çözündürme sırasında sıcaklık ve süreye bağlı olarak difüzyon meydana gelmektedir. Bu çalışmada sıcaklık sabit olup, süre artırılarak difüzyona dolayısıyla ara yüzeye etkileri gözlenmiştir. Farklı işlem ve kısmen döküm yöntemi ile bimaltal üretiminin araştırıldığı bazı çalışmalar [1-7, 9-11] sıcaklık ve sürenin öneminden bahsetmektedir. İşlem sıcaklığı ve sürenin artması ile bimetal oluşturulan malzemeler arasındaki arayüzey difüzyondaki artışa bağlı olarak güçlenmektedir. Bunlar arasında bir kısmında [3-6, 10, 11] ise deformasyon yapılarak bu arayüzeyin geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmalar bimetal malzemelerde en önemli konuların başında arayüzey sürekliliği, genişliği ve bağ kuvveti olduğunu göstermektedir.

Şekil 6'da verilen ısıl işlem uygulanmış numunelerin yapıları incelendiğinde; döküm işlemi sonucunda (Şekil 6a) her iki malzemenin yapısında da olağan olan yapıları meydana gelmiştir. 4140 çelik malzeme ferrit+perlitik, BDD ise sementit+perlit+metal karbür (MC)'den meydana geldiği görülmektedir. Aynı zamanda difüzyon sınırlı olduğundan ara yüzeyde de bir değişim söz konusu değildir. Matris/takviye ara yüzeyi çok dar olup, tespit edilebilen ara yüzey genişliği ortalama 1,7 µm kadardır. Yapılan çalışmalarda [1-3, 9-11] işlem sıcaklığı ve süresinin



Şekil 4. Mekanik testlerin uygulaması a) çekme b) 3 nokta eğme ve c) sertlik testi
(Application of mechanical tests a) tensile b) 3 point bending and c) hardness test)

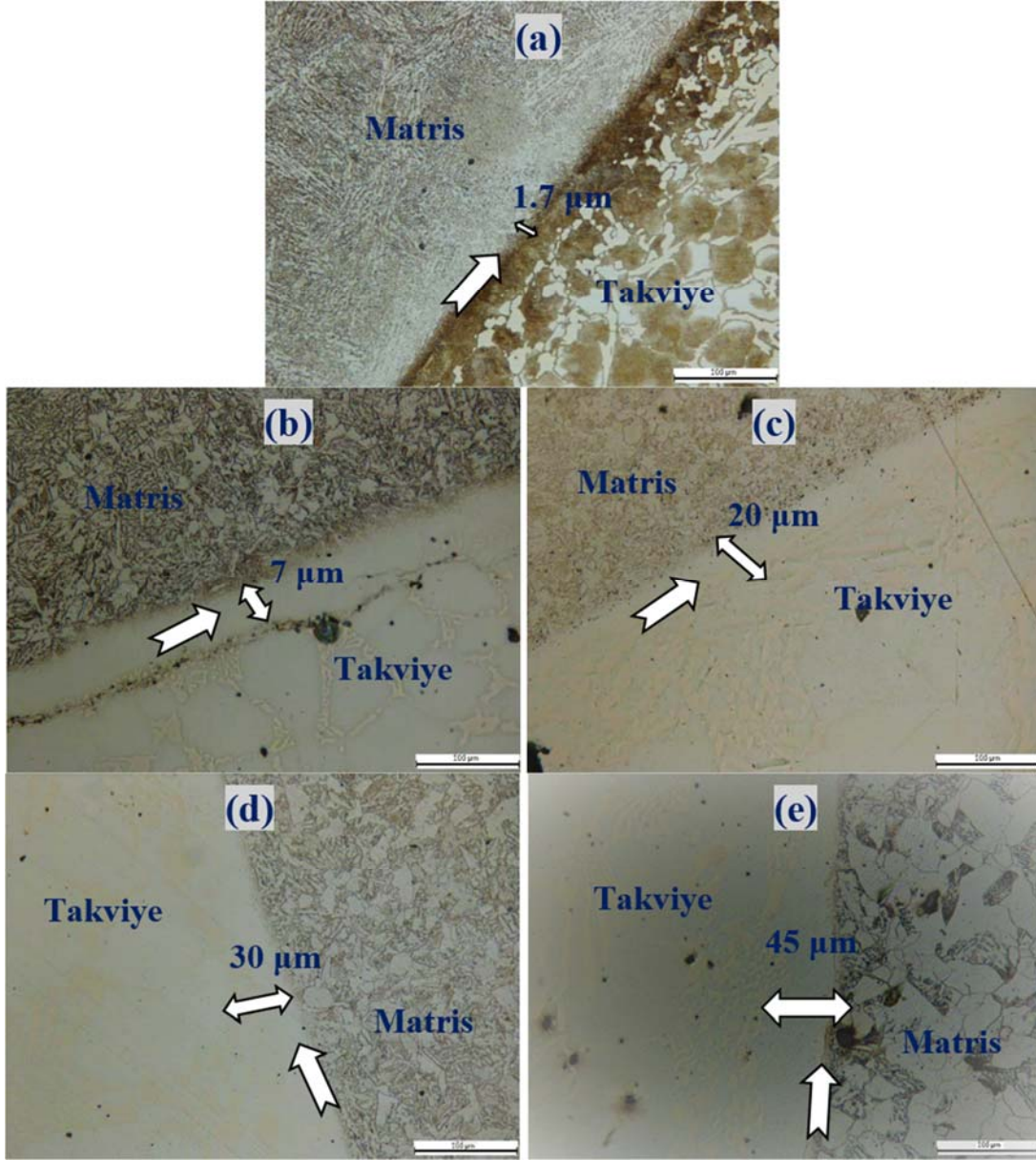


Şekil 5. Optik mikroskop ile matris, takviye ve arayüz görüntüleri
(Optical microscope with matrix, reinforcement and interface images)

difüzyon işlem başarısına etkisi vurgulanmaktadır. İşlem sıcaklığının artması temas halindeki iki yüzey veya malzeme arasında kimyasal bakımdan geçiş için gerekli kinetiğinin sağlaması ve geçiş için yeterli zamanın olması bakımından sürenin önemi ifade edilmektedir.

Farklı amaçlarla yapılmış olsa da özellikle ısı işlem uygulaması yapılan çalışmalar [12-14] sıcaklık ve süre artışının difüzyon miktar ve difüzyon oluşan bölgenin genişlediği konusunda fikirler vermektedir. İki farklı malzemenin temas ettirildiği ortamda karşılıklı kimyasal taşınma ve ara yüzey bağı oluşabilmesi için mutlaka difüzyon olması gerekmektedir. Difüzyon olması için gerekli kinetik iki ana unsur sıcaklık ve süredir. Sıcaklıktaki artış difüzyon için gerekli serbest enerjiyi artırırken, sürenin artması ise zamana bağımlı bir durum olan difüzyonun olabilirliği ve difüzyon mesafesini artırmaktadır. Bu çalışmada sıcaklık sabit tutulmuş, süre ise artırılmıştır. Şekil 6b-e'deki numuneler incelendiğinde ise normalizasyon süresinin artmasıyla matris/takviye ara yüzeyinin difüzyona bağlı olarak genişlediği, 1 saat ısı işlem uygulandığında ortalama 7 µm olan ara yüzey genişliğinin 4 saat sürenin sonunda ortalama 45 µm'ye kadar genişlediği tespit edilmiştir. Başlangıçta çok daha az olan difüzyon nedeniyle düz bir hat şeklinde olan ara yüzey yapısının, normalizasyon

süresindeki artışa bağlı olarak her iki malzemenin ortak bileşim ve yapılarını içeren geçiş bölgesi haline dönüştüğü görülmüştür. Bu genişleme, bileşim ve yapılar bakımından homojenleşmeyi beraberinde getirdiğinden daha sağlam ve olabildiğince homojen özelliklerde ara yüzey oluşmasına neden olmaktadır. Bu geniş ve olabildiğince homojen ara yüzey ise üretilen kompozit malzemenin mekanik etkenlere karşı daha iyi bir performans sergilemesine yol açmaktadır. Bu ara yüzey oluşumu sonucunda çalışma ortamında kompozit malzemeye uygulanan mekanik etkiler nedeniyle; ara yüzeyden kolayca çatlak oluşturup, hızlı ve kolay bir şekilde deforme olması, dolayısıyla kopması önlenmiş veya zorlaştırılmış olmaktadır. Bunun sonucunda çok daha dayanıklı ve uzun ömürlü kompozit parça üretilebilmektedir. Diğer yandan; normalizasyon ısı işlemi sonucunda, hem matris hem de takviye malzemesinin mikro yapısında da değişimler meydana gelmektedir. Döküm ve gerilim giderme işlemi sonucunda BDD ve 42CrMo4 çelik malzemelerinin olağan mikro yapılarında değişimler ve dönüşümler meydana gelmektedir. Isıl işlem konusunda [12-19] ve sıcak işlem konusunda [1, 3, 8, 10, 11] yapılan çalışmalar da işlem sürecinde yapısal değişimlerin meydana geldiğini göstermektedir. Önemli olan bu değişimlerin istenilen yönde ve mevcuttan daha iyi olması için işlem şartlarının düzenlenmesidir.



Şekil 6. Dökülmüş ve ısıtılmış numunelerin mikro yapısal görüntüleri a) dökülmüş halde b) 1 saat c) 2 saat d) 3 saat ve e) 4 saat normalize edilmiş

(Microstructural images of as-cast and heat treated samples a) As-cast b) 1 hour c) 2 hours d) 3 hours and e) 4 hours normalized)

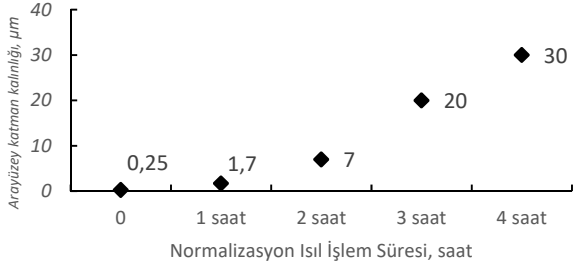
Şekil 7’de uygulanan işlemlere bağlı olarak matris/takviye ara yüzey boyutunun değişimi verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; hem normalizasyon uygulanması hem de normalizasyon süresinin artması ara yüzey katman kalınlığının artmasına yol açtığı görülmektedir. Normalizasyon süresinin artması ara yüzey katman kalınlığını artırırken, uzun süre ısıtılmış uygulanması yapısal kabalaşmalara yol açmaktadır. Normalizasyon işlemi malzemeye bağlı olarak 850-1050 °C gibi yüksek sıcaklıkta çözündürme uygulaması yapılan bir ısıtılmış türüdür. Uzun ısıtılmış süresi uygulandığında bu yüksek sıcaklıklarda malzeme (metal matris ve takviye) yapısında difüzyonun kolay olmasına bağlı olarak ara yüzey katman kalınlığı kolayca artarken (Şekil 6 ve Şekil 7), aynı zamanda mikro ve

makro yapıda kabalaşmalara yol açmaktadır (Şekil 6b-e). Bu kabalaşmaların mekanik ve özellikle bu çalışmadaki hedef parça için aşınma özelliklerine etkileri de değerlendirilmek zorundadır. Yapılan bazı çalışmalar [12-14] yapısal değişim ve özellikle kabalaşma neticesinde özelliklerin olumsuz yönde etkilendiklerini göstermiştir.

Yapısal incelemeler yapılırken kabalaşmanın yanında mekanik ve aşınma özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerden birisi olan faz tür ve dağılımlarının da incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapılan XRD ve SEM-EDS analiz sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Bu analiz sonuçları; 42CrMo4 çelik matris malzeme yapısında ferrit, kalıntı östenit, sementit ve metal karbür (MC) fazlarının

bulduğunu, BDD takviye yapısının ise ferrit, dönüşmüş ledeburit ve alaşım karbür fazlarından meydana geldiğini göstermektedir. Fakat sürenin artmasına bağlı olarak hem matriste hem de takviye malzemede perlit oluşumlarının da meydana geldiği görülmektedir. Benzer durumların özellikle ısıtma işlem çalışmalarında [12-14] da meydana geldiği görülmektedir. Çünkü bu çalışmada da benzer şekilde bir tür ısıtma işlem yapılmıştır.

Bu yapısal değişimler neticesinde özelliklerde de değişim olması beklenmektedir. Ara yüzeye bakıldığında ise matris ve takviye bileşiminin her ikisinin de yansıdığı, benzer yapıların meydana geldiği görülmektedir. Bu nedenle çelik matris tarafında bir miktar sert faz olan sementit ve çok küçük boyutlu alaşım karbürlerin miktarında artış meydana gelmiştir.



Şekil 7. Normalizasyon süresine bağlı olarak matris/takviye ara yüzey katman kalınlığının değişimi
(Variation of matrix / reinforcing interface layer thickness depending on normalization time)

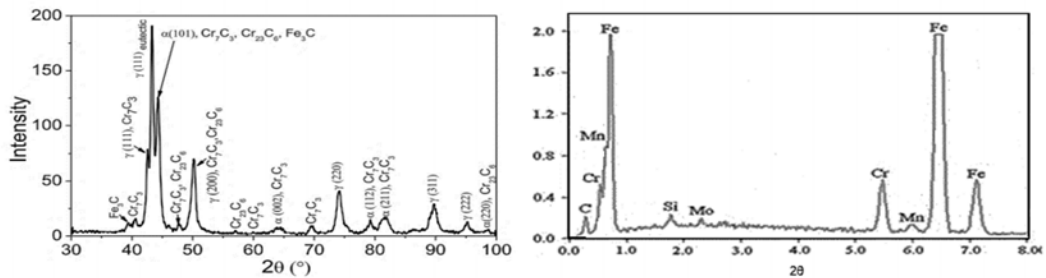
4.1. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilme (Evolution of Mechanical Properties)

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemelerden elde edilen mekanik özelliklerin tamamı özet halinde Tablo 2’de verilmiştir. Isıl işlem uygulamasının genel olarak mekanik özellikleri iyileştirdiği, ancak 3 saatten fazla normalizasyonun olumsuz etkilere neden olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada uygulanan işlemlerin etkilerinin değerlendirilebilmesi için sertlikteki değişimler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 9’da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, genel olarak normalizasyon uygulanması

neticesinde sertliğin arttığı görülmektedir. Ancak, matris, takviye ve ara yüzey için ayrı ayrı değerlendirme yapmak gerektiği görülmektedir. Matrise bakıldığında normalizasyon uygulaması sertliği genel olarak (\cong %15) artırmıştır. Çelik matrisin takviyeye uzak olan (Komp. Çelik İç) kısımlarında sertlik değişimi sınırlı kalırken, bu değişimin takviyeye yakın kısımlarda (Komp. Çelik Dış) daha fazla olduğu görülmektedir. Bu artışın iki nedeni bulunmaktadır. Birincisi normalizasyon ısıtma işlemi malzemelerin sertliğinin bir miktar artırması, ikincisi ise BDD kısmından çelik kısmına doğru difüze olan elementlerin etkisiyle sertliği artıran karbür içerikli fazların meydana gelmesidir. Her iki oluşum da malzeme davranışına tam uyum göstermektedir. Ancak sürenin artması (4 saat) ile yapısal kabalaşma meydana gelmiş ve buna bağlı olarak da sertliğin bir miktar azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. İşlem sıcaklığı ve süresi arttıkça yapısal kabalaşmaların olması bilinen bir durumdur [12-14]. Bu yapısal değişimin özellikle sertliği ve dayanımı azalttığı, süneklik ve tokluğu ise artırdığı bilinmektedir. Mevcut çalışmada da ana malzemeler üzerinde benzer sonuçların meydana gelmesi yapılan işlemin doğruluğunu göstermektedir (Tablo 2, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 12). BDD takviyeden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, BDD malzemenin sertleştirilebilirliğinin çok daha yüksek olması nedeniyle sertlikte %85-90 aralığında bir artışın meydana geldiği tespit edilmiştir. BDD takviyenin iç ve dışı ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise; iç kısımda (Komp. D.D. iç) difüzyona bağlı olarak yeni ve küçük boyutlu sert karbür fazı oluşumlarına bağlı olarak daha fazla artış meydana gelirken, dış kısımda (Komp. D.D. Dış) yapısal kabalaşmaya ve bir miktar perlit oluşumu nedeniyle sertliğin daha az arttığı görülmektedir.

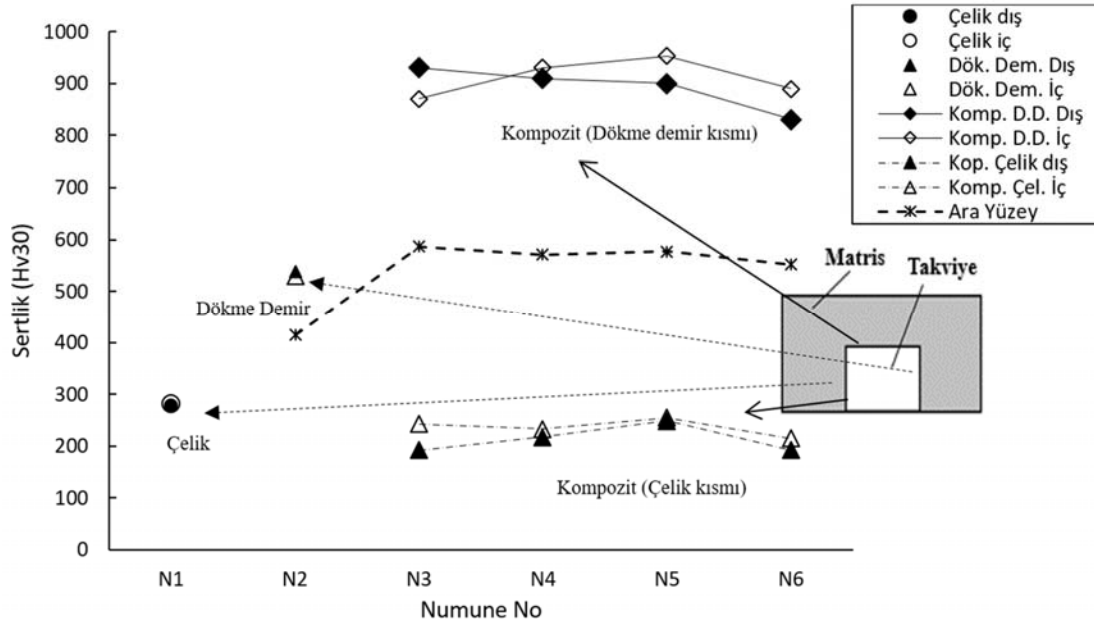
Bilindiği üzere ısıtma işlem süresinin artması yapısal değişimler meydana getirirken [12-14], iki malzeme arasında oluşan ara yüzeyin de büyümesini (kalınlık artışı) teşvik etmektedir [1, 3, 8, 10, 11]. Bu ara yüzeyde zaman artışına bağlı olarak difüzyon oluşmakta ve aynı süreçte yeni fazların da oluşması söz konusu olmaktadır. Mevcut çalışmada da ara yüzeyde karbür içeren fazların meydana gelmesi bu durumu desteklemektedir. Bu yapısal değişim, kabalaşma, karbür içeren yapı ve ara yüzey büyümesi bimetalin mekanik özelliklerinde iyileşmeleri meydana getiren ana unsurlar olmaktadır. Ara yüzeyin belli oranda büyümesi ve karbür fazlarının oluşması bağ kuvvetini artırırken, yapısal



Şekil 8. Üretim şartlarına bağlı olarak numune yapılarındaki faz ve element dağılımlarının değişimi
(Change of phase and element distributions in sample structures depending on production conditions)

Tablo 2. Döküm ve normalizasyon şartlarına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi
(Mechanical properties change depending on the conditions of casting and normalization)

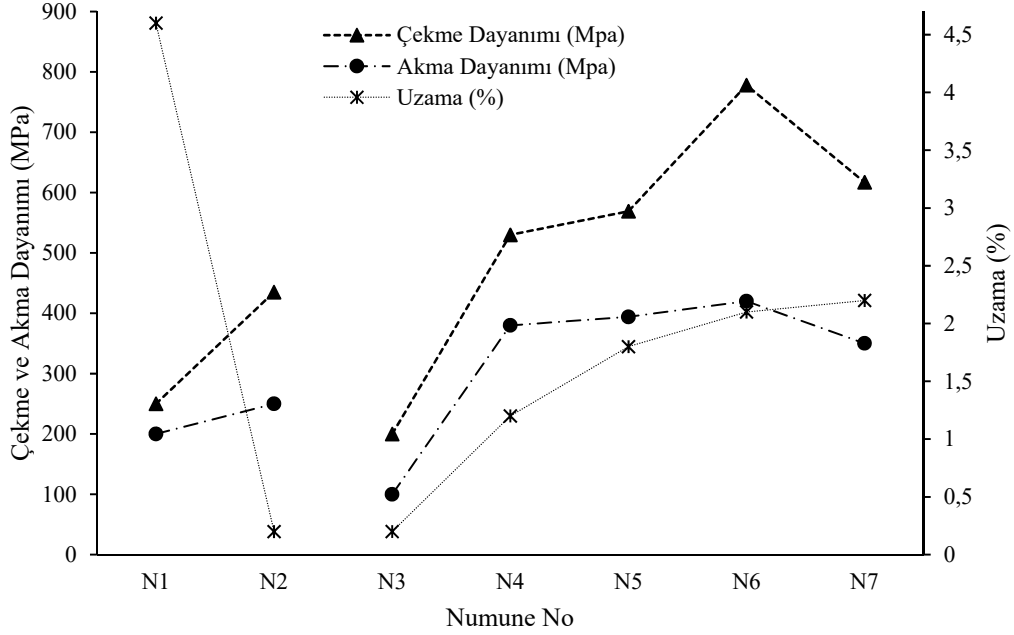
ÖZELLİK NUMUNE	ÇEKME DAYANIMI (MPA)	AKMA DAYANIMI (MPA)	UZAMA (%)	3 NOKTA EĞME DAYANIMI (MPA)	EĞİLME ORANI (%)	SERTLİK (HV) DIŞ KISIM-ARA YÜZEY	
N1. ÇELİK	1275	925	4,6	1251	2,1	277	281
N2. B.D.D. KOMPOZİT	575	356	0,2	250	0,25	529	538
ISIL İŞLEM						Çelik kısmı	B.D.D. kısmı
N3. 1 SAAT	334	250	1,2	456	2,61	Dış-İç 192-215	İç-Dış 890-831
N4. 2 SAAT	569	350	1,8	525	2,46	198-224	920-871
N5. 3 SAAT	617	394	2,1	620	2,35	218-233	931-900
N6. 4 SAAT	778	420	2,2	602	1,92	249-255	952-910

**Şekil 9.** Uygulanan işlemlere bağlı olarak sertliğin değişimi (Change of hardness depending on applied processes)

kabalaşma ise bir miktar süneklik artışı meydana getirmektedir. Ancak bu unsurların belirli limitlerden daha fazla olması özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışma sonuçları da bunları desteklemektedir. Dayanım ve sertlikte sürekli artış olurken, özellikle 3 saatten sonra süneklik, 3 nokta eğme dayanımı ve eğilme oranlarında azalma meydana gelmiştir.

Yapısal dönüşümler sertliği doğrudan etkileyen faktörlerdendir. Burada olduğu gibi BDD gibi yüksek sertliğe sahip malzemelerde uzun süre yapılan işlemler yapısal kabalaşmaya ve nispeten yavaş soğutma (normalizasyon işlemi havada soğutma) nedeniyle perlitik dönüşüme bağlı olarak ferrit oluşumu neticesinde sertlikte bir miktar azalma görülebilmektedir. Isıl işlem

süresinin uzaması benzer şekilde takviye malzemesinin de sertliğinde bir miktar azalmaya neden olmuştur. Son olarak ara yüzey incelendiğinde; normalizasyon uygulanması neticesinde sertlikte %37-43 aralığında bir artış meydana gelmiştir. Yukarıdaki matris ve takviye için yapılan değerlendirmelerin burada da geçerli olduğu, ısıl işlem uygulaması neticesinde difüzyona bağlı olarak sertliği yüksek olan nispeten küçük boyutlu karbür fazların etkisiyle ara yüzey sertliği artmış, fakat sürenin uzamasına bağlı olarak yapısal kabalaşma etkisiyle bir miktar (\cong %2,5) azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu sertlik sonuçları; hedef parçalara ticari uygulanmakta olan normalizasyon işleminin 4140 çelik/BDD kompozit malzemesine de ara yüzey bağının geliştirilmesi amacıyla uygulanması gerektiğini, ancak bu işlemin süresinin belirli bir sınırdan

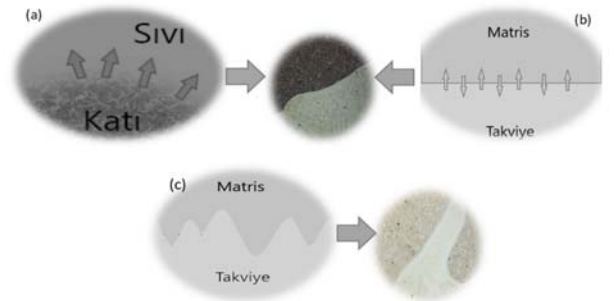


Şekil 10. Uygulanan işlemlere bağlı olarak; uzama, çekme ve akma dayanımının değişimi
(Depending on the applied processes; change of elongation, tensile and yield strength)

tutulması gerektiğini açıkça göstermektedir. Üretilen numunelerden elde edilen çekme ve akma dayanımları ile uzama özelliklerinin değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; döküm durumunda ara yüzeyde zayıf bağlanma neticesinde %0,2 olan uzamanın ısıtma işlemi uygulaması ile sürekli olarak %1000 oranında geliştirilebildiği tespit edilmiştir. Başlangıçta BDD kadar olan kompozitin uzama değerinin 42CrMo4 çeliğinin değerine ulaşmadığı görülmektedir. Ancak bu uzamadaki artışın BDD'den daha yüksek olması büyük bir gelişmeyi göstermesi bakımından son derece önemlidir. Çekme ve akma dayanımları beklendiği üzere; benzer eğilim göstermiş, ısıtma işlemi uygulaması neticesinde 3 saat normalizasyona kadar artmış ve kompozit malzeme daha fazla süre normalize edildiğinde tane kabalaşmasına bağlı olarak azalma eğilimi göstermiştir. Tane büyümesi Hall-Petch yasası gereğince oda sıcaklığında çekme özellikleri üzerine olumsuz etki yapmakta ve özellikleri azaltmaktadır. Bu kompozitlerde ara yüzey bağı 3 şekilde gerçekleşmektedir (Şekil 11). Birincisi takviye yüzeyinde kısmi ergime neticesinde katılaşmanın devam etmesi (epitaksiyel katılaşma) (Şekil 11a) ve ikincisi takviye/matris ara yüzeyinde difüzyon nedeniyle birleşme (difüzyon bağı) (Şekil 11b) modelidir. Üçüncüsü ise takviye/matris ara yüzeyi pürüzlü ve/veya girinti-çukurlu ise mekanik bağ oluşumu (mekanik bağlanma) (Şekil 11c) şeklindeki bağlanma modelidir.

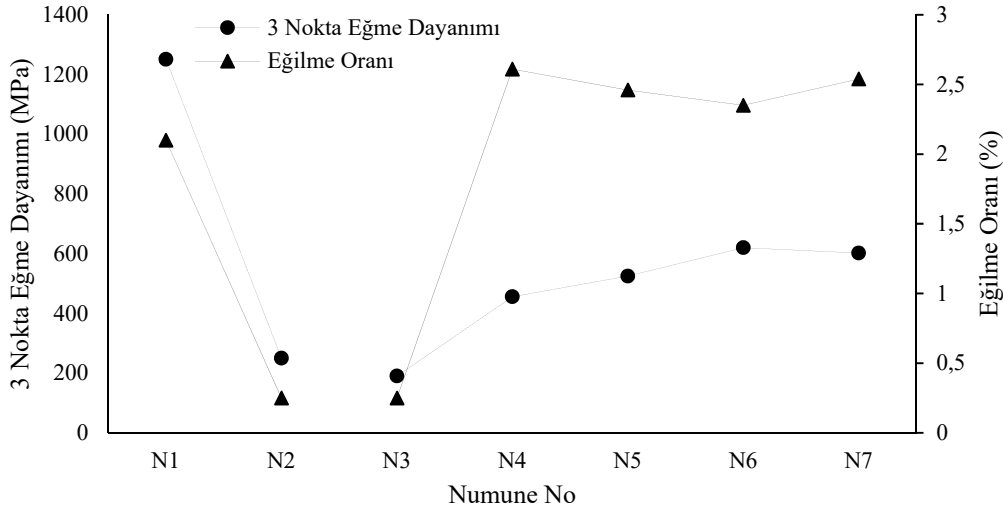
Bu numunelerin ara yüzeyleri incelendiğinde özellikle epitaksiyel katılaşma ve ısıtma işlemi nedeniyle difüzyon bağı oluşumu ön plana çıkmaktadır. Ancak pürüzlü yüzeylerde ise mekanik bağ oluşumu da meydana gelmektedir. Bu bağ oluşumlarına bağlı olarak matris/takviye ara yüzeyi güçlenmektedir. Bu nedenle dayanım özellikleri gelişmektedir. Bu sonuçlar 3 nokta eğme testi sonucunda

elde edilen eğilme dayanımı sonuçlarından (Şekil 12'de) açıkça görülmektedir. 3 saate kadar artan ısıtma işlemi süresiyle birlikte arayüzey kalitesi geliştiğinden eğme dayanımı da artmakta, tane büyümesi çekme ve akma dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımını da kötüleştirir. Diğer bir sonuç olan eğilme oranına (numunedeki şekil değiştirme oranı) bakıldığında, ısıtma işlemi önce bu özelliği %140 oranında artırdığı, ara yüzeyde difüzyona bağlı olarak meydana gelen sert ve kırılma geçiş fazlarının etkisiyle %14 oranında azaldığı görülmektedir. Ancak 4 saat normalizasyon birçok özelliği tane kabalaşması nedeniyle olumsuz etkilerken, uzamada olduğu gibi sünekliğe bağlı bir şekil değişimi kabiliyeti özelliği olan eğilme oranını artırmıştır. Diğer bir ifadeyle uzun normalizasyon süresi kompozitin ara yüzey esnekliğini artırarak şekil değişim kabiliyetini iyileştirmiştir.



Şekil 11. Metal-metal kompozitlerde oluşabilecek arayüzey katılaşma modellerinin şematik gösterimleri a) epitaksiyel b) difüzyon ve c) mekanik bağ oluşumu

(Schematic representations of interface solidification models that may occur in metal-metal composites a) epitaxial b) diffusion and c) mechanical bond formation)



Şekil 12. Uygulanan işlemlere bağlı olarak metal-metal kompozit malzemelerin 3 nokta eğme dayanımının değişimi (Depending on the applied processes; change of 3 point bending strength)

Normalizasyon işlemi konusunda yapılan çalışmalar da [12-14] bu sonuçları destekler niteliktedir. Normalizasyon işlemi sonunda meydana gelen faz değişimlerine bağlı olarak kısmen sertlik artışı sağlamaktadır. Ancak sürenin 4 saate uzamasıyla birlikte meydana gelen yapısal kabalaşmaya bağlı olarak durum tersine dönmektedir. Ancak bu çalışmada tek bir malzemedeki değişim incelenmemiştir. Çalışmanın asıl odak konusu döküm durumuna göre normalizasyon sonrası kompozit ara yüzeyindeki değişimlerdir. Buradan hareketle; genel olarak ısıtma işlem süresinin artmasının mekanik özelliklerin çoğunluğuna pozitif katkı sağladığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Döküm ve ardından uygulanan normalizasyon ısıtma şartlarının 42CrMo4 çelik matrisli ve BDD takviyeli metal-metal kompozit malzeme özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma sonunda;

- 42CrMo4 çelik ile BDD malzemelerin uygun şartların oluşturulması neticesinde döküm ile başarılı bir şekilde kompozit olarak üretilebildiği,
- Dökümün ardından uygulanan normalizasyonun matris/takviye birleşme ara yüzeyinin yapı ve mekanik özelliklerini çok daha fazla geliştirebildiği,
- Bu gelişme nedeniyle ısıtma işlem uygulamasının mutlaka yapılması gerektiği,
- Isıtma işlem süresinin artmasıyla matris/takviye ara yüzey katman kalınlığının arttığı,
- Katman kalınlığının artmasıyla genel olarak mekanik özelliklerin geliştirilebildiği,
- Normalizasyon ısıtma işlemi uygulaması sonucunda genel olarak mekanik özellikler gelişmiştir. Ancak, ısıtma işlem süresi 3 saate kadar artması neticesinde mekanik özellikler artarken, 4 saat ısıtma işlem neticesinde özelliklerde azalma olduğu, ancak uzun ısıtma işlem süresinin etkisiyle

malzemede % uzama ve eğilme oranı özelliklerinin ise arttığı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmaya, numune üretim sürecinde döküm işlemlerinde REAL Çelik Döküm firması tarafından katkı sağlanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Simsir M., Kumruoğlu L.C. and Özer A., An investigation into stainless-steel/structural alloy-steel bimetal produced by shell mould casting, *Materials & Design*, 30 (2), 264–70, 2009.
2. Yılmaz O. and Çelik H., Electrical and thermal properties of the interface at diffusion bonded and soldered 304 stainless steel and copper bimetal, *Journal of Materials Processing & Technology*, 141 (1), 67–76, 2003.
3. Kurt B., Orhan N. and Hascalik A., Effect of heating and cooling rate on interface of diffusion bonded gray cast iron to medium carbon steel, *Materials & Design*, 28 (22), 29–33, 2007.
4. Manesh H.D. and Taheri A.K., An investigation of deformation behavior and bonding strength of bimetal strip during rolling, *Mechanical Materials*, 37 (5), 31–42, 2005.
5. Kazanowski P., Epler M.E. and Misiolek W.Z., Bi-metal rod extrusion – process and product optimization, *Material Science & Engineering A*, 369 (1), 70–80, 2004.
6. Kacar R. and Acarer M., An investigation on the explosive cladding of 316L stainless steel-din-P355GH steel, *Journal of Materials Processing & Technology*, 152 (9), 1–6, 2004.
7. Berski S., Dyja H., Maranda A. and Nowaczewski J., Analysis of quality of bimetallic rod after extrusion

- process, *Journal of Materials Processing & Technology*, 177 (58), 2–6, 2006.
8. Krishna B.V., Chakkingal U. and Vanugopal P., Applicability of the groove pressing technique for grain refinement in commercial purity copper, *Material Science & Engineering A*, 410-411, 337–340, 2005.
 9. Liu Y.H., Liu H.F. and Yu S.R., Study on interface of high speed/structural steel bimetal composites, *Special Casting & Nonferrous Alloy*, 2 (1), 7–9, 2001.
 10. Yang B.J., Hattiangadi A., Li W.Z. and Zhou G.F., Simulation of steel microstructure evolution during induction heating, *Material Science & Engineering A*, 527 (29), 78–84, 2010.
 11. Xie G.L., Sheng H., Han J.T. and Liu J., Fabrication of high chromium cast iron/low carbon steel composite material by cast and hot rolling process, *Materials & Design*, 30 (306), 2–6, 2010.
 12. Hasırcı H., effects of heat treatment conditions and sliding speeds on the adhesive wear behavior of AISI D6 steel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (3), 587-592, 2010.
 13. Hasırcı H., Tabur M., Gül F. ve İzciler M., Effects of boronizing and normalizing heat treatment on the adhesive wear behaviour of AISI 4140 steel, 14. International Metallurgy and Materials Congress, Istanbul – Turkey, 35-42, 15-18 October, 2008.
 14. Hasırcı H., ve Gül F., Effect of boride layer thickness on the behaviour abrasive wear of boronized AISI4140 steel, V. Iron-Steel Congress Proceedings, Karabuk – Turkey, 170-182, 1-3 April, 2011.