

Bigadiç Kolemanitin Tozaltı Kaynak Toz Bileşeni Olarak Kullanılabilirliği

Mustafa KAPTANOĞLU* 

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Elazığ, Türkiye

Geliş / Received: 20/11/2018, Kabul / Accepted: 08/04/2019

Öz

Bu çalışmada, tozaltı kaynak toz bileşeni olarak kullanma amaçlı, Eti Maden Bigadiç işletmesinden temin edilen kolemanitin ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), kaynak işlemi sonrasında elde edilen kaynak metalinin tipik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan ön testler neticesinde, % 0-4 oranında kolemanitin azami toz bünyesinde kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan toz karışımlarında, oksitli ve florürlü bileşikler, eser miktarlarda ferroalaşım ve 4 farklı yüzdelik oranda kolemanit toz karışımı içerisinde kullanılarak, kaynak testlerinde kullanıma uygun kaynak tozları elde edilmiştir. Yapılan kaynak testleri neticesinde; elde edilen kaynak metalinden alınan numuneler, metalografik olarak hazırlanmış ve sırasıyla mikroyapı, sertlik ve aşınma testlerine tabi tutularak kolemanitin etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda artan oranlarda kolemanitin kaynak tozu bünyesinde kullanımı ile mikro yapılarıdaki tane yapısının kısmi olarak kabalaştığı, sertliğin kısmi olarak düştüğü ve aşınma direncinin de kısmi olarak azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, toz karışımı içerisinde artan miktarlarda kolemanit kullanımı ile, kaynak sonrası oluşan cürüfların kendiliğinden kalkmasında gecikmeler olduğu ve kaynak tozlarının (flaks) bağ yapısının güçlendiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: toz altı kaynak tekniği, Bigadiç kolemanit, kaynak metal, kaynak tozu.

Usability of Bigadic Colemanite as Submerged Arc Welding Powder Component

Abstract

In this study, effect of colemanite ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) obtained from the Eti Maden Bigadic company, which was prepared for the aim of submerged arc welding powder component, to the typical properties of the weld metal obtained after welding process has been investigated. As a result of the preliminary tests, colemanite in the range of 0-4 % can be used in welding powder mixture were determined. In welding powder mixtures prepared, oxidized and fluoride compounds, trace amounts of ferroalloys and 4 different percentages of colemanite were used to obtain welding powders suitable for welding tests. After the welding tests; samples obtained from the welded metal were prepared metallographically and subjected to microstructure, hardness and abrasion tests respectively and the effect of colemanite on welding metal was investigated. At the end of the study, it was determined that the grain structure in the microstructures was partially became coarsen, the hardness values decreased partially and the wear losses increased partially by the use of increasing amounts of colemanite in welding powder. In addition, with the use of increasing amounts of colemanite in powder mixtures, there were delays in terms of self-removal of slags occurred after welding processes and had more strength bond structures of welding powders (flux) were obtained.

Keywords: submerged arc welding technique, Bigadic colemanite, welding metal, welding powder.

1. Giriş

Toz altı kaynağı, tükenen elektrot (kaynak teli) ve iş parçası arasında meydana gelen ısının avantajından yararlanarak gerçekleştirilen bir ark kaynak yöntemidir. Ark bölgesi, kaynak tozu, kısmi olarak ergiyen cüruf tabakası ve kaynak dikişi tarafından korunur. Toz altı kaynak tekniğinde, uygulanan elektrik enerjisi, meydana gelen ark sayesinde, ergiyen

metalden ve kısmi olarak ergiyen cüruftan geçerek kaynak banyosuna ulaşır. Ark nedeniyle oluşan ısı, elektrotu, kaynak tozunu ve iş parçasını ertirerek kaynak banyosunun oluşmasını sağlar. Kaynak işleminde koruyucu roldeki kaynak tozları, kaynak metalinin deoksidasyonuna da katkı sağlar (Külahlı, 1988).

Toz altı kaynak toz bileşenlerinin görevleri birbirinden farklı olup, tüm bileşenler farklı bir ihtiyaca binayen karışıma katılmaktadır. Silisyum dioksit (SiO_2); asidik özelliğe sahip olup, viskozite ve ergime sıcaklığının ayarlanmasına yardımcı olmaktadır. Alüminyum oksit (Al_2O_3); doğal bileşen olup, cüruf oluşumunu sağlayarak, kaynak yapılabilirliği kolaylaştırmaktadır. Ayrıca; viskozite ve ergime sıcaklığının ayarlanmasına yardımcı olmakta ve yüksek akımlarda arkın kararlılığını sağlamaktadır. Titanyum dioksit (TiO_2); asidik özelliğe sahip olup, cüruf oluşumunu başlatıcı bileşiktir. Cürufun kolayca kalkmasına yardımcı olmaktadır. Kalsiyum oksit (CaO); bazik özelliğe sahip olup, cürufun viskozitesinin ayarlanmasına yardımcı olup, kaynak metalinde oksijen miktarını azaltmaktadır. Kalsiyum florür (CaF_2); bazik özelliğe sahip olup, cürufun akışkanlığını iyileştirmekte ve flor gazının oluşumunu sağlayarak ve kısmi buhar basıncını düşürerek kaynak metalindeki hidrojen miktarını azaltmaktadır. Mangan oksit (MnO); bazik özelliğe sahip olup, kaynak metalinin şeklini geliştirerek, cürufun ergime sıcaklığı ve viskozitesinin ayarlanmasında etkilidir. Magnezyum oksit (MgO); bazik özelliğe sahip olup, ergimiş cürufun bazikliğini arttırmakta ve hidrojenin kaynak metalinden cürufa doğru ilerlemesini sağlamaktadır. Potasyum oksit (K_2O), sodyum oksit (Na_2O) ve lityum oksit (Li_2O); bu bileşikler arkın kararlı olarak devam etmesinde önemli rol oynamaktadır (Davis, 1993).

Kolemanitin kimyasal formülü $2\text{CaO}.3\text{B}_2\text{O}_3.5\text{H}_2\text{O}$ tür. Kolemanit bor mineralleri arasında en yaygın olarak bulunanlardan biridir. Killer içinde, cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde görülür. Mono klinik kristallenme gösteren Kolemanitin sertliği Mohs sertlik sınıflandırmasına göre 4-4,5 özgül ağırlığı ise $2,42 \text{ gr/cm}^3$ tür. B_2O_3 içeriği % 27-42 aralığındadır. Kolemanit cam elyaf

üretiminde (tekstil tipi cam elyaf), seramik ve emaye sır formülasyonları içerisinde ve metalurji sanayiinde flaks olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca; demir-çelik sektöründe tozlaşan cürufa ilave edilerek kompakt yapıda cüruf elde etmek amacıyla da kullanılmaktadır. (Eti Maden, 2018; Demir vd., 2017).

Sivrikaya ve Arol (2012), organik bağlayıcılar ile bağlanan pişmiş ve önceden ısıtılmış peletlerde bulunan yetersiz mukavemeti gidermek için kolemanitin bağlayıcı olarak etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda tek başına organik bağlayıcı ya da tek başına kolemanit kullanımının bağ mukavemetine pozitif bir etkisinin olmadığını gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Öte yandan; organik bağlayıcı ile birlikte kullanılan kolemanitin, pelet mukavemetine katkı sağladığını belirtmişlerdir. Eskibalı ve Özkan (2012), Türkiye Eti Maden A.Ş. Bigadiç Maden İşletmesinden temin edilen üleksit ve kolemaniti elektrostatik olarak ayırmak için, mikro dalga enerjisinin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonunda; aralarındaki elektrostatik özellik farkından yararlanarak çeşitli ısı işlemlerle üleksit ve kolemanitin birbirinden ayrılabilceğini ortaya koyan sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Rüşen vd. (2012), % 0 ile 6 oranlarında kolemanit ekleyerek bakır matının cürufunda oluşan bakır kayıplarının en aza indirgenmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışma sonunda; kolemanit miktarının artmasıyla % 1,5 olan bakır kayıplarının % 0,4 seviyesine düştüğünü belirtmişlerdir. Gül vd. (2006), flotasyon ve karıştırma yoluyla Kestelek Bor Maden işletmesinde oluşan kolemanit içeren atık suların zenginleştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonunda; atıktaki B_2O_3 miktarında ciddi miktarda artış sağlandığı ve % 68,4 geri kazanımla % 44,5 B_2O_3 içeren bir konsantrasyon elde edildiği belirtilmiştir. Bideci ve Bideci (2018), öğütülmüş kolemanit ilavesinin inşaat sektöründeki çimento harç

özelliklerine etkisi araştırmıştır. Bu doğrultuda; farklı yüzdelik oranlarda harç karışımları oluşturularak özgül ağırlık, özgül yüzey, priz başlama ve sona erme süreleri tayini, kıvam ve genişleme deneylerinin yapılması ve harç numunelerin basınç dayanımı gibi parametrelerde bu karışımları testlere ve ölçümlere tabi tutmuşlardır. Çalışma sonunda; artan kolemanit yüzdesine bağlı olarak pozitif sonuçlar elde edildiği ve kolemanitin standartlara uygun ikame harç malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Başar vd. (2018), farklı oranlarda kolemanit içeren balatalar üreterek, ürettikleri balataların sürtünme ve aşınma karakteristiklerini araştırmışlardır. Gerçekleştirilen çalışma sonunda; % 4 kolemanit takviyeli balataların, sürtünme katsayısı bakımından en verimli sonuçları verdiği belirtilmiştir. Ayrıca; üretimi başarı ile tamamlanan bu balataların standartlara uygun olduğu ve kolemanit ilavesinin, balataların frenleme performansına doğrudan etki ettiği ifade edilmiştir. Çiftçi ve Atık (2015), Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletmesi artık ürünlerinin değerlendirme olanaklarını araştırmışlardır. Bu kapsamda; atıkların bünyesinde bulunan kil minerallerinin giderimini sağlayarak, atığın tenörünü yükseltmeyi hedeflemişlerdir. Bu doğrultuda; atığa mekanik aşındırma-dağıtma testleri ve ısı ile dağıtma testleri uygulamışlardır. Çalışma sonunda; % 45,57 B₂O₃ tenörlü bir konsantre ürün olan kolemanitin, tenör oranının % 88,47 yükseltilerek verim artışı sağlandığını belirtilmişlerdir. Sugözü vd. (2018) kütlice % 4, % 8 ve % 12 oranlarında boraks ve üleksit içeren fren balata numuneleri üretmiş ve dökme demir disklerde bu numuneleri test etmiştir. Standartlara uygun olarak yapılan testler neticesinde boraks ve üleksitin bu tip uygulamalarda kullanılabilir olduğu ortaya koyulmuştur. Binici ve Durgun (2012), bazaltik pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu kullanılarak boya numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan bu boyalarla kaplanan test

donatılarının korozyon özelliklerini araştırmıştır. Çalışma sonunda, kolemanit ve barit ilaveli boyaların korozyona direnç gösterme bakımından diğer test numunelerinden daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Demirel ve Nasıroğlu (2017), kolemanit ve borik asit gibi bor mineralleri ve atıkların, inşaat endüstrisinde önemli parametreler olan çimento priz süresi, beton basınç dayanımı ve yalıtımsal özellik etkisi üzerine teorik bir çalışma yapmışlardır. Çalışma da özellikle bor mineralleri ve atıklarının inşaat ve çimento sektörü gibi sektör ve uygulamalarda kullanılabilirliği detaylı açıklamalarla vurgulamıştır. Morova ve Terzi (2015), atık kolemanit içeren agrega formda sıcak asfalt karışımları hazırlayarak bu atıkların ilgili sektörde kullanılan kireçtaşının yerine kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla çeşitli oranlarda karışımlar hazırlayarak çeşitli karşılaştırmalar yapmışlardır. Çalışma sonunda, kolemanit atık nakliye maliyetlerinin kireçtaşı maliyetlerinden daha düşük olması durumunda, kolemanit atıklarının sıcak asfalt üretiminde kullanılabilir olabileceğini belirtmişlerdir. Barış vd. (2018), Eti Maden Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğünden temin edilen 8-125 mm Simav Ana Damar (SAD), Simav Tali Damar (STD) ve Tülü Sarı (TS) kolemanit cevherlerini, yakın kızılötesi (NIR) ve görünür ışık (CCD) kaynakları kullanarak zenginleştirilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada, kullanılan cevherler kırma, eleme ve yıkama işlemlerinden geçirilerek kullanılan cihazlarda kullanıma en uygun tane boyutuna getirildiği belirtilmiştir. Çalışma sonunda, % 22,10-39,30 B₂O₃ tenör aralığında beslenen cevherlerde 3,90-9,10 birim zenginleştirme sağlandığı ve % 93'ün üzerinde verimle yapılan zenginleştirme sonrası % 2,20-11,10 B₂O₃ tenör aralığında atıkların açığa çıktığı belirtilmiştir. Kütük ve Kara (2018), % 0-5 oran aralığındaki kolemaniti çimento içerisine karıştırarak beton numuneler üretmiş ve bu beton numunelerin ultra ses geçiş hızı ve basınç

dayanımları üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışma sonunda, % 3 kolemanit içeren test numuneleri ile alınan deney sonuçlarının en verimli sonuçlar olduğu belirtilmiştir. Güngören (2012), bor minerallerinin, konvansiyonel şartlardaki ve mikrodalga enerji uygulanmasından sonra gerçekleşen sudaki çözünmesine bağlı katı kayıplarını araştırmışlardır. Çalışma sonunda, normal şartlarda yapılan çözünürlük testlerinde sıcaklık artışına bağlı olarak hem kolemanit hem de üleksit numunelerinin çözünürlüğe bağlı katı kayıplarının arttığı, pülpte katı oranı artışına bağlı olarak ise azaldığı belirtilmiştir. Mikrodalga ön işlemlerinde ise mikrodalga güç seviyesi arttıkça çözünürlüğe bağlı katı kaybının azaldığı ve uygulanan her bir güç seviyesinde mikrodalga enerjiye maruz kalma süresi arttıkça çözünürlüğe bağlı katı kayıplarının yine bir miktar azaldığını belirtilmiştir. Arslan ve Bayat (2012), Eti Maden Emet Bor İşletmesinden temin edilen kolemanit numunelerine karıştırmalı ve kolon biyoliçi yöntemleri uygulayarak B_2O_3 çözünme verimlerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, karıştırmalı biyoliçi çözünme veriminin kolon biyoliçi çözünme veriminden % 20 oranında daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Kuş vd. (2016), sıcak presleme yöntemi ile üretilen bronz matrisli fren balatalarının tribolojik özelliklerine kolemanit miktarının etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda; tüm balata numunelerinin aşınma direnci ve sürtünme katsayı değerlerinin SAE-J661 standardına uygun olduğu, aşınma direnci bakımından en iyi sonucu kolemanit içermeyen balatanın verdiği ve sürtünme katsayısı açısından en iyi sonucu da % 0,5 kolemanit içeren balatanın verdiği belirtilmiştir.

Görüldüğü üzere literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmı; çimento, beton, asfalt, fren balatası, metalürjik pelet, atık, cüruf ve boya gibi malzemelere kolemanit ilavesinin etkileri üzerinedir. Sınırlı sayıdaki çalışmalarda ise kolemanit cevher ve atıkların

zenginleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada ise, toz altı kaynak tozu üretiminde belirli oranlarda kolemanit kullanılarak, cüruf ve kaynak metalinin tipik özelliklerine kolemanitin etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Hammadde temini

Çalışmada, öncelikle Eti Maden İşletmeleri Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, Balıkesir işletmesinden kolemanit temini sağlanmıştır. Toz üretiminde kullanılmak üzere flaks olarak CaF_2 , CaO , TiO_2 , MnO , K_2O , Na_2O hammaddeleri Tekomi Metal Sanayi ve Dış Ticaret Limited. Şirketi, İstanbul firmasından temin edilmiştir. Toz üretim maliyetlerini düşürmek amacıyla Etikrom Anonim şirketi, Elazığ firmasından ferrokrom atığı (% 33,7 MgO , % 31,2 SiO_2 ve % 29,9 Al_2O_3 , % 2,6 Cr_2O_3 , % 1,45 CaO , % 0,9 FeO) temini sağlanmıştır. Toz üretiminde kullanılmak amacıyla, mukavemet ve deoksidan karakterdeki ferro mangan ($FeMn$) ve ferro molibden ($FeMo$) yine Tekomi Metal Sanayi ve Dış Ticaret Limited. Şirketi, İstanbul firmasından temin edilmiştir. Benzer şekilde, tozların bağ yapısının güçlenmesi amacıyla kullanılan sodyum silikat ($Na_2(SiO_2)_nO$) bağlayıcısı da yine Tekomi Metal Sanayi ve Dış Ticaret Limited. Şirketi, İstanbul firmasından temin edilmiştir. Substrat olarak kullanılan SAE 1020 çelik levhalar Harput Güleğül Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, Elazığ firmasından temin edilmiştir. Son olarak kaynak tozları ile birlikte kombine edilerek kullanılan AWS-EL-12 (S1) kaynak elektrotları, **Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi Anonim Şirketi**, Manisa firmasından temin edilmiştir.

2.2. Bigadiç kolemanit içeren toz altı kaynak tozu üretimi

Çalışmada, aglomere metot kullanılarak kaynak tozu üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bu metodun pratik ve ferro alaşım ve ilave flaks bileşeni eklemeye uygun olması sıklıkla tercih

edilmesine neden olmaktadır (Kahraman vd., 2010). Bu amaçla, kolemanit, flaks oluşturuvcu diğer bileşenler, ferrokrom atığı ve mukavemet ve deoksidan karakterdeki ferro alaşımlar, öncelikle kırma, öğütme ve eleme işlemleriyle 100 mikron tane boyutuna getirilmiştir. Uygun tane boyutuna getirilen tozlar **Tablo 1**'de verilen kompozisyonlarda homojen olarak karıştırılmıştır. Toz bileşenlerinin cüruf özelliklerini sağlaması ve cürufun akışkanlığını sağlaması amacıyla

Tablo 1'de belirtilen oranlarda CaF_2 , CaO , TiO_2 , MnO , K_2O , Na_2O , ferrokrom atığı ve Bigadiç kolemanit, toz karışımına katılmıştır. Ayrıca; gerek deoksidan olarak gerekse de katı çözültü ve mukavemet özelliklerine katkı sağladıkları için, FeMn ve FeMo tozları toz bileşimine **Tablo 1**'de verilen oranlarda katılmıştır. Bu kapsam da Bigadiç kolemanitin kaynak metaline etkisinin belirlenmesi amacıyla 5 adet kaynak tozu hazırlanmıştır.

Toz no	% Ağırlıkça								
	CaF_2	CaO	TiO_2	MnO	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	Ferrokrom atığı	FeMn	FeMo	Bigadiç Kolemanit
1	5-12	3-7	4-7	4-6	1-3	69,5	2	1	0
2	5-12	3-7	4-7	4-6	1-3	68,5	2	1	1
3	5-12	3-7	4-7	4-6	1-3	67,5	2	1	2
4	5-12	3-7	4-7	4-6	1-3	66,5	2	1	3
5	5-12	3-7	4-7	4-6	1-3	65,5	2	1	4

Tablo 1. Hazırlanan kaynak toz karışımları.

Homojen olarak karıştırılan tozlara % 20 oranında bağlayıcı sodyum silikat kontrollü olarak ilave edilerek, karışımın aglomere olması sağlanmıştır. Aglomere olan tozların bağ yapısının güçlenmesi amacıyla, tozlar bir gün süreyle oda koşullarında dinlendirilmiştir. Dinlendirilen tozların mukavemet özelliklerini arttırmak amacıyla $750\text{ }^\circ\text{C}$ de bir saat süreyle sinterlenmiştir. Sinterlenen tozlar 200 mikron-1,5 mm aralığında olacak şekilde yeniden kırma, öğütme ve eleme işlemlerine tabi tutularak toz altı kaynağında kullanılmak üzere en uygun toz boyutuna getirilmiştir. Uygun toz boyutundaki tozlar, neme duyarlı olduklarından, kaynak testleri öncesi 1 saat süreyle $350\text{ }^\circ\text{C}$ de ön ısıtmaya tabi tutulmuştur.

2.3. Kaynak testlerinde kullanılan cihaz ve ekipmanlar

Kaynak testleri Magmaweld ZD5-1000B-MZ-000BF toz altı kaynak makinesi ve güç kaynağı ünitesiyle gerçekleştirilmiştir. Tüm kaynak testleri, AWS-EL-12 (S1) olarak adlandırılan kaynak elektrotları ve bu elektrotların kombine edildiği kaynak tozları kullanılarak, SAE 1020 çelik yüzeylere gerçekleştirilmiştir (**Tablo 2**).

Tablo 2. SAE 1020 çeliği ve AWS-EL-12 elektrotunun kimyasal kompozisyonları.

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon (% Ağılıkça)					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
SAE 1020 çeliği	0,158	0,281	0,648	0,033	0,034	Kalan

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon (% Ağılıkça)			
	C	Si	Mn	Fe
AWS-EL-12 elektrot	0,07	0,05	0,50	Kalan

Gerçekleştirilen tüm kaynak testleri 500 A akımda, 28 V gerilimde, 50 cm/dk kaynak hızlarında ve 3,2 mm lik kaynak tel çapına sahip tellerle gerçekleştirilmiştir. Tüm testlerde elektrot pozitif olarak ayarlanmıştır. Kaynak testlerinde dikiş özelliklerine doğrudan etki eden meme boyu ya da stick-out mesafesi standartlara uygun şekilde kullanılan tel çapının (3,2 mm) 10 katı olarak belirlenerek tüm numunelerde standart olarak 3.2 cm mesafede tercih edilmiştir. Kaynak testlerinde ortaya çıkan ısı girdisi $H = 60 \cdot E \cdot I / 1000$ S formülü ile hesaplanmıştır. Burada H ısı girdisi, E voltaj, I akım ve S kaynak hızını

temsil etmektedir (Akbari and Far 2009; Nowacki and Rybicki, 2005). Benzer şekilde ısı verim ile birlikte net ısı girdisi de hesaplanmıştır. Bu amaçla, $HI = \eta \cdot H$ formülünden yararlanılmıştır. Bu formüle; HI Net ısı girdisi, η verim katsayısı ve H ısı girdisini temsil etmektedir (Kou 2003; Melfi 2010). Toz altı kaynak tekniğinin verim katsayısı maksimum değer olan 1 olarak alınmıştır (Bause and Mihalisin, 1989; Kou, 2003; Melfi, 2010). Bu veriler kullanılarak net ısı girdisi hesaplanmıştır. Kaynak parametreleri **Tablo 3**'de verilmektedir.

Tablo 3. Kaynak testlerinde kullanılan kaynak parametreleri.

Numune	Voltaj (V)	Amper (A)	Kaynak Hızı (cm/dk)	Elektrot	Stick-out (mm)	Net Isı girdisi (kJ/mm)
1	28	500	50	+	32	1,68
2	28	500	50	+	32	1,68
3	28	500	50	+	32	1,68
4	28	500	50	+	32	1,68
5	28	500	50	+	32	1,68

2.4. Mikro yapı, kimyasal kompozisyon, sertlik ve aşınma testleri

Çalışmada gerçekleştirilen kaynak testleri neticesinde elde edilen kaynak dikişleri, öncelikle cürufun kolay kalkması, kaynak dikişinin geometrisi, yüzey pürüzlülüğü ve gözenek var olup olmama gibi parametreler göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Görsel olarak incelenen kaynak dikişleri

12x10x10 mm ebatlarında olacak şekilde, labaratuvar tipi sulu kesme makinesinde kesilmiştir. Kesilen numuneler klasik metalografik yöntemlerle zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş ve % 2 nital çözeltisinde dağlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikroskopik olarak incelenmesin de Nikon Eclipse-MA200i optik mikroskobu ve kimyasal kompozisyon

analizlerinde ise optik emisyon spektrometresi kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu incelemelerinde (SEM) Jeol Inca x-act JSM-7001f makinesinden yararlanılmıştır. Ayrıca; mikro yapılardaki faz ve bileşiklerin tayini için ise Rigaku RadB-Dmax2 makinesi yardımıyla X-ışını analizleri yapılmıştır.

Kaynak bölgesinin enine kesitinden hazırlanan 12x10x10 mm boyutlarındaki numunelerin sertlik ölçümleri makro olarak gerçekleştirilmiştir. Makro sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Kahraman vd., 2010). Sertlik ölçümü amacıyla kesilen numuneler yüzeylerindeki kir, pas vb. pisliklerden arındırıldıktan sonra zımparalama ve parlatma işlemleri ile sertlik ölçümüne uygun hale getirilmiştir.

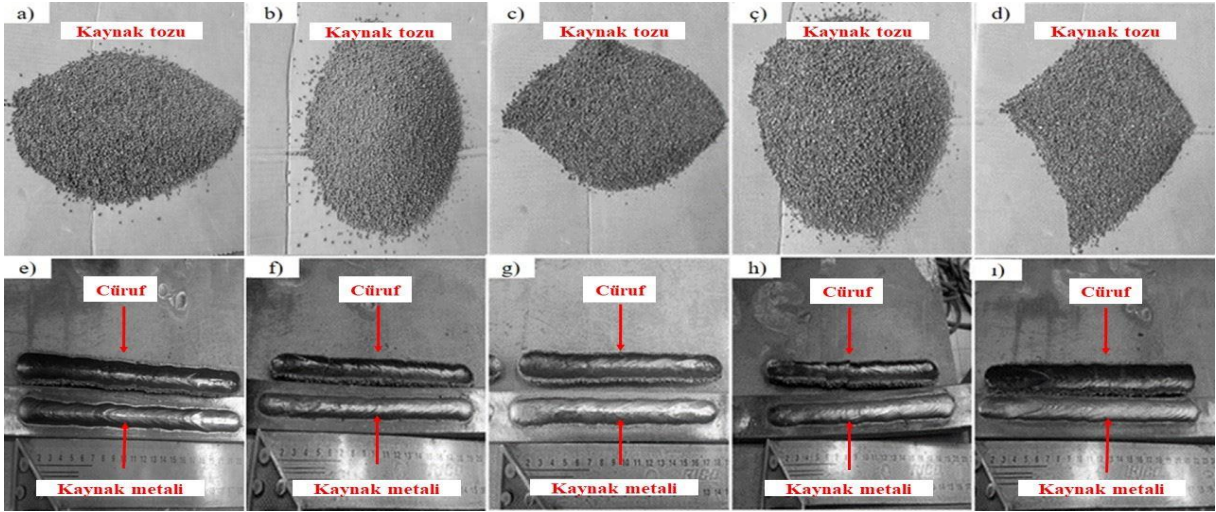
Aşınma testleri için 12x10x10 mm ebatlarında numuneler çıkartılmış ve bu

numuneler 920 mm boy ve 100 mm genişliğe sahip bant zımparalarda aşınma testine tabi tutulmuştur. Aşınma testleri 80 mesh su zımparası, 20 newton yük, 50 metre kayma mesafesi ve 300 devir/dakika da gerçekleştirilmiştir. Deneysel testler öncesi ve sonrası ağırlıklar ölçülerek aşınma kayıpları bulunmuştur. Daha objektif sonuçlar için her bir testte yeni bir zımpara kullanılmış ve aşınma kayıpları yüzdelik değerler şeklinde hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kimyasal analizler ve mikro yapı analizleri

Artan kolemanit miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen dolgu ve birleştirme amaçlı kaynaklı parçaların dikiş ve cüruf görüntüleri Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Artan kolemanit miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen dolgu ve birleştirme amaçlı kaynaklı parçaların dikiş ve cüruf görüntüleri. a,e) % 0 kolemanit, b,f) % 1 kolemanit, c,g) % 2 kolemanit, ç,h) % 3 kolemanit, d,i) % 4 kolemanit.

Şekil 1'de verilen aglomere tozlar incelendiğinde; hazırlanan tüm tozların tane boyutlarının birbirine benzer büyüklükte olduğu ve herhangi bir topaklanma gibi bir durumun olmadığı görülmektedir. Fakat, özellikle daha fazla oranlarda kolemanit

içeren tozların mukavemetinin diğerlerine oranla daha yüksek olduğu deneysel işlemler esnasında gözlemlenmiştir. Bu durum Eti Maden, (2018) raporlarında belirtilen döküm esnasında cürufun tek parça halinde alınmak amacıyla kullanımına ve camsı özellik katma

özellikleri ile örtüşmektedir. Tüm numunelerde aynı oranda bağlayıcı kullanılmasına rağmen toz mukavemeti en iyi olan numuneler kolemanit içeren tozlardır. Kolemanit içeren tozlar arasında, en yüksek mukavemete sahip olan toz % 4 kolemanit içeren toz iken, en düşük olan ise % 1 kolemanit içeren toz ile elde edilmiştir. Diğer numunelerin toz mukavemetleri arasında bariz bir fark bulunmamaktadır.

Hazırlanan tozlar ile elde edilen kaynak dikişlerinin genişliğinde ise herhangi bir değişiklik olmamıştır. Burada; dikiş genişliğinin artmamasının nedeni, toz içerisinden kaynak metaline eşit oranda ve eser miktardaki alaşım elementinin geçmiş olmasıdır. Benzer şekilde tüm numunelerde homojen formda kaynak dikişleri tespit edilmiştir.

Tüm kaynak dikişleri çatlak, poroz ve benzer kusurlar açısından yüzeye açık bir şekilde incelendiğinde; kaynak özelliklerini negatif etkileyebilecek ciddi bir hata bulunmadığı tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerle yapılan kaynak testleri cürufun kendiliğinden

kalkması açısından değerlendirildiğinde; tüm kaynak testlerinde cürufun yüzeyden kendiliğinden kalkmasında herhangi bir problem olmamıştır. Tüm kaynak testlerinde kaynak dikişinin parlak ve pürüzsüz olduğu tespit edilmiştir. % 0, % 1 ve % 2 kolemanit içeren numunelerde kalkma kolay ve kendiliğinden gerçekleşmiştir. Diğer iki numunede özellikle % 3 ve % 4 kolemanit içeren tozlar ile yapılan test sonuçlarında ise, cürufun yüzeyden kendiliğinden daha geç sürelerde kalktığı gözlemlenmiştir. Toz bileşiminde kullanılan kolemanitin ergime noktasının 986 °C olması nedeniyle, toz karışımının toplam ergime noktası da düşmektedir. Ergime noktası düşen toz karışımının (flaks) akışkanlığı artmakta, oluşan cüruf daha geç soğumakta ve oluşan cürufun yüzeyden daha uzun sürelerde kalkmasına neden olmaktadır (Eti Maden, 2018).

Kaynak metalinden alınan ve optik emisyon spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilen kimyasal kompozisyon analiz sonuçları **Tablo 4**'de verilmektedir.

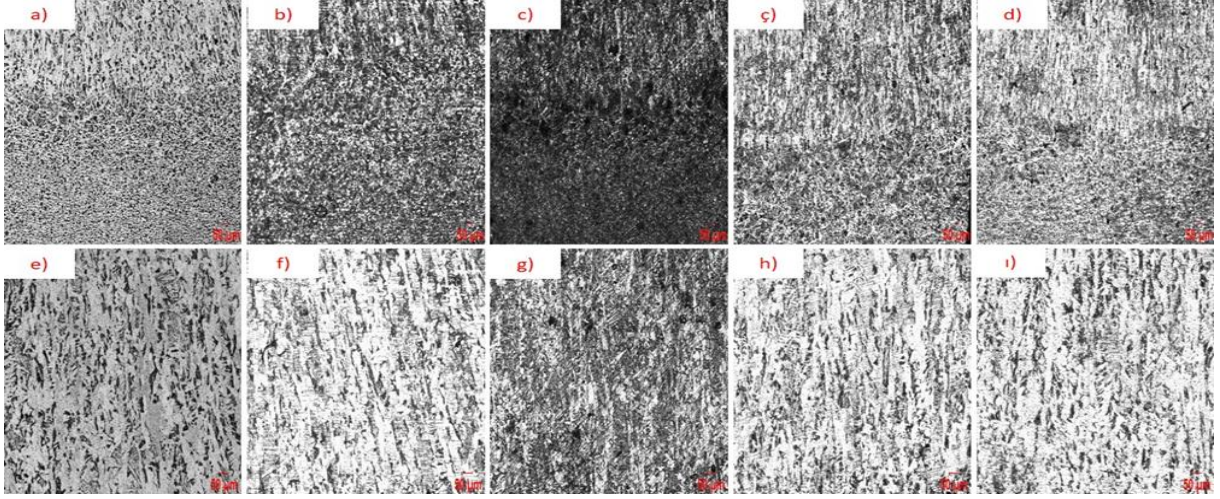
Tablo 4. Kimyasal kompozisyon analiz sonuçları.

Numune numarası	İçerik	C	Mn	Mo	Si	Fe
1	% 0 kolemanit	0,06	0,88	0,19	0,20	Kalan
2	% 1 kolemanit	0,06	0,89	0,19	0,20	Kalan
3	% 2 kolemanit	0,06	0,86	0,18	0,21	Kalan
4	% 3 kolemanit	0,06	0,95	0,19	0,19	Kalan
5	% 4 kolemanit	0,06	0,93	0,17	0,21	Kalan

Dolgu ve birleştirme amaçlı kullanmak amacıyla üretilen ve içerisinde artan miktarda kolemanit bulunan/bulunmayan tozlar ile elde edilen kaynaklı numunelerden alınan kimyasal kompozisyon analizlerinde, toz içerisinden kaynak metaline geçen alaşım elementi miktarı eser miktarda olduğu için AWS-EL-12 (S1) elektrotunun tipik kompozisyonuna benzer sonuçlar elde edilmiştir (Askaynak, Gedikkaynak, Oerlikon

19 Kasım 2018). Bu kompozisyonlarda ortalama olarak % 0.06 karbon, % 1 mangan, % 0.20 molibden ve silisyumun kaynak metalinde yer aldığı tespit edilmiştir.

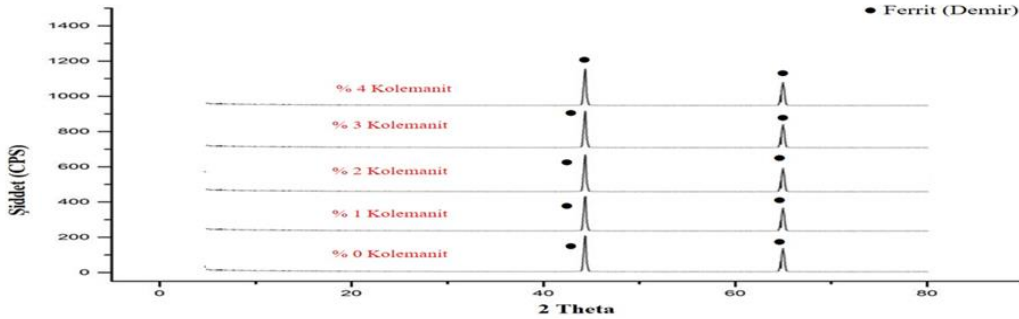
Artan miktarlarda kolemanit içeren/içermeyen kaynak tozları ile elde edilen kaynaklı test numunelerinin optik mikroskop kullanılarak gerçekleştirilen mikro yapı fotoğrafları **Şekil 2**'de verilmektedir



Şekil 2. Kolemanit miktarına bağlı olarak elde edilen kaynaklı parçaların geçiş ve dikiş bölgesinden alınan mikro yapı fotoğrafları a, e) % 0 kolemanit, b, f) % 1 kolemanit, c,g) % 2 kolemanit, ç, h) % 3 kolemanit, d, ı) % 4 kolemanit.

Mikro yapılarda kararlı olan fazlar ferrit ve perlit yapılarıdır. Mikro yapı kompozisyonlarında karbon yüzdesinin % 0.06 olduğu hatırlandığında mikro yapının büyük bir kısmının ferritten oluşması ve az miktarda perlitin mikro yapıda yer alması

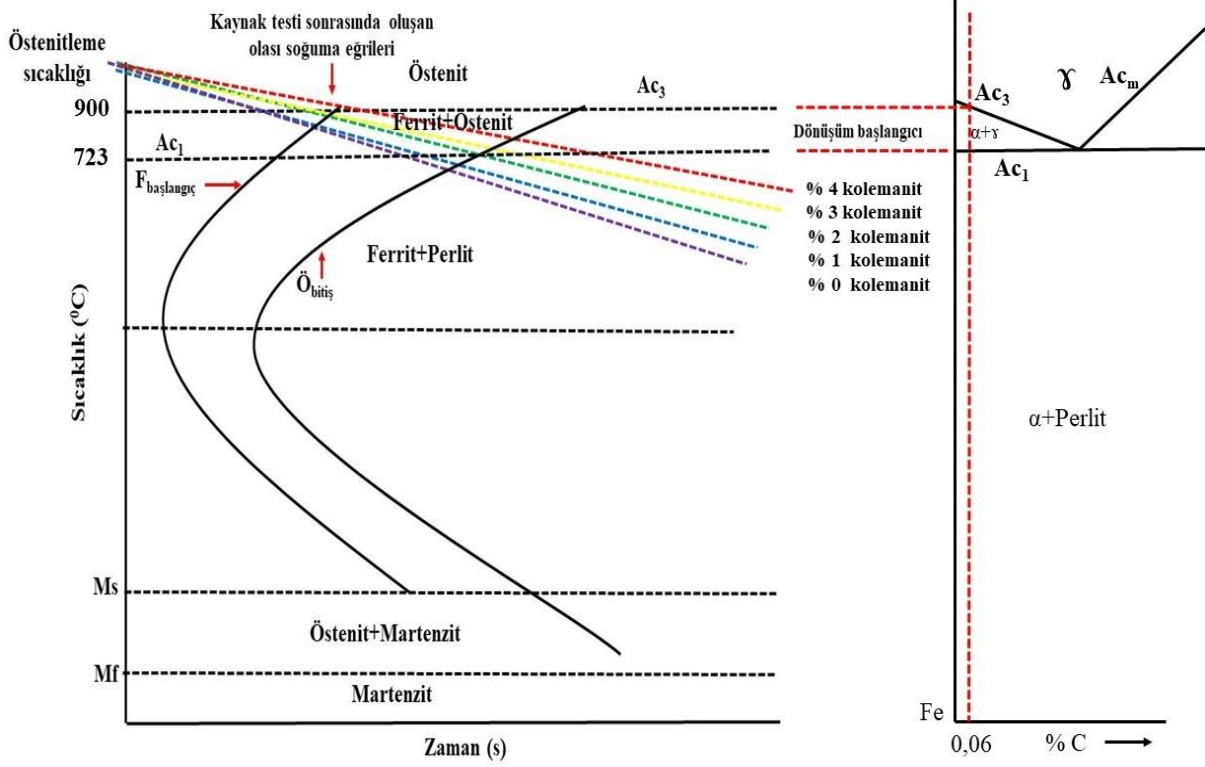
gerekmektedir. Mikro yapı incelemelerinde, kompozisyon analizleri ile uyumlu ferrit ve perlit mikro yapılar tespit edilmiştir. Mevcut fazlar, XRD (Şekil 3) ve literatür (Savaşkan, 2009) ile desteklenmiştir.



Şekil 3. XRD analiz sonuçları.

Kolemanit içeren tozlarla yapılan kaynak testleri neticesinde elde edilen kaynak metalinin, soğuması esnasında ilk olarak δ demir katı çözeltisi (fazı) oluşmuştur. Geriye kalan ergiyik (sıvı metal) ve δ demiri peritektik reaksiyonla östenit (γ) demir katı çözeltisine dönüşmüştür. Östenit fazı AC_3 katılma çizgisine kadar kararlı kaldıktan sonra (AC_3-AC_1) çizgisi aralığındaki sıcaklıklarda ferrit+östenit katı çözeltisini

oluşturmuştur. Bu katı çözelti ötektoid nokta olan (AC_1 çizgisi ya da $723^\circ C$) ye kadar kararlı kalmış bu sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda ferrit aynı şekilde kalmış geriye kalan östenit ise lokal olarak içerdiği karbon miktarına bağlı olarak allotropik dönüşüme uğrayarak ferrit ve perlit dönüşümünü tamamlamıştır (Savaşkan, 2009). Böylece, ferrit ve perlite fazları oluşmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Kaynaklı parçaların soğuması esnasında oluşan fazları gösteren Fe-C denge diyagramı, TTT diyagramı ve soğuma eğrileri (Savaşkan, 2009).

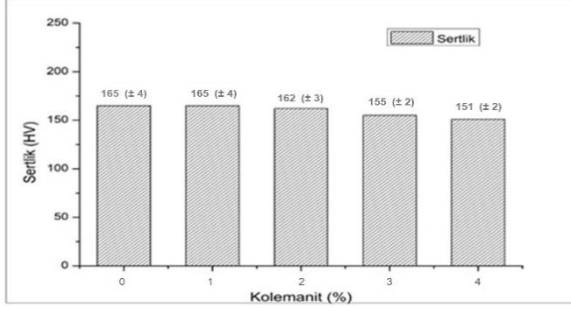
Kolemanit içeren tozlar ile kaynak testleri neticesinde elde edilen kaynak metallere mikro yapıları kolemanit yüzdesine bağlı olarak karşılaştırıldığında; % 0, % 1 ve % 2 kolemanit içeren numunelerde benzer irilikte taneler tespit edilmişken, % 3 ve % 4 kolemanit içeren tozlarda ise tane yapısının daha kaba olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca; tüm mikro yapılarda yöntemin bir özelliği olan yönlenmiş tane yapısı da gözlemlenmiştir.

Toz bünyesinde bulunan kolemanitin kaynak metalinde bulunan faz ve bileşiklere etki etmediği yapılan mikro yapı analizleri ve kimyasal kompozisyon analizleri ile tespit edilmiştir. Ancak; daha önce belirtildiği üzere toz bünyesindeki artan miktardaki kolemanit mikro yapıdaki tanelerin kabalaşmasına ve irileşmesine neden olmuştur. Kolemanitin, cüruf oluşturucu özelliğinin olması, artan kolemanite bağlı olarak kaynak esnasında oluşan cürufu daha geç (uzun sürelerde) kaynak metalinden kaldırmayı ve cürufu tek parça halinde tutarak mukavemetini arttırması

hatırlandığında; bu durumun olası olduğu anlaşılmaktadır. İyi bilindiği üzere çelikler allotropik dönüşüme uğrayabilmekte ve soğuma hızına bağlı olarak kaba ve ince tane yapısı oluşturabilmektedir. Tane yapısının da mukavemeti doğrudan etkilediği düşünüldüğünde, kolemanitin bu etkisinin negatif olduğu düşünülebilir. Fakat daha yüksek oranlarda alaşım elementi ve karbon içeren ve soğuma hızının düşük olması istenen durumlarda özellikle hızlı soğuma nedeniyle oluşabilecek çatlak oluşumunu engellemede bu durumun pozitif olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde kabalaşma etkisi gösteren kolemanit daha yüksek alaşım ve karbon içeriğine sahip çeliklerde, daha yavaş soğutma yani cürufun kaynak metalinden daha uzun sürelerde kalkma özelliği sayesinde, soğumayı yavaşlatarak kaynak esnasında oluşabilecek çatlak oluşumunu engelleyebileceği öngörülmektedir.

3.2. Sertlik ve aşınma testleri

Kaynak tozu içinde kolemanit kullanılarak/kullanılmadan (% 0-4) elde edilen kaynaklı parçalardan alınan numunelerin enine ve boyuna 5 er farklı bölgesinden alınan ve ortalama değerler olarak hesaplanan makro sertlik ölçüm sonuçları **Şekil 5**'de verilmektedir.

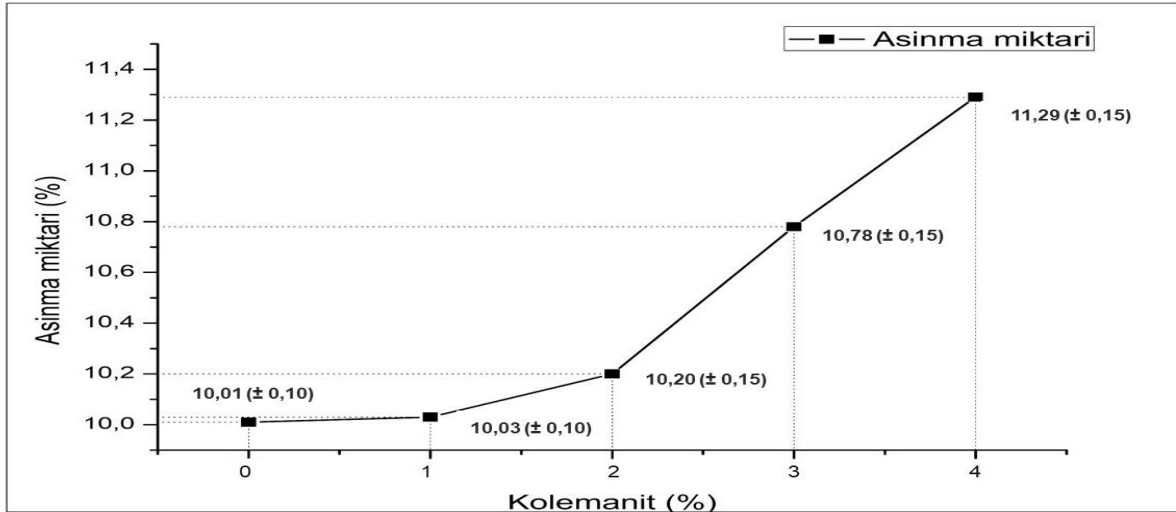


Şekil 5. Kaynaklı parçalardan alınan makro sertlik test sonuçları.

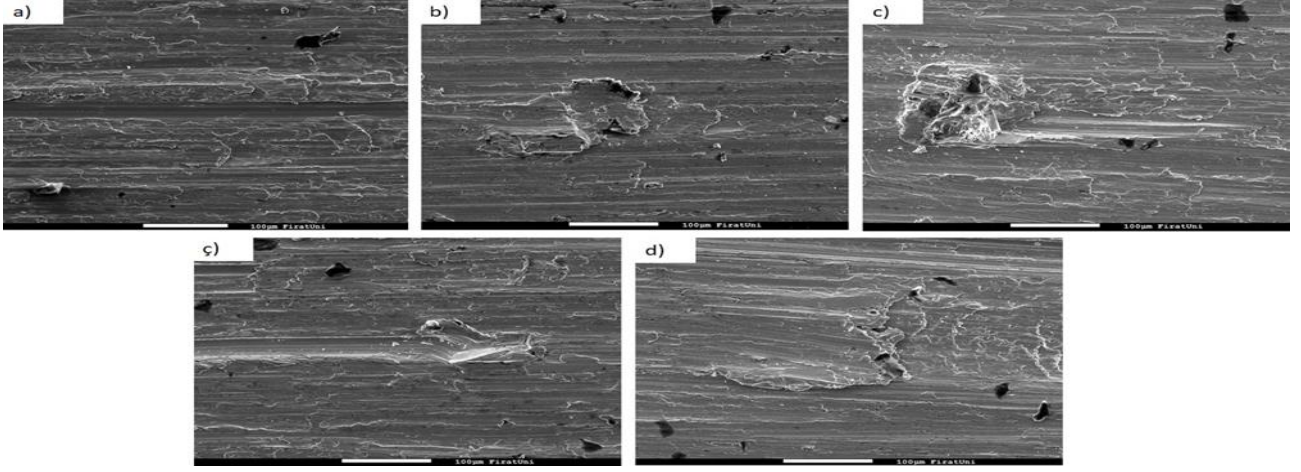
Sertlik sonuçları incelendiğinde; 151 HV ile en düşük sertliğe sahip kaplama % 4 kolemanit içeren numune iken 165 HV ile en yüksek sertliğe sahip kaplama % 0 ve % 1 kolemanit içeren numunelerdir. Açıkça görüldüğü üzere; kolemanit miktarının artması kısmi olarak da olsa sertlik düşüşüne sebep olmuştur. Bu durum, artan kolemanit

miktarının soğuma esnasında kaynak metalinden daha uzun sürelerde kalkmasıyla ilişkilendirilmektedir. Cürufun daha geç sürelerde kaynak metalinden ayrılması, çeliklerin soğuma hızına bağlı olarak ince ya da kaba tane yapısına sahip olabilmesi, ince tane yapısının mukavemeti artırması ve kaba tane yapısının mukavemeti düşürmesi nedeniyle, mikro yapı analizlerinde belirtilen kaba tanelerin bu sertlik düşüşünün ana nedeni olabileceği düşünülmektedir. Mevcut sertlik sonuçları AWS-EL-12 (S1) elektrotu kullanılarak elde edilen sertlik sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Askaynak, Gedikkaynak, Oerlikon, 19 Kasım 2018). Ancak, dolgu ve birleştirme amaçlı kullanılmak üzere kaynak tozu bünyesinde kolemanit etkisini araştıran ya da toz bünyesine kolemanit katarak bilimsel ya da ticari bir araştırma yapılan bir çalışma bulunamamıştır.

Toz içerisindeki kolemanit miktarına bağlı olarak elde edilen kaynaklı parçalardan 80 mesh su zımparası, 20 N yük, 50 m kayma mesafesi ve 3000devir/dk aşınma hızında yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **Şekil 6**'da ve aşınmış yüzeylerden alınan SEM fotoğrafları **Şekil 7**'de verilmektedir.



Şekil 6. Artan kolemanit miktarına bağlı olarak elde edilen kaynaklı parçaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları.



Şekil 7. Artan kolemanit miktarına bağlı olarak elde edilen kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları. a) % 0 kolemanit, b) % 1 kolemanit, c) % 2 kolemanit, ç) % 3 kolemanit, d) % 4 kolemanit.

Yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları incelendiğinde; en fazla aşınma miktarı % 11.29 ile % 4 kolemanit içeren toz ile elde edilen numunede iken en az aşınma miktarı ise % 10.01 ile % 0 kolemanit içeren toz ile elde edilen numunede elde edilmiştir. Hazırlanan toz bünyesindeki kolemanit miktarındaki artış aşınma kayıplarının artmasına neden olmuştur. Bu durum daha yüksek miktardaki kolemanit içeren tozların kaynak metalinden daha uzun sürelerde kalkmasıyla ve bu nedenle de daha yavaş soğuma nedeniyle oluşan kaba tane yapısı ile ilişkilendirilmiştir. Bu durum Hall-Petch eşitliğiyle de paralellik göstermektedir. σ (akma dayanımı) = σ_0 (sabit) + k (sabit) d (ortalama tane boyutu)^{-1/2} Hall-Petch eşitliğine göre, tane boyutunun incilmesi malzemenin mukavemetini arttırmakta, tane irileşmesi (kabalaşması) ise mukavemeti düşürmektedir. Çeliklerin allotropik karakterde olmaları nedeniyle soğuma hızına bağlı olarak tane yapısı ve mukavemet özellikleri değişebilmektedir. Toz altı kaynağında cürufun yüzeyden daha uzun sürelerde kalkması, elde edilen kaynak metalinin çelik karakterde olması nedeniyle tane yapısını etkilemektedir. Soğumanın yavaşlamasıyla oluşan taneler daha kaba ve iri boyutlarda olmuş ve bu durum da kaynak metalinin sertliğinin düşmesine neden olmuştur. Sertliğin düşmesi ise doğrudan

aşınma direncinin düşmesine ve aşınma kayıplarının artmasına neden olmuştur (Lehto et al., 2014; Zhao et al., 2006; Liu et al., 2003).

Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğrafları yüzey karakteristiği açısından incelendiğinde; artan kolemanit miktarına bağlı olarak elde edilen test numunelerinin aşınma çizgilerinin kalınlaştığı ve daha geniş alanlara yayılan aşınma çizgilerinin ve bölgesel kazıma bölgelerinin varlığı tespit edilmiştir. Benzer sertliklere sahip kaynak metallerinin varlığına rağmen, kolemanit içermeyen test numunesinde süreklilik arz eden aşınma çizgisi bulunurken, diğer kolemanit içeren test numunelerinde süreklilik arz etmeyen ve daha geniş bölgesel kazıma bölgeleri tespit edilmiştir. Bu durum, kolemanit içeren test numunelerinin, daha yumuşak tane yapısına sahip olmaları ile ilişkilendirilmiştir. Yumuşak tane yapısına sahip test numuneleri plastik olarak yüzeye sıvanarak daha geniş ve süreksiz kazıma bölgeleri oluşturmuşlardır. Kolemanit içeren aşınmış yüzeylerde bölgesel olarak kazıma bölgelerinin yoğun olarak bulunduğu ve bu nedenle de aşınma kayıplarının daha fazla oranlarda olduğu belirlenmiştir. Kolemanit içermeyen numune ile elde edilen kaynak metalinin aşınma çizgisi dışındaki 4 numunede de birbirine benzer aşınmış yüzeyler olup bu durum

birbirine yakın sertlik değerleriyle ilişkilendirilmiştir.

4. Sonuç

Bu sonuçlara göre; dolgu ve birleştirme amaçlı hazırlanan kaynak tozlarında artan miktardaki Bigadiç kolemanit, toz mukavemetinin artmasına, kaynak metalinde pürüzsüz ve parlak bir yüzey oluşmasına, kaynak esnasında oluşan cürufun ergime noktasının düşmesine, cüruf akışkanlığının artmasına, cürufun daha geç soğumasına cürufun yüzeyden daha uzun sürelerde kalkmasına ve buna bağlı olarak da kaynak metalinin daha yavaş soğumasına neden olmaktadır. Bu nedenle kullanılan kolemanitin cüruf oluşturuçu olarak kullanılabileceği, daha parlak kaynak dikişinin önem kazandığı uygulamalarda kullanılabileceği ve kaynak metalinde kompozisyona ve soğuma hızına bağlı olarak oluşabilecek çatlak oluşumunu engellemede kullanılabileceği önerilmektedir. Artan miktarda kolemanit içeren kaynaklı parçalarda, kaplamalarda benzer ferrit ve perlit yapılarının bulunduğu, sertliklerin artan kolemanit yüzdesiyle 165 HV den 151 HV sertliğe düştüğü ve artan kolemanit miktarı ile aşınma kayıplarının arttığı belirlenmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, TÜbitak (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) 114M016 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı, TÜBİTAK başkanlığına ve tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

6. Kaynaklar

Akbari, D., Far S. 2009. " Effect of The Welding Heat Input on Residual Stresses in Butt-Welds of Dissimilar Pipe Joints," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Volume 86, Issue 11, 769–776.

Arslan, V., Bayat, O. 2012. "Kariştırmalı ve Kolon Biyoliçi Yöntemleri ile Kolemanit

Cevherinden Borik Asit Üretimi", *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 51 (1), 3-12.

Barış, M., Metin, F., Karabulut, N., Özyücel, F. 2018. "8-125 mm Kolemanit Cevherinin NIR/CCD Optik Ayırıcı ile Zenginleştirilmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji*, 6 (2), 414-425.

Başar, G., Buldum B.B., Sugözü İ. 2018. "Kolemanit ve Boraks Takviyeli Fren Balatalarının Sürtünme Performansı", *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, (El-Cezerî Journal of Science and Engineering)* Cilt: 5, No: 2, 635-644.

Bause, G.K., Mihalisin, J.R. 1989. "Metallurgy of Investment Cast Superalloy Components", *Superalloys, Supercomposites and Superceramics*, 99-148.

Bideci, Ö., S., Bideci, A. 2018. "Öğütülmüş Kolemanit Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi", *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi (Science and Eng. J. of Fırat Univ.)* Cilt 30(1), 133-138.

Binici, H., Durgun, M. 2012. "Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı", *Teknik Dergi*, 23 (114), 6141-6162.

Çiftçi, H., Atik, S. 2015. "Kolemanit Artığının Mekanik Aşındırma ve Isı ile Dağıtma Yöntemleri ile Zenginleştirilmesi", *Suleyman Demirel University of Journal of Natural and Applied Science*, Cilt 19(1), 57-62.

Davis, J.R. 1993. "ASM Handbook: Welding, Brazing and Soldering, Vol.6, ASM International, USA.

Demir, İ., Güngören, C., Özkan, Ş. 2017. "Effect of Microwave Energy on the Comminution and Flotation of Colemanite Ore", *Journal of Boron*, 2 (2), 75-81.

Demirel, B., Nasıroğlu, S. 2017. "Bor Mineralleri ve Atıklarının Çimentoda Kullanılma Stratejileri" *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29 (1), 95-100.

- Eskibalci M.F., Ozkan S.G. 2012. ‘‘An Investigation of Effect of Microwave Energy on Electrostatic Separation of Colemanite and Ulexite’’ *Minerals Engineering*, vol.31, 90–97.
- Gül A., Kaytaç, Y., Önal G. 2006. ‘‘Beneficiation of Colemanite Tailings by Attrition and Flotation’’, *Minerals Engineering*, vol.9, issue 4, 368–369.
- Güngören, Ş. 2012. ‘‘Mikrodalga Enerjisinin Kolemanit ve Üleksitin Sudaki Çözünürlüğüne Etkisinin Araştırılması’’, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 22 (1), 85-93.
<http://www.askaynak.com> (19 Kasım 2018)
<http://www.etimaden.gov.tr/kolemanit>(19 Kasım 2018)
<http://www.gedik kaynak.com.tr> (19 Kasım 2018)
<http://www.oerlikon.com.tr> (19 Kasım 2018)
- Kahraman, N., Gülenç, B., Durgutlu, A. 2010. Investigation of the Effect of Electrode Extension Distance on Microstructural and Mechanical Properties of Low Carbon Steel Welded with Submerged Arc Welding. *Gazi University Journal of Science*, 18 (3), 473-480.
- Kou, S. 2003. ‘‘Welding Metallurgy’’, *John Willey, USA 2nd edition*.
- Külahlı E. 1988. ‘‘Kaynak Bilimi’’, *Oerlikon Yayını, Sayı-2*.
- Kuş, H., Altıparmak, D., BAŞAR, G. 2016. ‘‘Sıcak Presleme Yöntemi ile Üretilmiş Uçucu Kül Takviyeli Bronz Matrisli Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Özellikleri Üzerine Kolemanit Miktarının Etkisi’’, *Politeknik Dergisi*, 19 (4), 537-546.
- Kütük S.T., KARA, C. 2018. ‘‘Farklı Kür Koşullarının Kolemanit İkameli Betonların Dayanımına Etkisi’’, *Journal of Investigations on Engineering & Technology*, 1 (2), 19-23.
- Lehto, P., Remes, H., Saukkonen, T., Hänninen, H., Romanoff, J. 2014. ‘‘Influence of Grain Size Distribution on The Hall–Petch Relationship of Welded Structural Steel’’, *Materials Science and Engineering: A* Volume 592, 28-39.
- Liu, M.Y., Shi, B., Wang, C., Ji, S.K., Cai, X., Song, H.W. 2003. ‘‘Normal Hall–Petch Behavior of Mild Steel with Submicron Grains’’, *Materials Letters*, vol.57, 2798–2802.
- Melfi, T. 2010. ‘‘New Codes Requirements for Calculating Heat Input’’, *Welding Journal*, 61-63.
- Morova, N., Terzi, S. 2015. ‘‘Evaluation of Colemanite Waste as Aggregate Hot Mix Asphalt Concrete’’, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 19/2, 8-15.
- Nowacki, J., Rybicki, P. 2005. ‘‘The Influence of Welding Heat Input on Submerged Arc Welded Duplex Steel Joints Imperfections’’, *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 164–165, 1082–1088.
- Ruşen A., Geveci A., Topkaya Y. 2012. ‘‘Minimization of Copper Losses to Slag in Matte Smelting by Colemanite Addition’’, *The 17th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials*, Vol.14, 11–12, 1702–1704.
- Savaşkan T. 2009. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Genişletilmiş 5.Baskı Trabzon.
- Sivrikaya O., Arol A.İ. 2012. ‘‘The Bonding/Strengthening Mechanism of Colemanite Added Organic Binders in Iron Ore Pelletization’’, *International Journal of Mineral Processing*, vol.110–111, 90–100.
- Sugözü, B., Buldum, B., Sugözü, İ. 2018. ‘‘Üleksit ve Boraks İçeren Fren Sürtünme Malzemelerinin Tribolojik Özellikleri’’, *Journal of Boron*, 3 (2), 126-131.
- Zhao, M.C., Hanamura, T., Qiu, H., Nagai, K., Yang, K. 2006. ‘‘Grain Growth And Hall–Petch Relation in Dual-Sized Ferrite/Cementite Steel with Nano-Sized Cementite Particles in a Heterogeneous and Dense Distribution’’, *Scripta Materialia* vol.54, 1193–1197.