

## Perçinsiz Perçinleme Yöntemiyle Birleştirilen Çelik Ve Alüminyum Plakaların Deformasyon Yapısının Araştırılması

\*<sup>1</sup>Metin Zeyveli and <sup>2</sup>Murat Özkan

<sup>1</sup> Faculty of Technology, Department of Mechatronics Engineering, Karabuk University, Turkey

<sup>2</sup> Institute of Natural and Applied Science, Karabuk University, Turkey

### Özet

Bu çalışmada, perçinsiz perçinleme (PP) yöntemi ile birleştirilmiş, St 37 çelik ve Alüminyum bağlantı levhalarının mekanik davranışları ve birleşme yapıları incelenmiştir. Bu amaçla, her levha malzemesi standartlarına göre bağlantı levhaları hazırlamak için kullanılmıştır. Bu levhalar, dairesel formu perçinsiz perçinleme kalıp seti kullanılarak birleştirilmiştir. Deneysel birleştirilmiş alüminyum malzemelerin mikro yapı değişimi araştırılmıştır. Ayrıca çelik ve alüminyum malzemelerin mikro sertlik değerleri de araştırılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre alüminyum plakaların mikro yapısı küreselden yönlendirilmiş lamelli yapıya dönüşmüştür. Sonuçlar ayrıca çelik malzemelerde genel olarak yüksek sertliğin 2,3,4 ve 5. bölgelerde olduğunu gösterirken bunun tam tersi olarak alüminyum levhalarda ise sertlik değişiminin yüksek olmadığı tüm bölgelerde ana malzeme ile benzerlik gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Perçinleme, perçinsiz perçinleme (PP), St37 çelik, Alüminyum Alaşımları, mikro sertlik.

## An Investigation of Deformation Structure on the Steel and Aluminum Sheet Materials Joined With Clinching Rivet

### Abstract

In this study, mechanical behavior and joining structure of St 37 steel and aluminum plates connection plates joined with combined clinching rivets (CR) were investigated. For this purpose, all sheet material was used for preparing connection plates according to the standards. These plates were combined using a circular-shaped clinching rivet set. In the experiments, microstructural change of the combined aluminum material was examined. In addition, it was also investigated steel and aluminum material micro hardness changes. According to experimental results, it was observed aluminum plate microstructures changing spherical to directed lamellar microstructure. The results showed that the highest hardness changing in steel plate at the section 2, 3, 4 and 5 area generally but in the contrary, aluminum plates is not high hardness change and it has been found to be similar the base material all the section.

**Keywords:** Riveting, clinching rivet (CR), St 37 steel, Aluminium Alloys, micro hardness

### 1. Giriş

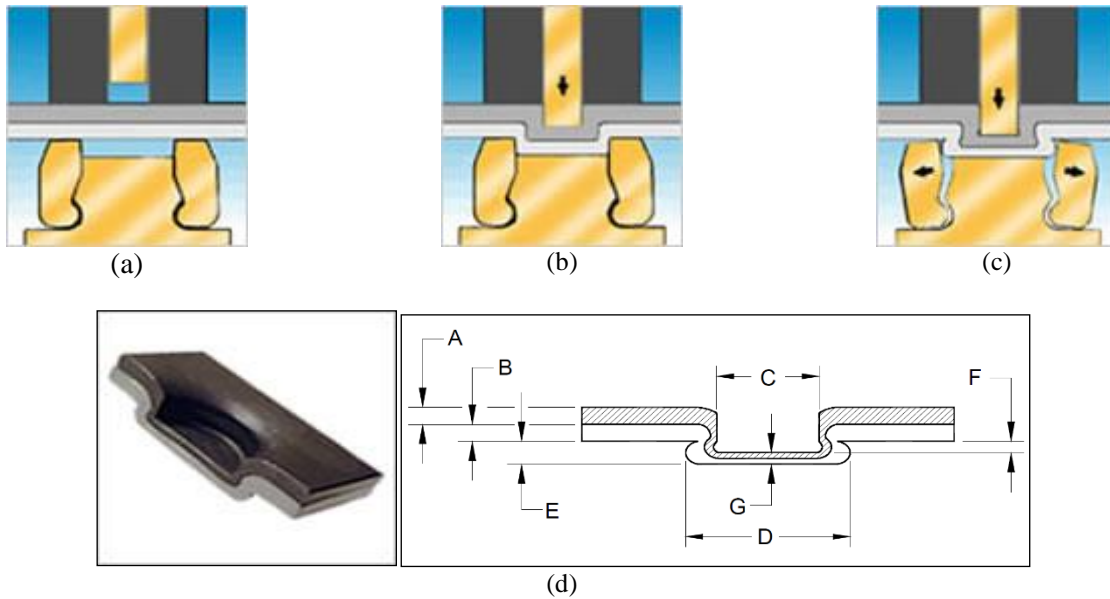
Birleştirme teknikleri endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Birleştirme denilince ilk akla gelen sac plakaların vidalı, perçinli ve kaynaklı birleştirilmesidir. Geleneksel birleştirme tekniklerinden olan bu yöntemlerinde kendilerine has dezavantajlı yönleri vardır. Bunlara alternatif yöntem olarak son yıllarda uygulama alanları artarak devam eden teknik olarak perçinsiz perçinleme (PP, clinching rivet) metodu ön plana çıkmaktadır [1].

Kaynak, vida, perçin otomotiv sektörü için vazgeçilmez birleştirme tekniklerinden olup  
\*Corresponding author: Address: Faculty of Technology, Department of Mechatronics Engineering Karabuk University, 78100, Karabuk TURKEY. E-mail address: mzeyveli@karabuk.edu.tr, Phone: +903704338210

zamanla bağlantılarda yeterli çözüm üretmemektedir. Kaynaklı bağlantılarda bölgesel olarak malzemenin ısıtılması malzemenin mekanik özelliklerinin de değişmesine sebep olur. Geleneksel perçinleme ve vidalamada da malzemenin delinmesi ve merkezlenmesi birleştirmelerde zorluklara sebep olmaktadır. Bütün bu olumsuzluklara alternatif olarak sac plakaların bölgesel soğuk şekillendirme ile birleştirilmesi ile elde edilen dairesel yapıdaki birleştirme tekniği olarak PP kullanılmaya başlanmıştır [2-4].

PP, perçin elemanı gibi herhangi bir ara eleman olmadan 6 bar hava basıncının olduğu her yerde; 6 mm kalınlığa kadar levhalar lokal bir deformasyonla birleştirebilirler. Kaynaklı veya civatalı birleştirmelere göre; çok daha pratiktir. Çok katmanlı birleşmiş yapılar düğme formuna benzer ve deformasyon olmaksızın bir araya getirilebilirler. PP birleştirme yöntemi ile üniform gerilme dağılımı, yorulma ömründe artış, ağırlıkta azalma, yüksek mekanik dayanım, daha rijit bir yapı elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Dairesel formlu PP işlem basamakları, birleştirilmiş levha kesiti ve birleşme kesit geometrisi adlandırılmaları Şekil 1'de görülmektedir. Şekil 1.(d)'de, A; üst plaka kalınlığını, B; alt plaka kalınlığını, C; zımba çapını, D; kucaklama çapını, E; matris yüksekliğini, F; tahmini punch derinliğini ve G; birleşme taban kalınlığını ifade etmektedir. PP; otomotiv, havacılık, beyaz eşya, elektronik, ısıtma-soğutma sistemleri, ofis mobilyaları ve diğer imalat sektörlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. [5].



Şekil 1. PP işlem basamakları, (a) sıkıştırma, (b) şekillendirme, (c) birleştirme, (d) birleştirilmiş levha kesiti ve geometrileri [5].

PP yönteminin endüstriyel uygulamalarda yaygınlaşmaya başlaması, bu tip bağlantıların mekanik davranışlarının belirlenmesini zorunlu kılmıştır. PP birleştirme yöntemi alüminyum, magnezyum, galvanizli sac malzemelerin ve diğer materyallerin birleştirilmelerinde mükemmel sonuç vermektedir. Bunlarla ilgili farklı çalışmalarda, kaplamaların kalınlığı ve plastik anizotropik özelliklerin deformasyon yapısına etkilerini Safari ve arkadaşları [5], magnezyum plakaların PP bağlantılarının özelliklerini de Neugebauer vd [6] araştırmıştır. Geçmişteki basit yapıları el ile kumanda edilen tiplerinin kullanılmasına rağmen, son yıllarda robot kollarına

bağlanarak çoklu kullanıma uygun hale de getirilmiştir.

Malzeme, dayanım ve özellikle levha kalınlığı gibi parametrelere bağlı olarak PP bağlantılarından farklı sonuçlar almak doğaldır. Burada çeşitli parametreleri kullanarak istenilen bağlantılara ulaşmak mümkündür. Özellikle pratikte kullanılan PP kalıp setlerini bu parametrelere göre seçmek gerekir. Hangi özelliğe kalıp seti geometrisinin kullanılmasının, daha uygun olacağını belirleyebilmek için Paula vd. yaptıkları çalışmalarda; zimba ve birleştirme alt kalıbı için sonlu elemanlar yöntemi analizini kullanarak, farklı geometriler modellemiş ve bu modeller üzerinde nasıl bir kalıp kullanacağını belirlemişlerdir. Özellikle kullanılan takım seti geometrisindeki değişikliklerin, boyun kalınlığını etkilediğini ve daha büyük alt kesme değerinin sacların ayrılma yükünü arttırdığını gözlemlemişlerdir [7]. Yüksek dayanımlı çelik levhaların birleştirilmesinde; kalıp derinliği, kalıp kenar yarıçaplarını, kalıp çapının etkilerini Lee vd. sonlu elemanlar analizi ile, Oudjene vd. de optimum geometrileri, Taguchi ve MLS metodlarını kullanarak belirlemeye çalışmıştır [8,9,10].

Bu çalışmada PP yöntemi ile çelik ve alüminyum plakalar birleştirilmiştir. Birleştirilen plakaların perçinleme esnasında kenetlenme yapısında oluşan deformasyon yapıları incelenmiştir. Aynı zamanda deformasyon yapılarının sertlik değişimine ve mikro yapıda meydana gelen değişimlere olan etkisi de araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme

Deneylerde, inşaat, havalandırma, makine gövdelerinin dış kaplamalarında, otomotiv sektöründe ve soğuk şekillendirmeye uygun yerlerde yaygın olarak kullanılan ST 37 malzemesi kullanılmıştır. Bu malzemenin seçilmesi özellikle kullanım yerlerinde birleştirme elemanı (perçin vb.) kullanılarak, alternatif bir yöntem olarak perçinsiz perçinleme yöntemi ile bu malzemenin birleştirilmesi ve mekanik davranışlarının incelenmesidir. ST 37 (Erdemir 6137) malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir. DIN 17100 standardındaki Erdemir ürünü saclar, soğuk şekillendirmeye uygun orta karbonlu, çelikler olarak bilinirler. Bu malzemenin standartlara uygun şekilde deney numuneleri kesilmiş ve belirlenen ölçülerde işlenerek deney numunelerinin son halleri verilmiştir.

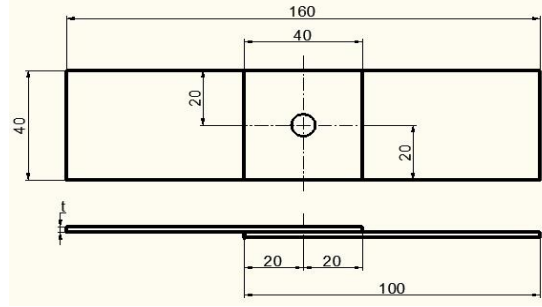
**Tablo 1.** Erdemir-6137 malzemenin kimyasal bileşimi (%)

Tanım	Standart	Cu	Mn	P	S	N
Fe 360 B	DIN 17100	0,60	1,50	0,045	0,050	0,014

### 2.2. Perçinleme Sistemi ve Perçinleme Parametreleri

St 37 sac malzemenin oluşturulan deney numune çiftleri pnömatik etkili 6 bar hava ile çalışan, özel kalıplama sisteminin monte edildiği pres tezgahında, çift etkili aşama ile perçinleme yapılmıştır. Perçinleme işleminde 4,6 mm çapında zımbalı kalıp seti kullanılmıştır. Deney aşamasında önce ön deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonucuna göre asıl deney numuneleri sabit basınç, hız ve değişken malzeme kalınlıkları belirlenerek gerçekleştirilmiştir.

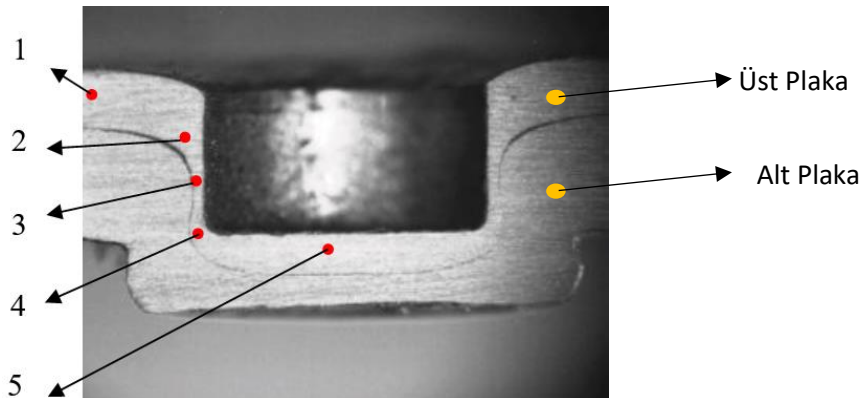
Çekme deneyi TS EN ISO 6892-1 standartlarına göre yapılmıştır. Ayrıca oluşan hasar tipinin belirlenmesinde optik mikroskop kullanılmıştır. Hazırlanan deney numunelerinin genel görünüşü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Deney numuneleri ölçüleri ve genel görünümü.

### 2.3. Perçinleme Bölgeleri Mikroyapı ve Sertlik Değişimi

Çalışma kapsamında AA 5754, AA 6061 ve St 37 çelik malzemelerden farklı kalınlıklardaki plakalar PP yöntemi ile birleştirilmiştir. Her birleştirme şeklinden 6 adet numune oluşturulmuştur. Bu numunelerden 3’er tanesi çekme deneyine tabi tutulurken, diğer numunelerde kesit alınmıştır. Kesit alınan numuneler, mikroyapı incelemeleri için parlatma ve dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Dağlama işlemi Keller (190 ml saf su + 5ml HNO<sub>3</sub>, 3ml HCL, 2 ml HF) ile 10 sn uygulanarak yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra birleştirme yapılarında belirlenen 5 bölgede Alüminyum malzemelerin mikro yapı görüntüleri ve tüm plakaların sertlik ölçümleri alınmıştır. Sertlik ölçümleri her bölgede 5 defa yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınarak sertlik değerleri belirlenmiştir. PP yapılan malzemelerin mikroyapı ve sertlik ölçümlerinin yapıldığı bölgeler Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Mikroyapı ve sertlik ölçüm bölgeleri

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

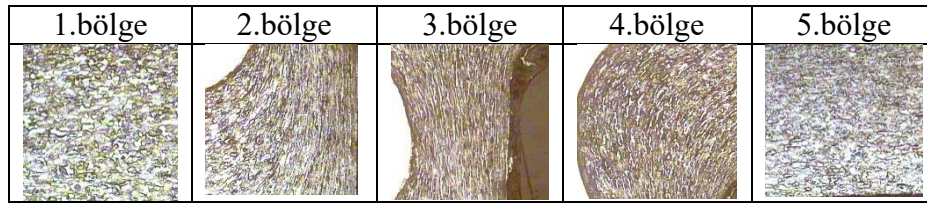
Deneylerde St 37, AA 5754 ve AA 6061 malzemelerden farklı kombinasyonlarda PP ile birleştirmeler yapılmıştır. Deney numuneleri parlatma ve dağlama işlemlerine tabi tutulduktan

\*Corresponding author: Address: Faculty of Technology, Department of Mechatronics Engineering Karabuk University, 78100, Karabuk TURKEY. E-mail address: mzeyveli@karabuk.edu.tr, Phone: +903704338210

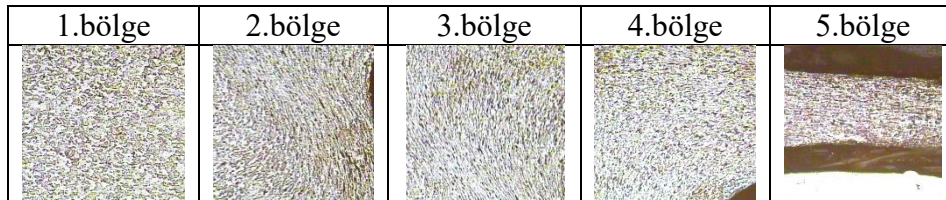
sonra, Şekil 4’de görülen bölgelerden mikroyapı görüntüleri ve sertlik ölçümleri yapılarak bağlantılarda oluşan değişimler incelenmiştir. Bu çalışmada dört farklı birleştirme şekli incelenmiştir. Bunlar üst St37-alt 6061, üst 5754-alt st37, üst st37-alt5754, üst 6061-alt st37 şeklindedir.

Birleştirilen üst St37-alt 6061 plakalardan AA 6061 plakanın mikroyapı görüntüsü Şekil 4’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 1. Ve 5. bölgelerde mikro yapıda küresele benzer bir görünüm dikkat çekmektedir. Bu bölgeler, çekmeden daha çok basmaya maruz kalmıştır. Ancak 2, 3, 4, nolu bölgelerde ise mikroyapının değiştiği ve iğneli bir yapıya (lamelli yönlendirilmiş bir yapı) dönüştüğü gözlemlenmiştir. Bu yapıya göre birleştirme anında en kritik bölge 3 numaralı bölgedir. Bu bölge malzemenin doğrudan uzama gösterdiği bölge olduğundan yapının daha çok iğneli bir hale dönüştüğü görülmektedir.

Şekil 5’deki görüntülerde ise üst plaka AA6061 olan malzemenin PP sonrası mikroyapı görüntüsü görülmektedir. Her iki birleştirme şeklinde de (Şekil 4 ve 5) aynı malzeme kullanılmasına rağmen, malzemenin yerleştirme düzeninin alt veya üst plaka olmasına göre mikro yapısında nasıl bir değişiklik olduğu incelenmiştir. Şekil 5 de 1. Bölgede yapının daha küresel bir yapıda olduğu görülürken, 2. bölgede yapının iğneli bir yapıya dönüştüğü, bu özelliğin 3. Bölgede uzamanın etkisi ile arttığı görülmüştür. Burada en dikkat çekici bir durum ise 5. Bölgede yapının azda olsa iğneli bir yapı eğilimi gösterdiği görülmüştür. Bunun sebebinin ise AA6061 malzemenin alt plaka olması nedeni ile çelik üst plakanın yüksek uzama değerinden dolayı daha fazla bir baskı kuvvetine uğraması neticesi ile mikroyapının iğneli bir yapıya dönüştüğü düşünülmektedir.



**Şekil 4.** PP ile birleştirilen AA 6061 malzeme mikroyapı görüntüleri (üst St37-alt 6061)

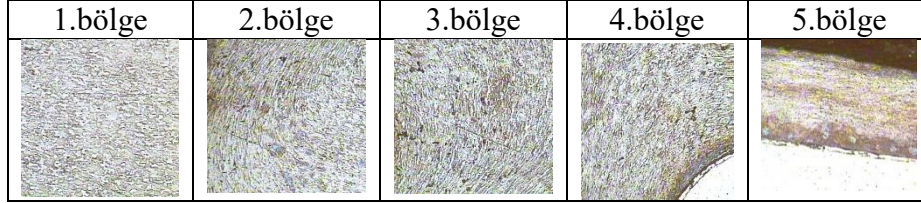


**Şekil 5.** PP ile birleştirilen AA 6061 malzeme mikroyapı görüntüleri (üst AA6061-alt st37)

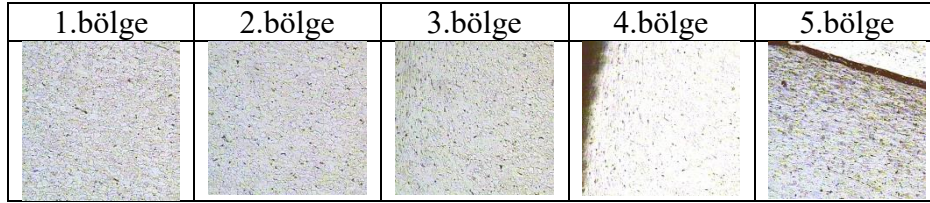
Aynı şekilde Şekil 6 ve Şekil 7 de ise AA5754 malzemenin birleştirme sonrasında alt ve üst plaka yerleştirme düzenindeki mikroyapı değişimi verilmiştir. Bu şekillerde de genel olarak 1.bölgede küresel bir yapı dikkat çekerken 2. Ve 3. Bölgelerde yapının iğneli bir yapıya dönüştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca mikroyapı değişiminde 2, 3 ve 4 nolu bölgelerde dönme merkezine yakın bölgelerde yapı daha iğneli bir şekile dönüşürken aynı bölgenin dış kesiminde



ise küresele yakın bir görüntü dikkat çekmektedir. 5 nolu bölgelerde ise mikro yapı küreselden lamelli bir yapıya dönüşüm sağlamış ama diğer bölgelerdeki kadar ince iğneli bir yapıya dönüşmemiştir. Bu bölgede daha çok baskı kuvveti etkisinde bir yapı değişimi dikkat çekmektedir. Malzeme uzamadan ziyade ezilmeye maruz kalmıştır. Bu birleştirme şeklinde de 2 ile 4. bölgeler arası en kritik bölge olarak dikkat çekmektedir.



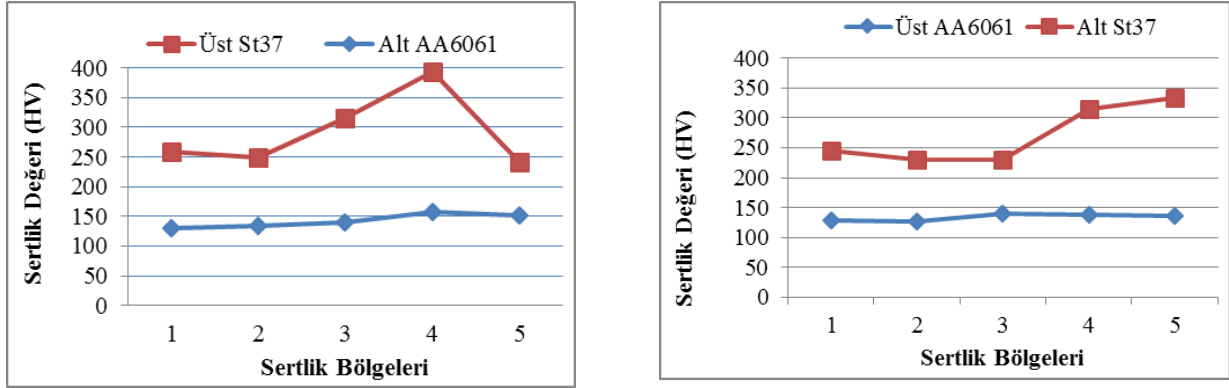
**Şekil 6.** PP ile birleştirilen AA5754 malzeme mikroyapı görüntüleri (üst AA5754-alt St37)



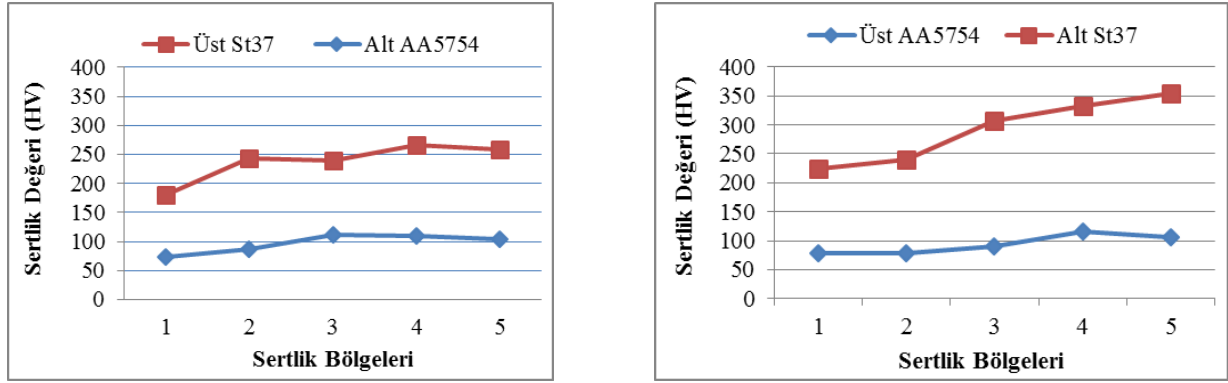
**Şekil 7.** PP ile birleştirilen AA5754 malzeme mikroyapı görüntüleri (üst St37-alt AA5754)

PP işlemi ile birleştirilen St37 malzeme ile AA6061 ve AA5754 malzemelerin birleştirme sonrasındaki sertlik değişimleri de incelenmiştir. Şekil 8’de çelik malzeme ile AA6061 malzemenin sertlik değişimi incelendiğinde çelik malzemenin sertliğinin 1. Bölgeden 5. bölgeye doğru genel olarak arttığını söyleyebiliriz. Bunun sebebi çekme gerilmesine maruz kalan malzeme yapısında oluşan dislokasyonlar ve sonucunda oluşan pekleşme neticesinde sertlik değerleri artmıştır. Ancak bu birleştirme tipinde AA 6061 malzemenin sertliğinde ise çok aşırı bir değişim görülmemiş, yatay bir seyir göstermiştir.

Şekil 9’da ise yine St37 malzeme ile AA5754 malzemenin birleştirme sonrası sertlik değişimleri verilmiş olup, bu grafiklerde de çelik malzemenin sertliğinin malzemenin çekme bölgelerinde 1’den 5’e doğru gidildikçe arttığı görülmüştür. AA5754 malzemede ise sertlik değişimi kısmi olarak görülmüş olup genel olarak bükme ve çekme bölgeleri denilen 2, 3 ve 4. bölgelerde sertliğin arttığını söyleyebiliriz. Bunun sebebi yine malzemede oluşan çekme gerilmesi neticesinde atomik yapının yeniden şekillendirilmesi sonucu mikroyapıda meydana gelen değişim neticesinde sertlik değerinde de değişim görülmüştür.



Şekil 8. PP ile birleştiren malzemelerin sertlik değişimi, a) üst St37-alt 6061, b) üst AA6061-alt st37



Şekil 9. PP ile birleştiren malzemelerin sertlik değişimi, a) üst AA5754-alt St37, b) üst St37-alt AA5754

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada st37 çelik malzeme ile Alüminyum alaşımı malzemeler farklı birleştirme kombinasyonlarında PP yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme sonucunda alüminyum malzemelerin mikro yapı değişimi incelenmiştir. Ayrıca çelik ve alüminyum malzemelerin birleştirme bölgelerindeki sertlik değişimi de incelenmiştir.

Mikroyapı incelemeleri neticesinde alüminyum malzemelerin şekillendirme bölgelerinde yoğun bir şekilde mikroyapı değişimi görüldüğü, özellikle dönme merkezlerinde yönlendirilmiş lamelli yapı dediğimiz (iğneli yapı) mikroyapı özelliği göstermiştir. Mikro yapı değişimi özellikle 2,3 ve 4. Bölgelerde yoğun bir şekilde görülmüştür. Ancak bununla birlikte alüminyum malzemelerin sertlik değişimleri incelendiğinde ise mikro yapıda görülen değişim oranına göre sertlik değişiminin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Çelik malzemenin ise sadece sertlik değişimi incelenmiştir. Çelik malzemenin sertliğinde ise bariz bir şekilde artış gözlemlenmiştir. Çelik malzemenin 1. bölgesi ana malzemeye yakın

sertlik değerinde çıkarken 2, 3 ve 4. bölgelerde malzemenin sertliği %40'lara kadar artmıştır. St37 malzemenin en yüksek sertlik değeri üst St37-alt 6061 birleştirme şeklinde oluşmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, KBU-BAP-11/2-YL-18 ve KBÜ-BAP-16/1YD-033 nolu projeler ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] <http://www.dk-power.com/TR/BTM.html>, Ocak 2012.
- [2] M. Carboni, S. Beretta, M. Monno, "Fatigue behaviour of tensile-shear loaded clinched joints", *Engineering Fracture Mechanics*, 73, 178–190, 2006.
- [3] G. Di Lorenzo, R. Landolfo, "Shear experimental response of new connecting systems for cold formed structures", *Journal of Constructional Steel Research*, 60, 561–579, 2004
- [4] J.P. Varis "The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel" *Journal of Materials Processing Technology*, 132, 245–249, 2006
- [5] Saberi S., Enzinger N., Vallant R., Cerjak H. Hinterdorfer J., Rauch R, "Influence of plastic anisotropy on the mechanical behavior of clinched joint of different coated thin steel sheets", *International Journal of Material Forming*, Supp 1., 273-276., 2008.
- [6] Neugebauer R., Kraus C., Dietrich S., "Advanced in mechanical joining on magnesium", *Manufacturing Technology*, 57, 283-286, 2008.
- [7] Paula A.A., Agullar M.T.P., Pertence A.E.M., Cetlin P.R., "Finite element simulations of the clinch joining of metallic sheets", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 182, pp. 352–357, 2007.
- [8] Lee C.-J., Kim J.-Y., Lee S.-K., Ko D.-C., Kim b.-M., "Parametric study on mechanical clinching process for joining aluminum alloy and high-strength steel sheets", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24, 123-126, 2009
- [9] Oudjene M., Ben-Ayed L., "On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method", *Engineering Structures*, Vol. 30. pp.1782–1788, 2008.
- [10] Oudjene M., Ben-Ayed L., Delameziere A., Batoz J.-L., "Shape optimization of clinch tools using response surface methodology with Moving Least-Square approximation", *Journal of Material Processing Technology*, 209, 289-296, 2009.
- [11] Evaluation Of Properties Of Joints Made By Clinching And Self-Piercing Riveting Methods, *Acta Metallurgica Slovaca*, Vol. 18, 2012, No. 4, p. 172-180